

IMPACTO DE LA INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS MAGNÉTICOS EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ANTONIO MACEO Y SU CONTRIBUCIÓN A LA FORMACIÓN ACADÉMICA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Impact of the installation of magnetic devices at the Antonio Maceo Thermoelectric Power Plant and its contribution to academic training in the Mechanical Engineering career

Impacto da instalação de dispositivos magnéticos na Usina Termoeletrica Antonio Maceo e sua contribuição para a formação acadêmica na área de Engenharia Mecânica

Dr. C. Josué Imbert González ^{1*}, <https://orcid.org/0000-0001-8384-3684>

Dra. C. Melek Campos Sofía ², <https://orcid.org/0000-0003-2741-8821>

Ing. Geolbis Zamora Martínez ³, <https://orcid.org/0009-0008-4089-9395>

Estudiante Alain Daniel Garzón Rodríguez ⁴, <https://orcid.org/0009-0004-3777-2407>

^{1,4} Universidad de Oriente, Cuba

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Cuba

³ Central Termoeletrica Antonio Maceo, Cuba

*Autor para correspondencia. email imbert@uo.edu.cu

Para citar este artículo: Imbert González, J., Campos Sofía, M., Zamora Martínez, G. y Garzón Rodríguez, A. D. (2026). Impacto de la instalación de dispositivos magnéticos en la Central Termoeletrica Antonio Maceo y su contribución a la formación académica en la carrera de Ingeniería Mecánica. *Maestro y Sociedad*, 23(3), 2569-2577. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: La búsqueda de la mayor eficiencia en la generación eléctrica en las centrales termoeletricas cubanas es un elemento de primera prioridad en el desarrollo. La Central termoeletrica Antonio Maceo, como uno de los pilares del sistema eléctrico nacional, enfrenta desafíos significativos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles. El desarrollo del proyecto territorial PT223SC002-007 "Incremento de la eficiencia energética en la termoeletrica Antonio Maceo con el uso de la tecnología magnética" ha sido enfocado en la implementación de la tecnología magnética en los sistemas productivos de la central, lo que ha permitido el incremento de la eficiencia técnico-económica de esta industria, y un impacto favorable desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental. El objetivo del trabajo fue presentar los resultados de la instalación de dispositivos magnéticos en la central termoeletrica Antonio Maceo, destacando el perfeccionamiento de la formación académica de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica. **Materiales y métodos:** Se realizó la instalación de treinta y dos dispositivos magnéticos en enero de 2024, en la línea de agua a la entrada de los intercambiadores de calor (enfriador de aceite y enfriador de hidrógeno). Se evaluaron los parámetros de efectividad (ϵ), unidades térmicas transferidas (NTU) y coeficiente global de transferencia de calor (U), comparando mediciones antes (2018-2023) y después de la instalación. **Resultados:** El incremento de la efectividad en un rango entre 13% y 27,1% en los intercambiadores de calor tras el uso de los dispositivos magnéticos, lo que permitió recuperar más de una cuarta parte de la efectividad perdida por incrustaciones. Se dejó de realizar mantenimiento a los enfriadores de aceite, con un ahorro económico de \$24.3597,7 CUP y \$52.022,25 USD. La colaboración Universidad-Empresa generó resultados científicos estudiantiles: 4 trabajos de diploma, 2 tesis de maestría, 1 tesis de doctorado en proceso, y participación en 8 eventos científicos nacionales e internacionales, con premios en Fórum de Ciencia y Técnica y Fórum Científico Estudiantil. **Discusión:** Los resultados demuestran que el sistema magnético no solo previene incrustaciones sino que revierte activamente una condición de incrustación previa, mejorando la transferencia de calor. La experiencia de los estudiantes les permitió desarrollar habilidades en análisis técnico, resolución de problemas, trabajo en equipo, gestión de proyectos y presentación y defensa, correspondiéndose con las principales competencias del ingeniero mecánico. **Conclusiones:** Los resultados fortalecen la formación académica de los estudiantes y

contribuyen al desarrollo tecnológico y científico del sector energético. La mejora en el desempeño operativo de la Central termoeléctrica Antonio Maceo y el ahorro económico materializado evidencian la consistencia de la aplicación de la ciencia en el sector industrial. Este modelo colaborativo es un ejemplo claro de cómo la sinergia entre el ámbito académico y el sector industrial puede generar resultados positivos y sostenibles para ambas partes, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7).

Palabras clave: dispositivos magnéticos, eficiencia energética, formación, universidad –empresa.

ABSTRACT

Introduction: The pursuit of greater efficiency in electricity generation at Cuban thermoelectric power plants is a top priority in development. The Antonio Maceo Thermoelectric Power Plant, as one of the pillars of the national electricity system, faces significant challenges that require innovative and sustainable solutions. The development of the territorial project PT223SC002-007, "Increasing Energy Efficiency at the Antonio Maceo Thermoelectric Power Plant through the Use of Magnetic Technology," has focused on implementing magnetic technology in the plant's production systems. This has led to increased technical and economic efficiency for the industry and a positive impact from a technical, economic, and environmental perspective. The objective of this work was to present the results of the installation of magnetic devices at the Antonio Maceo Thermoelectric Power Plant, highlighting the improvement in the academic training of mechanical engineering students. **Materials and methods:** Thirty-two magnetic devices were installed in January 2024 in the water line at the inlet of the heat exchangers (oil cooler and hydrogen cooler). The parameters of effectiveness (ϵ), thermal units transferred (NTU), and overall heat transfer coefficient (U) were evaluated, comparing measurements before (2018-2023) and after installation. **Results:** The effectiveness of the heat exchangers increased between 13% and 27.1% after the use of magnetic devices, allowing for the recovery of more than a quarter of the effectiveness lost due to fouling. Maintenance of the oil coolers was eliminated, resulting in cost savings of CUP \$24,359.7 and USD \$52,022.25. The University-Industry collaboration generated student scientific outputs: 4 undergraduate theses, 2 master's theses, 1 doctoral dissertation in progress, and participation in 8 national and international scientific events, with awards at the Science and Technology Forum and the Student Scientific Forum. **Discussion:** The results demonstrate that the magnetic system not only prevents fouling but also actively reverses a pre-existing fouling condition, improving heat transfer. The students' experience allowed them to develop skills in technical analysis, problem-solving, teamwork, project management, and presentation and defense, aligning with the core competencies of a mechanical engineer. **Conclusions:** The results strengthen the students' academic training and contribute to the technological and scientific development of the energy sector. The improved operational performance of the Antonio Maceo Thermoelectric Power Plant and the resulting cost savings demonstrate the effectiveness of applying science in the industrial sector. This collaborative model is a clear example of how synergy between academia and industry can generate positive and sustainable results for both parties, aligning with Sustainable Development Goal 7 (SDG 7).

Keywords: magnetic devices, energy efficiency, training, university-industry.

RESUMO

Introdução: A busca por maior eficiência na geração de energia elétrica nas usinas termelétricas cubanas é uma prioridade máxima no desenvolvimento. A Usina Termelétrica Antonio Maceo, como um dos pilares do sistema elétrico nacional, enfrenta desafios significativos que exigem soluções inovadoras e sustentáveis. O desenvolvimento do projeto territorial PT223SC002-007, "Aumento da Eficiência Energética na Usina Termelétrica Antonio Maceo por meio do Uso de Tecnologia Magnética", concentrou-se na implementação da tecnologia magnética nos sistemas de produção da usina. Isso levou ao aumento da eficiência técnica e econômica para a indústria e a um impacto positivo sob as perspectivas técnica, econômica e ambiental. O objetivo deste trabalho foi apresentar os resultados da instalação de dispositivos magnéticos na Usina Termelétrica Antonio Maceo, destacando a melhoria na formação acadêmica dos estudantes de engenharia mecânica. **Materiais e métodos:** Trinta e dois dispositivos magnéticos foram instalados em janeiro de 2024 na tubulação de água na entrada dos trocadores de calor (resfriador de óleo e resfriador de hidrogênio). Os parâmetros de eficácia (ϵ), unidades térmicas transferidas (NTU) e coeficiente global de transferência de calor (U) foram avaliados, comparando medições antes (2018-2023) e depois da instalação. **Resultados:** A eficácia dos trocadores de calor aumentou entre 13% e 27,1% após o uso de dispositivos magnéticos, permitindo a recuperação de mais de um quarto da eficácia perdida devido à incrustação. A manutenção dos resfriadores de óleo foi eliminada, resultando em uma economia de CUP\$ 24.359,7 e USD\$ 52.022,25. A colaboração Universidade-Indústria gerou resultados científicos estudantis: 4 trabalhos de conclusão de curso de graduação, 2 dissertações de mestrado, 1 tese de doutorado em andamento e participação em 8 eventos científicos nacionais e internacionais, com premiações no Fórum de Ciência e Tecnologia e no Fórum Científico Estudantil. **Discussão:** Os resultados demonstram que o sistema magnético não apenas previne a incrustação, mas também reverte ativamente uma condição de incrustação preexistente, melhorando a transferência de calor. A

experiencia dos alunos permitiu-lhes desenvolver competências em análise técnica, resolução de problemas, trabalho em equipe, gestão de projetos, apresentação e defesa de trabalhos, alinhando-se com as competências essenciais de um engenheiro mecânico. Conclusões: Os resultados fortalecem a formação acadêmica dos alunos e contribuem para o desenvolvimento tecnológico e científico do setor energético. O melhor desempenho operacional da Usina Termoelétrica Antonio Maceo e a consequente redução de custos demonstram a eficácia da aplicação da ciência no setor industrial. Este modelo de colaboração é um exemplo claro de como a sinergia entre a academia e a indústria pode gerar resultados positivos e sustentáveis para ambas as partes, em consonância com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7).

Palavras-chave: dispositivos magnéticos, eficiência energética, formação, universidade-indústria.

Recibido: 5/4/2026 Aprobado: 16/6/2026

INTRODUCCIÓN

La situación energética en Cuba ha sido un tema de creciente preocupación en las últimas décadas, caracterizada por la dependencia de fuentes de energía fósil, la obsolescencia de infraestructuras y la necesidad urgente de diversificar la matriz energética del país. La Central termoeléctrica Antonio Maceo, como uno de los pilares del sistema eléctrico nacional, enfrenta desafíos significativos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles (Gugulothu & Sanke, 2024; Henrique-Saldanha et al., 2021). En este contexto, la instalación de dispositivos magnéticos se presenta como una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas en el proceso de generación eléctrica.

La colaboración entre universidades y empresas es fundamental para abordar estos desafíos. Las universidades, como centros de conocimiento e innovación, tienen el potencial de aportar investigaciones aplicadas y formación técnica, mientras que las empresas, como la Central termoeléctrica Antonio Maceo, ofrecen un entorno práctico donde los estudiantes pueden aplicar sus conocimientos y adquirir experiencia real. Este vínculo no solo permite el desarrollo de soluciones tecnológicas efectivas, sino que también contribuye a la formación de profesionales altamente capacitados, preparados para enfrentar los retos del sector energético.

Existe evidencia demostrada que el tratamiento magnético puede favorecer el funcionamiento de los intercambiadores de calor reduciendo la formación de incrustaciones con efectos positivos en la eficiencia térmica (Yang et al., 2022; Peng et al., 2023). Estudios en esta dirección han demostrado que el campo magnético alternativo tiene mayor influencia en el coeficiente local de transferencia de calor que el unidireccional (Zhang & Zhnag, 2022).

En la actualidad los estudios sobre este tema (Peng et al., 2023) han demostrado que determinados dispositivos de campo magnético axial evitan los depósitos de sales de calcio en las paredes de los tubos de intercambiadores de coraza y tubos permitiendo un funcionamiento más estable y favoreciendo el incremento de la transferencia de calor en estos equipos.

El empleo de los campos magnéticos para el incremento de la transferencia de calor se ha desarrollado mediante técnicas conjuntas a partir del uso de nanofluidos con resultados muy favorables de incremento del coeficiente de transferencia entre 5 % y 32 % a partir de campos que van desde 400 y 1600 G (Azizi et al., 2023). Incrementos significativos de hasta un 15 % en la eficiencia térmica también han sido obtenidos mediante el uso de campos magnéticos no uniformes en combinación con el uso de nanofluidos en intercambiadores de tubo en tubo (Azizi et al., 2023).

En general el empleo de los métodos de cálculo para evaluar intercambiadores de calor, debe estar definido en base a las características del mismo. Entre los métodos más empleados sigue siendo el de NTU-Efectividad (Turgut & Yardımcı, 2022; Marzouk et al., 2023; Alteneiji et al., 2022), ya que este método brinda mayor cantidad de información a la hora tomar decisiones. Aunque existen investigadores que han demostrado que en este método, la efectividad de los intercambiadores de calor se incrementa con el incremento del número de unidades transferidas (NTU), mientras las pérdidas exergéticas disminuyen. Es por eso que recomiendan el empleo de la efectividad junto a la determinación de las pérdidas exergéticas para obtener un resultado más objetivo (Turgut & Yardımcı, 2022).

La Universidad de Oriente a través de la carrera de Ingeniería Mecánica, primera de su tipo en el país y reconocida por su compromiso con la educación y la investigación en ciencias técnicas y energéticas, ha establecido un marco colaborativo con la Central termoeléctrica Antonio Maceo. Al mismo tiempo, el Centro

Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Unidad de Ciencia, Tecnología e Innovación y líder en la investigación y aplicación de resultados ha mantenido una colaboración histórica creciente con las industrias del territorio. Esta colaboración se ha traducido en un proyecto conjunto que involucra a estudiantes de pregrado y posgrado en la instalación y evaluación de dispositivos magnéticos, fomentando así un aprendizaje práctico que complementa la formación teórica recibida en las aulas. A través de esta experiencia, los estudiantes no solo adquieren habilidades técnicas, sino que también desarrollan competencias en trabajo en equipo, resolución de problemas y gestión de proyectos.

Este trabajo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos tras la instalación de los dispositivos magnéticos en la Central termoeléctrica Antonio Maceo y analizar el impacto que esta iniciativa ha tenido tanto en la eficiencia operativa de la planta como en la formación académica de los estudiantes involucrados. Además, se explorará cómo esta colaboración se alinea con las estrategias nacionales para el desarrollo energético sostenible en Cuba, destacando su relevancia en el contexto actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto iniciado en el 2024, ha propiciado la formación estudiantil, a partir de la tecnología magnética, con el fin de reducir el consumo de combustibles, disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, disminuir los gastos de mantenimiento, alargar el ciclo de vida del equipamiento en explotación, entre otras.

Dentro de este proyecto se persigue entre otras acciones aplicar la tecnología magnética en los sistemas ingenieros para la disminución de las incrustaciones en la unidad 3 de la Central termoeléctrica Antonio Maceo. Durante todo el cronograma las principales acciones han conducido a la instalación y evaluación de la tecnología magnética en los sistemas de intercambio de calor. Entre los de mayor impacto se sitúan el enfriador de aceite y el enfriador de hidrógeno (figura 1).

En la Central Termoeléctrica fueron ubicados treinta y dos (32) dispositivos magnéticos en enero del año 2024, en la línea de agua a la entrada de los intercambiadores de calor.



A

B

Figura 1. Sistemas de intercambio de calor beneficiados con la ubicación de dispositivos magnéticos. A) Intercambiador de aceite. B) Intercambiador de hidrógeno.

Fuente: Autores.

Los dispositivos magnéticos empleados son dispositivos desarrollados en el laboratorio de caracterizaciones magnéticas del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba. Estos dispositivos (marca NOVAMAG,[®]) formados por imanes de Neodimio, fueron patentados por la Oficina Cubana de Propiedad Industrial en el año 2024 y tienen una intensidad de campo superficial de 0,25 T (2500 G).

Para la evaluación del Intercambiador de calor se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Temperatura de entrada del agua, t_{ci} , (°C).

2. Temperatura de salida del agua, tco (OC).
3. Temperatura de entrada del aceite, Thi. (OC).
4. Temperatura de salida del aceite, Tho. (OC).

El registro de los datos se realizó a partir de los instrumentos (Pt-100) ubicados en la propia instalación. El intervalo de tiempo de trabajo evaluado fue desde el año 2018 hasta el año 2025, con el objetivo de valorar mediciones antes y después de la instalación de los dispositivos magnéticos. Los días que fueron recogidos los datos fueron aquellos que no hubo interrupción del funcionamiento estable en el sistema.

A partir de estos valores, se realizó la determinación comparativa de los parámetros de efectividad (ϵ), unidades térmicas transferidas (NTU) y el comportamiento del coeficiente global de transferencia de calor (U). Estos coeficientes fueron determinados a partir de una metodología ampliamente utilizada (Çengel & Ghajar, 2015).

La incorporación de los estudiantes en estas actividades técnicas permitió no solo mantener un registro del comportamiento de los sistemas térmicos, sino también participar en la instalación y valoración de cada una de las variantes tecnológicas del análisis valorativo de la instalación de los dispositivos magnéticos.

Papel del personal técnico de la termoeléctrica en la formación académica

La participación directa del personal técnico de la Industria termoeléctrica, muchos de ellos como profesores categorizados, permitió desarrollar con éxito el proyecto y de la misma forma mantener un sistema de evaluación permanente en este proceso de retroalimentación.

La dirección general y la dirección técnica, operadores y tecnólogos colaboraron de manera directa con la formación de los estudiantes, lo que ha permitido que no solo el proyecto sea viable sino que la motivación de los estudiantes sirva de base a la incorporación nuevos ingenieros, una vez que finalizan su formación técnica.

RESULTADOS

Impacto en la Eficiencia Energética

El incremento de la efectividad en un rango entre 13 % y el 27,1 % en los intercambiadores de calor tras el uso de los dispositivos magnéticos. Este resultado obtenido denota que el intercambiador estaba operando con una pérdida de rendimiento significativa debido a las elevadas incrustaciones. El empleo de estos dispositivos permitió recuperar más de una cuarta parte de la efectividad, lo cual es una mejora sustancial en la eficiencia energética y la capacidad del proceso.

Estos resultados representan un testimonio importante de la efectividad de la aplicación del campo magnético para prevenir la adhesión o promover la remoción activa de depósitos.

Impacto económico

Con estos acondicionadores magnéticos se dejó de dar mantenimiento a los enfriadores de aceite durante un periodo considerable. En el año 2023 se realizaron 3 paradas para limpieza química de estos equipos. Cada proceso de mantenimiento de este tipo, en la central termoeléctrica está planificado para desarrollarse durante 5 días. A partir de la puesta en marcha de los dispositivos magnéticos en el año 2024 no se realizó ninguna parada por esta causa, ya que el sistema operaba dentro de los parámetros nominales. En la tabla 1 se presentan los datos de los productos utilizados durante el mantenimiento, cantidad y precio de los insumos necesarios.

Tabla 1. Productos utilizados para la limpieza química de los enfriadores de aceite y sus precios.

Producto	Precio Unitario	Cantidades	Total Lavado
Sosa Líquida	12,982 \$/kg	1 350 kg (3 %)	17525,7 CUP
Fosfato Trisódico	40,417 \$/kg	1 350 kg (3 %)	54 562,65 CUP
Tensoactivo Industrial	7,4 USD/L	450 L (1 %)	3 330 USD
Ácido Clorhídrico	4 049 \$/L	2,25 T (5 %)	9 110,25 CUP
Inhibidor de la Corrosión	31 135 USD/L	450 L (1 %)	14 010,75 USD

El análisis económico desarrollado también considera que la unidad tiene regularmente una potencia efectiva de 65 MW/h, por lo que deja de incorporar 7 800 MW al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). El ahorro económico obtenido por la aplicación arrojó un total de \$ 24 3597,7 CUP y \$ 52 022,25 USD en gastos de mano de obra y logística.

Impacto en el vínculo Universidad-Empresa

El vínculo entre la Universidad de Oriente y la Central termoeléctrica Antonio Maceo ha propiciado un entorno de formación integral para los estudiantes de ingeniería mecánica e industrial, fomentando el desarrollo de habilidades prácticas y teóricas a través de diversas acciones y resultados asociados. El vínculo entre la Universidad de Oriente y la Central termoeléctrica Antonio Maceo ha demostrado ser beneficioso para ambas partes.

Para los estudiantes la colaboración les proporcionó una plataforma práctica donde aplicar sus conocimientos teóricos, lo que enriqueció su formación académica. El alto compromiso y motivación que mostraron se tradujo en resultados sobresalientes durante la defensa de sus proyectos y trabajos de diploma, lo que refleja la efectividad del aprendizaje práctico.

Por otra parte, para la Central termoeléctrica la participación activa de los estudiantes permitió a la Central elevar sus índices de eficiencia y mejorar indicadores productivos. La implementación de tecnología magnética en los equipos de intercambio de calor no solo optimizó el rendimiento térmico, sino que también prolongó los tiempos de mantenimiento. Esto resultó en un beneficio económico significativo, ya que una mayor eficiencia en el intercambio de calor se traduce en una reducción de costos operativos y un aumento en la producción energética.

Este enfoque colaborativo ha permitido que los estudiantes participen activamente en proyectos significativos que enriquecen su experiencia académica y profesional. La tabla 1 resume los principales resultados científicos estudiantiles.

Tabla 2. Resumen de los principales resultados vinculados a la formación estudiantil a través del Proyecto Territorial PT223SC002-007.

Eventos científicos	Proyecto Territorial PT223SC002-007
	Artículo en la Revista Ingeniería Mecánica
	Congreso internacional Metalmeccánica 2025
	Evento Intergest de Ciego de Ávila 2025
	Evento Intergest de Las Tunas. 2025*
	Forum de ciencia y técnica de la facultad de ingeniería mecánica e industrial
	Forum Científico Estudiantil*
	21 Simposio Internacional de Educación Ciencia e Innovación. Zacatecas México.
Acciones de pre y postgrado	Visita de los estudiantes de la carrera de ingeniería Mecánica, 2024 y 2025
	Proyecto Integrador ingeniería mecánica I (4)
	Proyecto Integrador de ingeniería mecánica II (4)
	Trabajos de Diploma (4)
	Tesis de Maestría (2)
	Tesis de Doctorado**

* Estudiantes fueron premiados

** En proceso

Como se puede apreciar en la tabla anterior la participación estudiantil se encuentra implícita en el Proyecto Territorial PT223SC002-007, liderado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, una Entidad de Ciencia y Técnica. Esta participación no solo ha contribuido al desarrollo local, sino que también ha servido como plataforma para la aplicación de sus conocimientos en un contexto real. Estos resultados han permitido publicaciones académicas en eventos y seminarios científicos (Imbert et al., 2025), que destacan los hallazgos y avances del trabajo realizado.

Los estudiantes también se han involucrado en eventos de gran relevancia, como el Congreso Internacional de Metalmeccánica 2025, el Evento Intergest “Ciego de Ávila 2025” y el Evento científico “Intergest Tunas 2025”, donde han presentado sus investigaciones y proyectos. Asimismo, obtenido premios en el Fórum de Ciencia y Técnica de la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial y en el Fórum Científico Estudiantil del CNEA, espacios que fomentan el intercambio de ideas y la difusión del conocimiento. La participación en el 21 Simposio Internacional de Educación, Ciencia e Innovación en Zacatecas, México, representa una oportunidad adicional para que nuestros estudiantes se posicionen en el ámbito internacional.

En cuanto a las acciones de pregrado y posgrado, se han llevado a cabo visitas programadas para los estudiantes de Ingeniería Mecánica e industrial durante los cursos 2024 y 2025, lo que les permite conocer de

primera mano las operaciones y desafíos de la central termoeléctrica. Los Proyectos Integradores de Ingeniería Mecánica I y II han sido fundamentales para consolidar el aprendizaje práctico, mientras que los Trabajos de Diploma (4), las Tesis de Maestría (2) y su continuidad en doctorado han demostrado un alto nivel de calidad y rigurosidad académica, contribuyendo a la formación integral de los futuros profesionales.

Esta sinergia entre la Universidad de Oriente y la Central termoeléctrica Antonio Maceo ha generado resultados significativos que no solo fortalecen la formación académica de los estudiantes, sino que también contribuyen al desarrollo tecnológico y científico del sector energético. Estos logros evidencian la importancia del vínculo Universidad-Empresa como motor para la innovación y el crecimiento profesional.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en todos los aspectos analizados permiten observar un resultado significativo que apunta directamente a la mitigación efectiva de las incrustaciones, debido a la reducción drástica de la resistencia térmica total del sistema, causada primariamente por la acción del dispositivo magnético. Este incremento se encuentra en el intervalo de lo que han obtenido otros investigadores (Zhang & Zhnag, 2022; Azizi et al., 2023; Lui et al., 2019) que reportan que el uso de dispositivos magnéticos de manera conjunta con nanofluidos alcanza crecimientos en el intervalo entre 5 y 31 %.

Los resultados indican que el sistema magnético no solo está previniendo las incrustaciones, sino que está revirtiendo activamente una condición de incrustación previa considerable que el intercambiador. Esto indica que el equipo estaba operando en un régimen donde la resistencia de incrustación era el principal factor limitante a la transferencia de calor

Aunque la remoción de incrustaciones es el efecto primario, los campos magnéticos aplicados pueden influir en el flujo cerca de las paredes (fenómeno conocido en el campo científico como magnetohidrodinámica – MHD o efectos magnéticos en fluidos no magnéticos. El campo magnético puede influir en la turbulencia o la capa límite viscosa, promoviendo una mejor mezcla del fluido caliente cerca de la superficie, elevando ligeramente, mejorando la convección. Este efecto secundario se suma a la ganancia obtenida por la reducción de la resistencia térmica, contribuyendo al aumento total de la efectividad.

La experiencia de los estudiantes involucrados en la evaluación de los equipos de intercambio de calor beneficiados con tecnología magnética en la central termoeléctrica Antonio Maceo les ha permitido desarrollar y aplicar una serie de habilidades técnicas fundamentales para su formación profesional.

1. Análisis Técnico: Los estudiantes aprendieron a realizar análisis detallados de los equipos de intercambio de calor, evaluando su rendimiento y eficiencia. Esto incluyó el uso de herramientas de medición y software especializado para el análisis de datos térmicos.

2. Resolución de Problemas: La identificación de fallas o ineficiencias en los equipos les permitió desarrollar habilidades críticas en la resolución de problemas. Aprendieron a formular hipótesis y analizar resultados para encontrar soluciones efectivas.

3. Trabajo en Equipo: Al participar en proyectos grupales, los estudiantes fortalecieron sus habilidades de trabajo en equipo, aprendiendo a colaborar y a comunicar sus ideas de manera efectiva. Esto es crucial en entornos industriales donde la cooperación entre diferentes disciplinas es esencial.

4. Gestión de Proyectos: La planificación y ejecución de sus trabajos de diploma les permitió establecer cronogramas, asignar tareas y cumplir con plazos establecidos.

5. Presentación y Defensa: La defensa de sus proyectos ante el comité técnico de la industria y/o jurados académicos les ayudó a mejorar sus habilidades de comunicación oral, así como a desarrollar confianza al presentar sus propuestas.

Estas habilidades desarrolladas se corresponden con las principales habilidades de los ingenieros mecánicos (Duarte et al., 2024), fomentadas en un ambiente propicio para la formación, la investigación y la innovación en el sector energético. La colaboración entre academia e industria permite identificar problemas reales y desarrollar soluciones prácticas basadas en evidencia científica.

Esta sinergia no solo genera avances tecnológicos, sino que también contribuye a establecer una cultura de innovación en el sector energético cubano, lo cual es esencial para enfrentar los retos futuros.

Finalmente, este proyecto se inscribe dentro del marco más amplio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, particularmente el ODS 7, que busca garantizar el acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos. Al mejorar la eficiencia energética y promover tecnologías limpias, se avanza hacia el cumplimiento de estos objetivos globales, lo que refuerza el compromiso de Cuba con el desarrollo sostenible.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos del trabajo desarrollado han permitido fortalecer la formación académica de los estudiantes y al mismo tiempo contribuir al desarrollo tecnológico y científico del sector energético. La implementación de un plan concreto de acciones liderado por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) de la Universidad de Oriente y apoyado por el CITMA Territorial a través de un proyecto territorial, ha generado resultados significativos. Estos logros evidencian la importancia del vínculo universidad-empresa como motor para la innovación y el crecimiento profesional.

La mejora en el desempeño operativo de la Central termoeléctrica Antonio Maceo y el ahorro económico materializado son elementos evidentes que reflejan un resultado consistente de la aplicación de la ciencia en el sector industrial. Este modelo colaborativo es un ejemplo claro de cómo la sinergia entre el ámbito académico y el sector industrial puede generar resultados positivos y sostenibles para ambas partes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alteneiji, M., Mohamed, I., Ali, H., Khan, K. A., & Abu Al-Rub, R. K. (2022). Heat transfer effectiveness characteristics maps for additively manufactured TPMS compact heat exchangers. *Energy Storage and Saving*, 1(3), 153-161. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.822776>

Azizi, Y., Bahramkhoo, M., & Kazemi, A. (2023). Influence of non uniform magnetic field on the thermal efficiency hydrodynamic characteristics of nanofluid in double pipe heat exchanger. *Scientific Reports*, 13, 407. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26285-w>

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass Transfer: Fundamentals and Applications* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Duarte, K., Gil, J., Rodríguez, A., Maldonado, J., & Badel, D. (2024). Tendencias en la formación de ingenieros Mecánicos. *Revista Educación en Ingeniería*, 19(37), 1-10.

Gugulothu, R., & Sanke, N. (2024). Experimental investigation of heat transfer characteristics for a shell and tube heat exchanger. *Energy Harvesting and Systems*, 11(1), 20220147. <https://doi.org/10.1515/ehs-2022-0147>

Henrique-Saldanha, W., Ponce-Arrieta, F. R., & Soares, G. L. (2021). State of the art of research on optimization of shell and tube heat exchanger by methods of evolutionary Computation. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28, 27-61. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09476-4>

Imbert G., J., Campos, M., Lestapi, M. D., & Zamora, G. (2025). Evaluation of oil-water heat exchangers with magnetic devices in a thermoelectric power plant. *Revista Ingeniería Mecánica*, 28, e713.

Lui, S., Zhang, Y., & Wang, Y. (2019). Enhancement of heat transfer performance by magnetics treatment of cooling water in shell and tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 143, 118547. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118547>

Marzouk, S. A., Abou Al Sood, M. M., Emad, M. S., Younes, M. M., & El Fakharany, M. K. A. (2023). Comprehensive review of methods of heat transfer enhancement in shell and tube heat exchangers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(3), 973-1226. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12265-3>

Peng, Y., Xu, X., & Liang, Y. (2023). Influence of an Axial-Electromagnetic Field Treatment Device with a Solenoid Structure on Crystallization Fouling on the Tube Side of a Shell-and-Tube Heat Exchanger. *Entropy*, 25(7), 962. <https://doi.org/10.3390/e25070962>

Turgut, E., & Yardımcı, U. (2022). Detailed evaluation of a heat exchanger in terms of effectiveness and second law. *Journal of Turbulence*, 23(9-10), 515-547. <https://doi.org/10.1080/14685248.2022.2134571>

Yang, J., Yang, X., Wang, J., Chin, H. H., & Sundén, B. (2022). Review on Thermal Performance of Nanofluids With and Without Magnetic Fields in Heat Exchange Devices. *Frontiers in Energy Research*, 10, 822776. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.822776>

Zhang, X., & Zhnag, Y. (2022). Experimental study on enhanced heat transfer and flow performance of magnetic

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

Los autores del manuscrito señalado, DECLARAMOS que hemos contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, estamos en condiciones de hacernos públicamente responsable de él y aceptamos que sus nombres figuren en la lista de autores en el orden indicado. Además, hemos cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Dr. C. Josué Imbert González, Dra. C. Melek Campos Sofía, Ing. Geolbis Zamora Martínez y Alain Daniel Garzón Rodríguez: Proceso de revisión de literatura y redacción del artículo.