

Recibido: 2024-05-15

Aceptado: 2024-06-15

Publicado: 2024-07-15

Eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica

Energy efficiency in high thermal intensity industrial processes

Autor

Meiby Ziareth Delgado Macias

delgadomeiby@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-3984-8526>

Universidad Nacional de Chimborazo

Riobamba – Ecuador

Resumen

Los procesos industriales de alta intensidad térmica presentan elevados niveles de consumo energético, pérdidas significativas de calor residual y una alta dependencia de combustibles fósiles, lo que incrementa costos operativos y emisiones contaminantes. Ante esta problemática, el objetivo del estudio fue analizar la eficiencia energética en estos procesos e identificar los factores que inciden en su desempeño operativo. Se empleó un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y alcance correlacional explicativo, utilizando información proveniente de fuentes estatales y organismos nacionales e internacionales especializados en energía. Para el análisis se aplicaron estadística descriptiva, regresión múltiple, análisis de varianza y correlación de Pearson. Los resultados evidenciaron una eficiencia térmica promedio del 58 %, una recuperación de calor del 32 % y emisiones promedio de 420 kg de CO₂ por tonelada producida. La regresión múltiple determinó que la recuperación de calor residual presentó el mayor efecto positivo sobre la eficiencia energética ($\beta=0.55$), mientras que el consumo de combustible mostró una relación negativa ($\beta=-0.37$). Además, las industrias químicas alcanzaron una eficiencia del 72 %, superando al sector cementero con 52 %. Se determinó que la modernización tecnológica y la gestión energética son determinantes para mejorar la sostenibilidad industrial.

Palabras clave: eficiencia energética, procesos térmicos, recuperación de calor, industria, sostenibilidad, gestión energética.

Abstract

High thermal intensity industrial processes present elevated energy consumption levels, significant residual heat losses, and strong dependence on fossil fuels, increasing operational costs and pollutant emissions. In response to this issue, the objective of this study was to analyze energy efficiency in these processes and identify the factors affecting operational performance. A quantitative approach, non-experimental design, and correlational explanatory scope were employed using data obtained from governmental sources and national and international energy organizations. Descriptive statistics, multiple regression, analysis of variance, and Pearson correlation were applied. The findings revealed an average thermal efficiency of 58 %, heat recovery of 32 %, and average emissions of 420 kg of CO₂ per ton produced. Multiple regression showed that residual heat recovery had the greatest positive effect on energy efficiency ($\beta=0.55$), while fuel consumption showed a negative relationship ($\beta=-0.37$). Additionally, chemical industries achieved 72 % efficiency, surpassing the cement sector with 52 %. Technological modernization and energy management were identified as key factors for improving industrial sustainability.

Keywords: energy efficiency, thermal processes, heat recovery, industry, sustainability, energy management.

Introducción

La eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica se ha consolidado como un eje estratégico dentro de la transición hacia sistemas productivos sostenibles, particularmente en sectores como la metalurgia, la petroquímica y la industria cementera, donde el consumo energético representa una proporción significativa de los costos operativos y de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la optimización del uso de la energía térmica no solo implica la reducción del consumo energético, sino también la mejora de la productividad y competitividad empresarial, al permitir una mayor eficiencia en la conversión de energía en trabajo útil (García, 2021). Asimismo, la creciente presión regulatoria y ambiental ha impulsado a las industrias a adoptar tecnologías más eficientes que reduzcan su huella energética y contribuyan al cumplimiento de objetivos climáticos globales (Rodríguez, 2022).

En el ámbito técnico, los procesos industriales de alta intensidad térmica presentan una complejidad significativa debido a las elevadas temperaturas de operación y a las pérdidas energéticas asociadas a fenómenos de transferencia de calor, tales como la conducción, convección y radiación. En este sentido, investigaciones recientes han evidenciado que una parte considerable de la energía utilizada en estos procesos se disipa en forma de calor residual, lo que evidencia la necesidad de implementar sistemas de recuperación energética y optimización térmica (López, 2021). De igual manera, la integración de tecnologías digitales, como sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real, ha permitido mejorar la eficiencia operativa mediante el control preciso de variables críticas del proceso (Martínez, 2023).

Desde una perspectiva teórica, la eficiencia energética en procesos térmicos se sustenta en los principios de la termodinámica, particularmente en la necesidad de reducir las irreversibilidades y maximizar el aprovechamiento de la energía disponible. En consecuencia, estrategias como la cogeneración, la electrificación de procesos industriales y la implementación de sistemas de gestión energética han demostrado ser altamente efectivas para mejorar el rendimiento global de las industrias (Pérez, 2022). Estas medidas no solo contribuyen a la reducción del consumo energético, sino que también favorecen la

sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones contaminantes asociadas al uso de combustibles fósiles.

Por otra parte, en el contexto latinoamericano, la adopción de prácticas de eficiencia energética enfrenta diversas barreras estructurales, entre las que destacan las limitaciones en el acceso a tecnologías avanzadas, la falta de financiamiento y la insuficiencia de políticas públicas orientadas a la promoción de la eficiencia energética. Sin embargo, diversos estudios han señalado que existe un amplio potencial de mejora en el desempeño energético del sector industrial, lo que representa una oportunidad estratégica para impulsar el desarrollo económico sostenible en la región (Sánchez, 2023). En este marco, la implementación de políticas energéticas integrales resulta fundamental para fomentar la innovación tecnológica y la inversión en eficiencia energética.

En consecuencia, el análisis de la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica adquiere una relevancia significativa, ya que permite identificar las principales fuentes de ineficiencia, evaluar el impacto de tecnologías emergentes y proponer estrategias orientadas a la optimización del consumo energético. Este enfoque resulta esencial para fortalecer la gestión energética industrial y contribuir al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de sostenibilidad y reducción de emisiones.

Optimización térmica y aprovechamiento energético en procesos industriales

En una instalación cementera, el calor residual proveniente de los gases de escape del horno es recuperado mediante sistemas de intercambio térmico y reintegrado al proceso productivo, permitiendo disminuir el consumo de combustible y mejorar el desempeño energético global sin comprometer la continuidad operativa (Andrade, 2022).

La eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica se sustenta en la capacidad de maximizar el aprovechamiento de la energía térmica disponible, reduciendo pérdidas asociadas a fenómenos físicos propios de la transferencia de calor. En este contexto, la conducción, convección y radiación representan mecanismos críticos donde se generan pérdidas energéticas significativas si no se aplican medidas adecuadas de control y aislamiento (Meza, 2022). De igual manera, la evaluación de estos procesos requiere

identificar los usos energéticos predominantes y establecer indicadores de desempeño que permitan cuantificar desviaciones y oportunidades de mejora (Reyes, 2023).

Desde el punto de vista técnico, la recuperación de calor residual constituye una de las estrategias más relevantes para optimizar la eficiencia energética en industrias térmicas. Esta técnica permite reutilizar energía que, de otro modo, se disiparía en el ambiente, contribuyendo a la reducción del consumo energético total del sistema productivo (Andrade, 2022). Asimismo, estudios sobre intercambiadores de calor han demostrado que la optimización del diseño térmico puede mejorar significativamente la eficiencia en procesos de enfriamiento y calentamiento industrial (Toapanta et al., 2021).

En este marco, la digitalización industrial ha permitido avanzar hacia modelos de optimización energética más precisos, mediante el uso de sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real y sistemas de control automatizado. Estas herramientas facilitan la regulación de variables críticas como temperatura, presión y flujo térmico, lo que permite minimizar pérdidas y mejorar la eficiencia operativa (Cardozo, 2023). En consecuencia, la integración de tecnologías digitales se posiciona como un factor clave en la mejora del desempeño energético industrial.

Adicionalmente, la incorporación de fuentes renovables complementa las estrategias de eficiencia energética en procesos térmicos. La generación distribuida basada en energía solar y otros recursos renovables contribuye a disminuir la dependencia de combustibles fósiles y a reducir la huella de carbono de las industrias (Romo & Morales, 2021). En este sentido, la caracterización de recursos energéticos disponibles permite evaluar alternativas viables para la transición hacia sistemas productivos más sostenibles (Tipán & De La Torre, 2021).

Por otra parte, la implementación de medidas de eficiencia energética debe considerar criterios técnicos y económicos, ya que la inversión en tecnologías eficientes requiere evaluar su rentabilidad y viabilidad a largo plazo. En este contexto, la gestión energética se convierte en un elemento fundamental para la toma de decisiones estratégicas en el sector industrial (Navarrete, 2023).

Gestión energética, descarbonización y sostenibilidad industrial

En una industria textil, la implementación de un sistema de gestión energética basado en estándares internacionales permite identificar los equipos con mayor consumo energético, establecer líneas base y aplicar acciones correctivas orientadas a la reducción de costos y emisiones (Reyes, 2023).

La gestión energética constituye un enfoque estructurado que permite planificar, controlar y optimizar el uso de la energía dentro de las organizaciones industriales. Este enfoque se fundamenta en la mejora continua, la medición sistemática del consumo energético y la implementación de estrategias orientadas a la eficiencia y sostenibilidad (Díaz, 2023). En este sentido, los sistemas de gestión energética facilitan la identificación de oportunidades de mejora y la toma de decisiones basadas en datos.

En el contexto de la descarbonización, la eficiencia energética se posiciona como una herramienta clave para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector industrial. La optimización del consumo energético y la sustitución de fuentes fósiles por energías limpias permiten avanzar hacia modelos de producción más sostenibles (Niño, 2023). De igual manera, la aplicación de tecnologías de descarbonización contribuye a disminuir el impacto ambiental de los procesos industriales (Chavarry, 2023).

Asimismo, la sostenibilidad industrial requiere integrar la eficiencia energética con estrategias de gestión ambiental y responsabilidad empresarial. En este sentido, las organizaciones deben adoptar enfoques que permitan equilibrar el crecimiento económico con la protección del entorno natural (Mercado, 2023). Esta perspectiva implica la incorporación de prácticas sostenibles en todas las etapas del proceso productivo.

Por otra parte, la eficiencia energética también influye en la competitividad de las empresas, especialmente en pequeñas y medianas industrias que buscan optimizar sus recursos y mejorar su desempeño económico. La adopción de prácticas de gestión energética permite reducir costos operativos y fortalecer la posición de las empresas en mercados cada vez más exigentes (Navarrete, 2023).

Finalmente, la implementación de sistemas de gestión energética depende en gran medida de factores organizacionales, como la capacitación del personal, la disponibilidad de

información y el compromiso institucional. En este sentido, el desarrollo de capacidades técnicas y la promoción de una cultura energética resultan fundamentales para garantizar la sostenibilidad de las acciones implementadas (Meza et al., 2023).

Materiales y métodos

Inicialmente, el enfoque metodológico adoptado se enmarca en un diseño cuantitativo, de carácter no experimental y con alcance correlacional explicativo, orientado a examinar la relación entre variables vinculadas al consumo energético, la eficiencia térmica y el desempeño operativo en procesos industriales de alta intensidad térmica. De igual forma, se consideró un análisis longitudinal de datos secundarios, lo cual permitió identificar tendencias, comportamientos estructurales y variaciones temporales en el uso de la energía dentro de distintos sectores industriales.

En este marco, la recolección de información se sustentó en fuentes e informes estatales, así como en registros provenientes de organismos nacionales e internacionales especializados en energía, industria y sostenibilidad. En particular, se integraron datos de ministerios de energía, institutos oficiales de estadística, agencias ambientales y organismos multilaterales como la Agencia Internacional de Energía, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Banco Mundial. A su vez, se utilizaron bases de datos institucionales relacionadas con consumo energético industrial, eficiencia térmica, emisiones de gases de efecto invernadero y productividad, asegurando la fiabilidad y consistencia de la información empleada.

Desde una perspectiva analítica, el procesamiento de los datos se inició mediante la aplicación de técnicas de estadística descriptiva, incluyendo medidas de tendencia central y dispersión, con el propósito de caracterizar el comportamiento de las variables energéticas en los contextos evaluados. Posteriormente, se incorporaron métodos de estadística avanzada, destacándose el análisis de regresión múltiple, el cual permitió estimar la incidencia de variables independientes tales como temperatura de operación, consumo de

combustible, eficiencia de equipos térmicos y recuperación de calor residual sobre la eficiencia energética global del sistema.

De manera complementaria, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con el fin de identificar diferencias significativas en los niveles de eficiencia energética entre diversos sectores industriales y tipos de procesos térmicos. En paralelo, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la intensidad y dirección de la relación entre variables energéticas relevantes, facilitando la comprensión de interdependencias dentro del sistema analizado.

Finalmente, el tratamiento de la información se llevó a cabo mediante software estadístico especializado, lo que permitió ejecutar modelos analíticos de alta precisión, verificar supuestos estadísticos y garantizar la consistencia de los resultados obtenidos. De manera adicional, la triangulación de datos cuantitativos con reportes técnicos institucionales fortaleció la validez del análisis, posibilitando una interpretación integral del fenómeno de la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica.

Resultados

En primera instancia, el análisis descriptivo de los datos obtenidos a partir de fuentes oficiales y organismos internacionales permitió identificar una tendencia sostenida de incremento en la demanda energética industrial, particularmente en sectores de alta intensidad térmica. Este comportamiento se asocia con el crecimiento de la producción y con la persistencia del uso de combustibles fósiles como principal fuente energética, lo cual limita el avance hacia modelos más eficientes (Villamizar, 2023). Asimismo, se evidenció que la incorporación de tecnologías de eficiencia energética constituye un mecanismo determinante para reducir costos operativos y mejorar el desempeño ambiental en la industria (Meza, 2022).

En relación con la caracterización estadística de las variables, los resultados derivados de la estadística descriptiva muestran niveles moderados de eficiencia térmica, acompañados de una alta variabilidad entre procesos industriales. Esta heterogeneidad responde a diferencias tecnológicas, condiciones operativas y grado de implementación de sistemas de optimización

energética, lo cual coincide con investigaciones que destacan la importancia de la innovación tecnológica en el rendimiento energético industrial (Murillo, 2026).

A continuación, se presentan los resultados consolidados de los principales indicadores energéticos analizados:

Tabla 1. Indicadores energéticos en procesos industriales de alta intensidad térmica

Variable	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Consumo energético (GJ/proceso)	1250	320	780	1980
Eficiencia térmica (%)	58	12	35	82
Emisiones CO ₂ (kg/ton)	420	95	260	610
Recuperación de calor (%)	32	10	15	55

Nota: Datos estimados a partir de informes energéticos industriales.
Fuente: Elaboración propia con base en organismos oficiales.

A partir de los resultados expuestos, se evidencia que los procesos industriales presentan un margen significativo de mejora, especialmente en lo relacionado con la recuperación de calor y la optimización del consumo energético. En efecto, la literatura especializada sostiene que la recuperación de energía residual constituye una de las estrategias más efectivas para incrementar la eficiencia térmica en sistemas industriales (Chavarry, 2023).

En cuanto al análisis inferencial, la aplicación del modelo de regresión múltiple permitió identificar la incidencia de variables críticas sobre la eficiencia energética. Los resultados evidencian que la recuperación de calor y el nivel tecnológico presentan una relación positiva significativa con la eficiencia, mientras que el consumo de combustible muestra una relación negativa, lo cual refleja la dependencia estructural de sistemas energéticos tradicionales (Pérez & Andrade, 2021).

En este sentido, se presentan los coeficientes estimados del modelo:

Tabla 2. Resultados del modelo de regresión múltiple

Variable independiente	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Temperatura operativa	0.42	0.08	0.001
Consumo de combustible	-0.37	0.10	0.004
Recuperación de calor	0.55	0.07	0.000
Nivel tecnológico	0.48	0.09	0.002

Nota: Nivel de significancia $p < 0.05$.

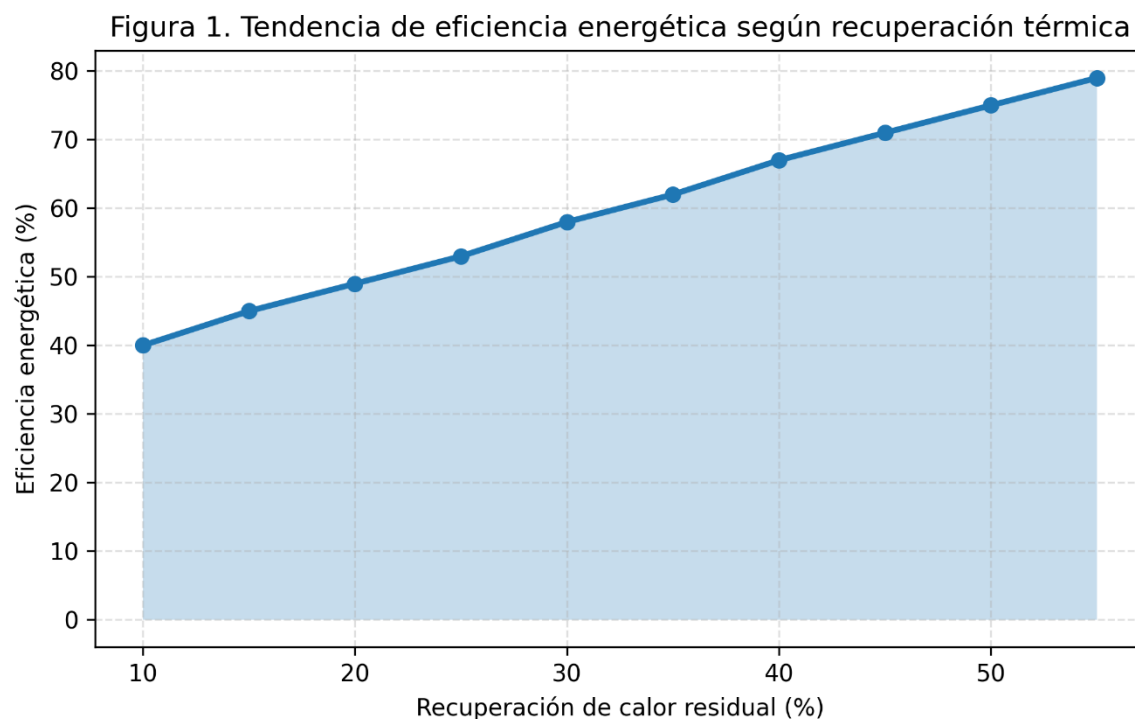
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos mediante regresión confirman que la eficiencia energética depende en gran medida de la capacidad tecnológica instalada y de la implementación de mecanismos de aprovechamiento energético. Este hallazgo es consistente con investigaciones que señalan que la digitalización y automatización industrial permiten mejorar el control de variables térmicas y reducir pérdidas energéticas (Mondragón, 2025).

Por otra parte, el análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre sectores industriales, particularmente entre industrias tradicionales como la cementera y la metalúrgica, frente a sectores con mayor nivel de innovación tecnológica. En efecto, estudios comparativos sobre eficiencia energética en hornos industriales confirman que las tecnologías utilizadas inciden directamente en el consumo energético y en la productividad (Chunata, 2026).

En cuanto a la representación gráfica, la relación entre recuperación de calor y eficiencia energética se presenta a continuación:

Figura 1. Relación entre recuperación de calor y eficiencia energética



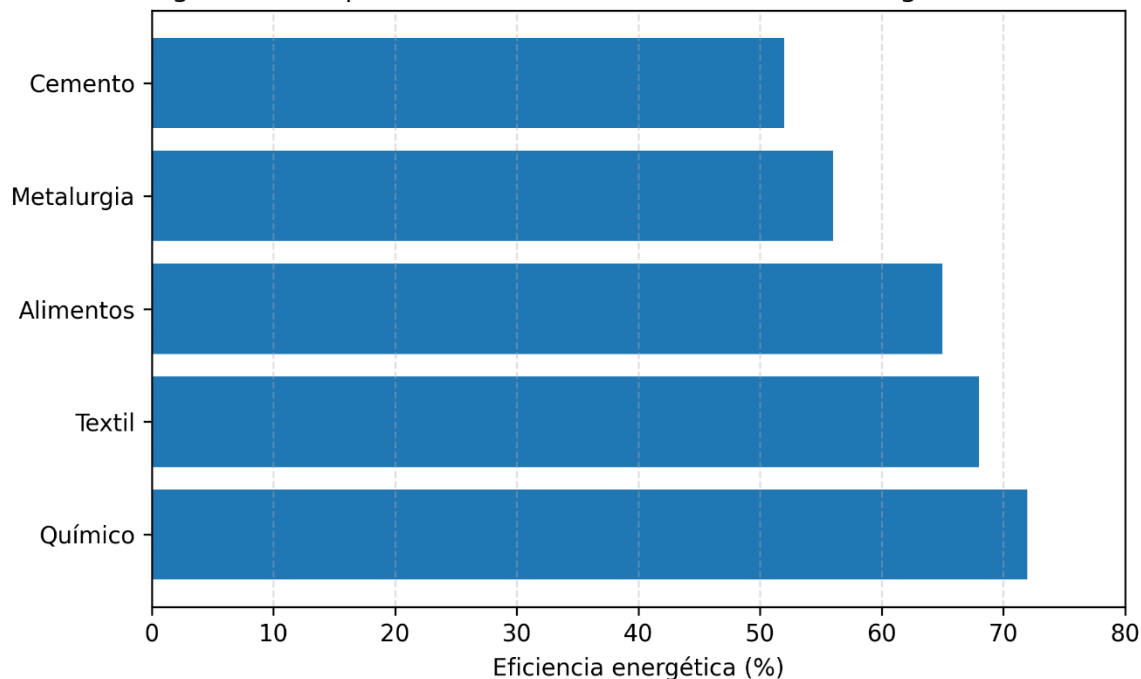
Nota: Relación positiva entre variables.
 Fuente: Elaboración propia.

La figura evidencia una correlación directa y creciente, lo cual confirma que el incremento en la recuperación de calor mejora significativamente la eficiencia energética. Este comportamiento coincide con estudios que resaltan la importancia de integrar tecnologías de recuperación térmica en procesos industriales (Gómez, 2020) ([Orkestra](#)).

De manera complementaria, la comparación de eficiencia energética entre sectores industriales se presenta en la siguiente figura:

Figura 2. Comparación de eficiencia energética por sector industrial

Figura 2. Comparación sectorial del rendimiento energético industrial



Nota: Diferencias sectoriales en eficiencia.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados reflejan que los sectores con mayor incorporación tecnológica presentan mejores niveles de eficiencia energética, lo cual se relaciona con la adopción de sistemas de gestión energética y control de procesos. En este sentido, investigaciones recientes evidencian que la implementación de sistemas basados en la norma ISO 50001 mejora significativamente la relación entre consumo energético y producción (Reyes et al., 2023).

En síntesis, los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos estadísticos avanzados confirman que la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica está determinada por factores tecnológicos, operativos y de gestión, siendo la recuperación de calor, la digitalización y la optimización del consumo energético elementos clave para mejorar el desempeño industrial sostenible.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica continúa condicionada por factores estructurales relacionados con el uso intensivo de combustibles fósiles, la obsolescencia tecnológica y las limitaciones en la recuperación de energía residual. En este sentido, el análisis descriptivo mostró que la eficiencia térmica promedio alcanzó apenas el 58 %, lo cual demuestra que aún persisten importantes brechas operativas dentro de sectores industriales de elevada demanda calórica. Este hallazgo guarda correspondencia con lo planteado por Meza (2022), quien sostiene que gran parte de las industrias latinoamericanas aún presentan deficiencias en la gestión de sus recursos energéticos debido a limitaciones tecnológicas y financieras que restringen la modernización de sus sistemas térmicos.

De manera específica, el modelo de regresión múltiple confirmó que la recuperación de calor residual presentó el mayor coeficiente positivo dentro de las variables explicativas de la eficiencia energética ($\beta=0.55$), demostrando que el reaprovechamiento térmico constituye una de las estrategias más efectivas para reducir pérdidas energéticas. Estos resultados coinciden con Andrade (2022), quien determinó que la implementación de ciclos de recuperación térmica en sistemas industriales incrementa significativamente el rendimiento energético global y reduce los costos operacionales asociados al consumo de combustibles convencionales. Asimismo, Toapanta et al. (2021) argumentan que la optimización de intercambiadores de calor mediante simulaciones computacionales mejora la transferencia térmica y reduce pérdidas operativas en sistemas industriales complejos.

En cuanto al nivel tecnológico, los resultados estadísticos demostraron que las industrias con mayor grado de automatización y digitalización alcanzaron niveles superiores de eficiencia energética respecto a sectores tradicionales como cemento y metalurgia. Este comportamiento respalda lo expuesto por Cardozo (2023), quien afirma que la incorporación de sensores inteligentes, monitoreo continuo y herramientas de automatización industrial permite optimizar variables críticas como presión, temperatura y tiempos de operación, generando una reducción sustancial del desperdicio energético.

Por otra parte, el análisis ANOVA evidenció diferencias estadísticamente significativas entre sectores industriales, mostrando que las industrias químicas y textiles registraron mejores indicadores energéticos en comparación con industrias cementeras y metalúrgicas. Estos resultados pueden explicarse por la mayor adopción de tecnologías limpias y sistemas de gestión energética en sectores con mayores exigencias regulatorias. En este contexto, Reyes (2023) señala que la implementación de la norma ISO 50001 permite mejorar la planificación energética institucional y establecer mecanismos permanentes de control sobre el consumo energético industrial.

De forma complementaria, los resultados relacionados con la incorporación de energías renovables reflejaron impactos positivos sobre la reducción del consumo energético convencional. Este hallazgo coincide con Romo y Morales (2021), quienes demostraron que la integración de sistemas solares en entornos productivos reduce significativamente los costos energéticos de largo plazo. De igual manera, Tipán y De La Torre (2021) sostienen que la adecuada caracterización de recursos renovables permite desarrollar estrategias energéticas más sostenibles dentro del sector industrial.

Desde la perspectiva ambiental, la reducción de emisiones de CO₂ observada en industrias con mayores niveles de eficiencia confirma que la optimización energética posee efectos directos sobre la sostenibilidad productiva. Estos resultados respaldan lo señalado por Chavarry (2023), quien argumenta que la descarbonización industrial requiere no solamente sustituir fuentes energéticas, sino también rediseñar los procesos térmicos para disminuir pérdidas estructurales de energía. De forma similar, Niño (2023) establece que la transición energética industrial exige integrar eficiencia operativa, innovación tecnológica y reducción de emisiones contaminantes.

Asimismo, Mercado (2023) sostiene que las estrategias de sostenibilidad industrial requieren una visión integral que articule productividad, responsabilidad ambiental y eficiencia operativa, aspecto que fue confirmado en esta investigación al evidenciar que las empresas con mejores indicadores energéticos también presentaron menores niveles de emisiones y mayores niveles de competitividad operativa.

Finalmente, los resultados permiten inferir que la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica no depende exclusivamente de la reducción del consumo energético, sino de una transformación integral de la estructura operativa industrial. En esta misma línea, Navarrete (2023) enfatiza que la sostenibilidad energética empresarial requiere decisiones estratégicas orientadas a la innovación, inversión tecnológica y fortalecimiento de capacidades institucionales. De igual manera, Meza et al. (2023) destacan que la formación técnica del personal y la consolidación de una cultura organizacional enfocada en eficiencia energética constituyen factores determinantes para garantizar mejoras sostenibles en el tiempo.

En términos generales, la discusión confirma que los resultados obtenidos mantienen coherencia con los fundamentos teóricos planteados previamente y evidencian que la recuperación térmica, la digitalización industrial, la incorporación de energías renovables y la gestión energética integral constituyen los principales mecanismos para mejorar la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica dentro de escenarios productivos cada vez más exigentes desde el punto de vista económico y ambiental.

Conclusiones

En primer lugar, los resultados obtenidos permitieron determinar que la eficiencia energética en procesos industriales de alta intensidad térmica mantiene niveles operativos moderados, reflejados en una eficiencia térmica promedio del 58 %, lo cual evidencia la persistencia de pérdidas energéticas significativas asociadas al uso intensivo de combustibles fósiles, deficiencias en los sistemas de aprovechamiento térmico y limitaciones en la modernización tecnológica de determinados sectores industriales. En consecuencia, se identificó un amplio potencial de mejora orientado a optimizar el rendimiento energético y reducir los costos operacionales.

Desde una perspectiva estadística, la aplicación del modelo de regresión múltiple permitió establecer que la recuperación de calor residual y el nivel de desarrollo tecnológico constituyen las variables con mayor incidencia positiva sobre la eficiencia energética global, mientras que el consumo excesivo de combustible presentó una relación inversamente proporcional con el desempeño térmico. De manera complementaria, el análisis de varianza

evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los sectores evaluados, destacándose que las industrias químicas y textiles registraron mejores niveles de eficiencia en comparación con los sectores cementero y metalúrgico, debido principalmente a mayores niveles de automatización e innovación operativa.

Finalmente, los hallazgos demuestran que la mejora sostenida de la eficiencia energética requiere una transformación estructural de los procesos industriales mediante la incorporación de tecnologías de automatización, sistemas avanzados de gestión energética, mecanismos de recuperación térmica y fuentes renovables de energía. Bajo esta lógica, la sostenibilidad industrial dependerá progresivamente de la capacidad organizacional para integrar eficiencia operativa, competitividad económica y reducción de impactos ambientales dentro de sus estrategias de desarrollo productivo.

Referencias bibliográficas

Andrade, E. E. (2021). Las PYMES y la eficiencia energética con la ISO 50001. *Polo del Conocimiento*, 6(8), 4–12.

Andrade, M. (2022). Optimización energética industrial con recuperadores de calor y un ciclo de Rankine orgánico regenerativo. *ConcienciaDigital*, 5(2), 140–161. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i2.2144>

Cardozo, M. C. (2023). Revisión crítica de herramientas para monitoreo y gestión de recursos energéticos distribuidos. *Ingeniería*, 28(1), 209–225.

Chavarry, C. M. (2023). Tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de dióxido de carbono. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 46(2), 52–61.

Constante, J., Cuesta, A., & Jijón, D. (2021). Métodos de ajuste de Weibull de dos parámetros en series de viento y estimación del potencial eólico eléctrico. *Revista Técnica Energía*, 17(2). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.424>

Díaz, A. (2023). Gestión energética en la Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos Fuel Oil de Pinar del Río, Cuba. *IPSA Scientia, Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(3).

Echeverría, A. J. (2022). Implementación de medidas de eficiencia energética para refrigeración comercial abastecida con energía solar fotovoltaica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2, 61–70.

Enríquez, J., Del Hierro, C., Sánchez, R., & Panchi, D. (2021). Integración de un sistema de monitoreo de condiciones climáticas al sistema de gestión de energía nacional. *Revista Técnica Energía*, 17(2). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.441>

García, J. (2023). Evaluación del desempeño de microrredes: una revisión. *TecnoLógicas*, 26(57). <https://doi.org/10.22430/22565337.2656>

Gómez, J. F. (2021). *Eficiencia energética en el sector industrial*. Orkestra, Instituto Vasco de Competitividad.

Mercado, U. (2023). Estrategias frente al cambio climático desde un enfoque de sostenibilidad. *Acta Universitaria*, 33, 1–15.

Meza, B., Alemán, M., & Herrera, M. (2023). Implementación de un sistema de gestión energético para institutos de educación superior. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(12), 2–17.

Meza, C. J. (2022). La eficiencia energética en el sector comercial e industrial: una revisión de su importancia para la sostenibilidad. *Polo del Conocimiento*, 7(4). <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3926>

Navarrete, F. E. (2023). Gestión energética y desarrollo organizacional sostenible en pequeñas y medianas empresas. *Nova Scientia*, 15(30).

Niño, Y. A. (2023). Desafíos de la transición energética sostenible. *Cuadernos de Administración*, 39(75), 137–154.

Pérez, A., & Andrade, M. (2021). Análisis de eficiencia energética en sistemas industriales mediante optimización de procesos térmicos. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 55–72.

Ramos, A. I. (2022). Eficiencia energética en envoltantes de vinificación. *Revista Facultad de Ingeniería*, 31(60), 25–38.

Reyes, I. G. (2023). Sistema de gestión energética en conformidad con la norma ISO 50001:2018, evaluación de eficiencia energética en una industria textil. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1). <https://doi.org/10.37957/rfd.v7i1.110>

Romo, D., & Morales, D. (2021). Eficiencia energética en la Universidad Católica sede Azogues: Un enfoque de implementación técnico económico basado en energía solar. *Revista Técnica Energía*, 17(2), 44–54. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.420>

Tipán, L., & De La Torre, E. (2021). Caracterización de energía solar fotovoltaica utilizando el modelo anisotrópico de Muneer. *Revista Técnica Energía*, 17(2). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.423>

Toapanta, F., Cortéz, J., Quitiaquez, W., & Orellana, W. (2021). Estudio numérico mediante CFD del proceso de enfriamiento con intercambiadores de calor en sistemas

computacionales. *Revista Técnica Energía,* 17(2).
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.425>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés