



Modelo de gestión energética estratégica orientado al uso eficiente de la energía en procesos productivos para la implementación de la norma ISO 50001 de una empresa del sector metalmecánico en Barranquilla en el año 2025

## TESIS DOCTORAL

que, para obtener el Grado de Ph.D.

DOCTOR EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

PRESENTA

Jennifer Luz Villa Domínguez

ASESOR

Erika Severeyn Varela

Jonathan Fábregas Villegas

México, 2025

La presente Tesis Doctoral debe ser citada como:

Villa Domínguez, Jennifer Luz. Modelo de gestión energética estratégica orientado al uso eficiente de la energía en procesos productivos para la implementación de la norma ISO 50001 de una empresa del sector metalmecánico en Barranquilla en el año 2025. [Tesis de Doctorado de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX]



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Se permite la reproducción total o parcial y la comunicación pública de la obra con reconocimiento de la autoría y mención de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX.

No se permite el uso comercial ni la creación de obras derivadas.

**Resumen.**

Este trabajo de investigación aborda el modelado del consumo energético en relación con la producción que tiene una compañía del sector metalmecánica llevó a cabo una caracterización de sus procesos tomando como referencia los lineamientos establecidos en la norma NTC-ISO 50001:2019. El estudio identifica los equipos con mayor impacto energético y analiza la formulación de políticas y estrategias de ahorro, considerando tanto cambios en la cultura organizacional como en los procesos industriales. Aunque la norma ha sido aplicada en diversos sectores, sus modelos simplificados se ajustan mejor a industrias con procesos estandarizados y producción constante, donde es posible establecer correlaciones directas entre la cantidad de productos fabricados y el consumo energético. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones en empresas cuya producción varía significativamente, como ocurre en el sector metalmecánico, donde las órdenes de trabajo son fluctuantes y los procesos, materiales y tiempos de fabricación son diversos e inciertos. Bajo este contexto, el establecer un modelo correlacional entre producción y consumo energético representa un desafío técnico y metodológico. Por tanto, el propósito central de esta investigación es adaptar los lineamientos de la NTC-ISO 50001:2019 a un entorno industrial de servicio metalmecánico dinámico, desarrollando un modelo que refleje con mayor precisión la relación entre la actividad productiva y el uso de energía. El estudio se basa en datos reales de consumo energético y producción recopilados durante varios meses en una planta de conformación de componentes metálicos, utilizando herramientas convencionales. Estos registros permiten ajustar el modelo propuesto y evaluar su aplicabilidad en escenarios industriales complejos y variables.

Palabras clave: *Eficiencia energética, sostenibilidad, ISO 50001, industria metalmecánica, consumo energético.*

**Abstract.**

This research addresses the modeling of energy consumption in relation to the production levels of a company in the metal-mechanical sector, conducted a characterization of its processes based on the guidelines established in the NTC-ISO 50001:2019 standard. The study identifies the equipment with the greatest energy impact and analyzes the formulation of policies and saving strategies, considering both changes in organizational culture and in industrial processes. Although the standard has been applied across various sectors, its simplified models are better suited to industries with standardized processes and consistent production, where direct correlations can be established between the quantity of products manufactured and the associated energy consumption. However, this approach presents limitations in companies with highly variable production, as is the case in the metalworking sector, where work orders fluctuate and the processes, materials, and manufacturing times are diverse and uncertain. In this context, establishing a correlational model between production and energy consumption represents a technical and methodological challenge. Therefore, the central purpose of this research is to adapt the guidelines of NTC-ISO 50001:2019 to a dynamic metalworking service environment, developing a model that more accurately reflects the relationship between productive activity and energy use. The study is based on real data of energy consumption and production collected over several months in a metal component forming plant, using conventional tools. These records allow for the adjustment of the proposed model and the evaluation of its applicability in complex and variable industrial scenarios.

*Keywords: Energy efficiency, sustainability, ISO 50001, metalworking industry, energy consumption.*

**Agradecimientos.**

Agradezco a Dios por ser mi guía y fortaleza durante este proceso, llenándome de sabiduría y perseverancia. A mi esposo, por ser mi mayor empuje y fuente de motivación constante, acompañándome en cada paso de este camino. A mi familia, por su apoyo incondicional, y a mis docentes, por compartir sus conocimientos y orientar mi formación profesional. A mis amigos, por estar presentes en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada logro. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo conjunto de todos quienes han creído en mí.

**Dedicatoria.**

Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía y fortaleza; a mi esposo, por su apoyo inquebrantable y su constante motivación; a mi familia, por su amor y confianza; y a mis amigos, por estar a mi lado en cada momento. Este logro es para todos ustedes, que han sido mi impulso en este camino.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO I. Proyección de la investigación.....	17
1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio.....	17
1.2. Planteamiento del problema.....	18
1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación). .....	23
1.4. Justificación.....	23
1.5. Objeto de estudio.....	26
1.6. Campo de acción .....	26
1.7. Objetivos. ....	27
1.7.1. Objetivo general.....	27
1.7.2. Objetivos específicos. ....	27
1.8. Hipótesis.....	28
1.9. Alcance temático.....	28
1.10. Delimitación Espacial y Temporal.....	29
CAPÍTULO II. Fundamentos Teóricos Referenciales.....	31
2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual). ....	31
2.2. Marco Teórico.....	34
2.2.1. Panorama global del uso y demanda de energía .....	34

2.2.2. Sistemas de Gestión Energética.....	45
2.3. Marco conceptual.....	48
2.3.1. Energía Eléctrica.....	50
2.3.2. Eficiencia Energética.....	50
2.3.3. Eficiencia Energética Eléctrica.....	51
2.3.4. Gestión Energética.....	51
2.3.5. Sistema de Gestión Energética.....	52
2.3.6. Fuentes convencionales y no convencionales de generación de energía.....	52
2.3.7. Intensidad energética.....	53
2.3.8. Combustibles fósiles.....	53
2.3.9. Gases de efecto invernadero.....	54
2.3.10. Cambio climático.....	54
2.3.11. Desarrollo sostenible y sostenibilidad.....	55
2.3.12. Crecimiento económico.....	57
2.3.13. Desarrollo económico.....	57
2.4. Marco Contextual.....	57
2.5. Marco Legal y Normativo.....	59
2.5.1. Normativa Internacional.....	59
2.5.2. Normativa Nacional.....	60
2.5.3. Compromisos Ambientales.....	60
2.5.4. Norma ISO 50001 de 2011.....	61
2.5.6. Modelación matemática de las operaciones productivas.....	66
2.5.7. Índice de Consumo.....	67
CAPÍTULO III. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.....	69
3.1. Cuadro Operacionalización de variables.....	71
3.2. Diseño metodológico.....	73
3.2.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.....	79
3.2.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos.....	80

3.2.3. Desarrollo de instrumentos de obtención de datos .....	82
3.2.4. Determinación de la muestra y su criterio de selección.....	92
3.3. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).....	95
3.3.1 Aplicación de los instrumentos.....	97
3.3.2 Procesamiento de la información.....	101
3.4. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.....	103
3.4.1. Datos iniciales y Datos Filtrados – Línea base y Línea meta .....	103
3.4.2. Obtención del Índice de Consumo.....	109
3.4.3. Tendencia del Consumo Energético .....	114
3.5 Redacción de resultados y discusión.....	125
<b>CAPÍTULO IV: Propuesta de Transformación.....</b>	<b>128</b>
4.1. Fundamentación de propuesta de transformación.....	128
4.1.1 Reducción de costos.....	129
4.1.2 Mejora de la eficiencia energética .....	130
4.1.3 Cumplimiento de objetivos ambientales.....	130
4.1.4 Mejora en la competitividad .....	131
4.1.5 Política y Planificación Energética .....	131
4.1.6 Operación y Control.....	132
4.1.7 Innovación y Sostenibilidad .....	132
4.2. Descripción de la propuesta de transformación .....	132
4.2.1 Política y planificación energética.....	133
4.2.2 Operación y control .....	134
4.2.3 Innovación y Sostenibilidad .....	134
4.3. Objetivos de la propuesta.....	135
4.3.1 Objetivo general.....	135
4.3.2 Objetivos específicos .....	135
4.4 Actividades, fases y/o etapas.....	136

4.4.1 Primera etapa: Diagnóstico y análisis del desempeño energético .....	137
4.4.2 Segunda etapa: Formulación de políticas y lineamientos de gestión.....	137
4.4.3 Tercera etapa: Diseño del sistema de monitoreo y evaluación .....	137
4.4.4 Cuarta etapa: Valoración de alternativas de autogeneración con energía limpia .....	138
4.4.5 Quinta etapa: Integración y diseño final del plan de gestión energética .....	138
4.5. Recursos necesarios para la aplicación de la propuesta .....	138
4.5.1 Recursos humanos .....	139
4.5.2 Recurso técnico y tecnológico .....	139
4.5.3 Recurso financiero .....	139
4.5.4 Recurso organizacional y administrativo.....	140
4.6. Resultados .....	140
4.6.1 Diagnóstico energético sectorial .....	141
4.6.2 Modelo de gestión energética .....	141
4.6.3 Manual de políticas y procedimientos energéticos .....	141
4.6.4 Instrumento de evaluación y monitoreo.....	142
4.6.5 Propuesta de autogeneración y aprovechamiento energético .....	142
4.7. Valoración/ evaluación/ Validación de la propuesta de transformación.....	142
CONCLUSIONES .....	145
RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA .....	149
ANEXOS .....	160

## Índice de Figuras.

Figura 1. Suministro de energía por tipo de fuente periodo 1990 – 2023.....	37
Figura 2. Panorama global del suministro de energía por fuente y su distribución porcentual 2020.....	37
Figura 3. Distribución energética por región periodo de 1990 al 2018. ....	40
Figura 4. Escenario regional del suministro energético y su participación en el año 2020. ....	42
Figura 5. Principales países productores de petróleo y su cuota global en el año 2020	43
Figura 6. Panorama de la energía primaria: producción, consumo y usos finales.....	45
Figura 7. Esquema del ciclo de Deming utilizados en los sistemas de gestión.....	46
Figura 8. Estructura para el desarrollo de la gestión energética conforme a la Norma ISO 50001 de 2011.....	47
Figura 9. Aspectos clave para la implementación de un sistema energético empresarial .....	61
Figura 10. Esquema piramidal del Sistema de Gestión Integral .....	68
Figura 11. Fases del trabajo de investigación .....	74
Figura 12. Valoración de la pertinencia de la encuesta práctica energética .....	86
Figura 13. Valoración de la Viabilidad de la encuesta práctica energética .....	87
Figura 14. Valoración de la funcionalidad de la encuesta práctica energética .....	88
Figura 15. Valoración de la contribución de la encuesta práctica energética .....	89

	11
Figura 16. Valoración de la contribución de la encuesta práctica energética .....	90
Figura 17. Instalaciones de la empresa metalmecánica en estudio. ....	95
Figura 18. Zona de Producción Operaciones de Mecanizado. ....	96
Figura 19. Zona de Producción Operaciones de Soldadura. ....	96
Figura 20. Medición de variables operaciones asociadas al consumo energético proceso de fresado. ....	98
Figura 21. Medición de variables operaciones asociadas al consumo energético proceso de torneado. ....	99
Figura 22. Indicación al operario para el desarrollo de la encuesta de práctica energética. ....	100
Figura 23. Consumo eléctrico de industria metalmecánica mes a mes periodo enero 2023 a septiembre 2025 (Datos iniciales). ....	102
Figura 24. Costos servicios metalmecánicos mes a mes periodo enero 2023 a septiembre 2025 (Datos iniciales). ....	103
Figura 25. Línea base de la relación entre consumo energético (kWh) vs costo de trabajo equivalente USD. ....	105
Figura 26. Línea meta de la relación entre consumo energético (kWh) vs costo de trabajo equivalente (USD).....	107
Figura 27. Variación del Índice de consumo energético en el periodo 2023 al 2025 ..	110
Figura 28. Índice de consumo real vs. costo de trabajo equivalente .....	111
Figura 29. Índice de consumo real y teórico vs. costo de trabajo equivalente (USD). ..	112
Figura 30. Segunda derivada Índice de consumo vs. costos de trabajo equivalente (USD) .....	113

Figura 31. Diferencia entre consumo real y consumo teórico - suma acumulativa energía eléctrica periodo 2023 al 2025. ....	115
Figura 32. Gráfico de control operacional según análisis de tendencia de la suma acumulativa (Consumo real – Consumo LB). ....	116
Figura 33. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: conocimiento de la norma ISO 50001. ....	117
Figura 34. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: aplicación de manejo eficiente de la energía en la jornada laboral. ....	118
Figura 35. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: capacitación en el uso eficiente de máquinas-herramientas y equipos ....	119
Figura 36. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: prácticas realizadas en la jornada de trabajo.....	120
Figura 37. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: número de herramientas y equipos que opera dentro de la jornada laboral. ....	121
Figura 38. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: mejora de las prácticas operacionales relacionada al uso eficiente de la energía. ....	122
Figura 39. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: frecuencia de desarrollo de mantenimientos de los equipos. ....	123
Figura 40. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: propuestas para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía.....	124
Figura 41. Cuadro sinóptico de desarrollo de la propuesta de transformación. ....	133
Figura 42. Fases del Plan de Gestión Energética propuesta de transformación.....	136

**Índice de tablas.**

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables .....	71
Tabla 2. Rúbrica de riesgo. ....	77
Tabla 3. Valoración de riesgos del proyecto de investigación. ....	78
Tabla 4. Descripción de perfil de los Evaluadores de la Encuesta de Práctica Energética .....	85
Tabla 5. Característica población de estudio. ....	94
Tabla 6. Datos iniciales del consumo energético (kWh) vs el costo de trabajo equivalente (USD) en la empresa metalmecánica en estudio. ....	104
Tabla 7. Consumo energía mensual y costo de trabajo equivalente del periodo en estudio (Datos Filtrados).....	108
Tabla 8. Parámetros del costo de trabajo equivalente crítico .....	113
Tabla 9. Valores de tendencia conforme al consumo mensual de energía y costo de trabajo equivalente. ....	114

## INTRODUCCIÓN

El sector metalmecánico, que representa cerca del 20% de la actividad industrial en Colombia, se ha consolidado como uno de los motores de crecimiento en regiones como Risaralda, Caldas y Atlántico, impulsado por inversiones en infraestructura vial y en escenarios deportivos y culturales (Sepúlveda Amar et al., 2021). Este dinamismo productivo implica procesos altamente demandantes de energía, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias que garanticen eficiencia y sostenibilidad. En este contexto, los sistemas de gestión energética basados en la norma ISO 50001 se han convertido en una herramienta esencial para optimizar el consumo y reducir emisiones, contribuyendo a la resiliencia frente a riesgos energéticos (Fuchs et al., 2023).

Investigaciones recientes evidencian que la integración de ISO 50001 con metodologías inteligentes y sistemas de información energética mejora la toma de decisiones y la estabilidad operativa (Grimaccia et al., 2023; Kouaho et al., 2024). Además, la adopción de tecnologías de recuperación energética y prácticas de eficiencia se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad y fortalece la competitividad del sector (Šebo et al., 2023; Sundaramoorthy et al., 2023).

El crecimiento sostenido en la demanda de servicios metalmecánicos, junto con la sofisticación tecnológica y operativa de sus procesos, evidencia la necesidad de mayor energía. Esta demanda exige un suministro eléctrico que garantice altos estándares de calidad, continuidad y confiabilidad. No obstante, en el caso de Colombia, la estructura de generación depende en gran medida de las centrales hidroeléctricas. Esta alta dependencia representa un riesgo significativo para la seguridad energética del país, especialmente ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos como, sequías prolongadas o variaciones drásticas en los caudales de los ríos, que pueden reducir la capacidad de generación y comprometer la estabilidad del sistema eléctrico. En consecuencia, es esencial diversificar la matriz energética e incorporar fuentes alternativas que mitiguen estas vulnerabilidades y fortalezcan la resiliencia del

suministro nacional. Esta condición de riesgo se intensifica en el contexto del cambio climático, incrementándose la frecuencia e intensidad de eventos extremos, afectando la estabilidad del suministro eléctrico y la sostenibilidad del sistema energético nacional. Por ello, se hace indispensable adoptar estrategias de diversificación energética y adaptación al riesgo climático, incorporando fuentes renovables complementarias y mecanismos de resiliencia que fortalezcan la continuidad del servicio. La literatura reciente destaca que la diversificación de las fuentes de energía y la integración de tecnologías renovables son esenciales para reducir vulnerabilidades frente a fenómenos extremos y garantizar la sostenibilidad del sistema eléctrico (Cárdenas Guerra et al., 2023; Gitelman et al., 2023; Wen et al., 2023). Frente a este escenario, la implementación de sistemas de gestión de la energía se convierte en un recurso estratégico para las organizaciones, ya que permiten estructurar de manera ordenada la planificación, coordinación y ejecución de acciones orientadas a optimizar el uso energético en sus operaciones. Estos sistemas no solo facilitan el seguimiento y la mejora continua del desempeño energético en los procesos productivos, sino que además garantizan que dichas prácticas se alineen con los estándares internacionales que promueven un aprovechamiento racional, eficiente y sostenible de la energía. Al adoptar este enfoque, las empresas pueden reducir costos, disminuir impactos ambientales y fortalecer su competitividad en un entorno cada vez más exigente en materia de eficiencia energética (Jácome Espinoza et al., 2024; Márquez-Sobrino, 2024). Esto ha contribuido al crecimiento constante en el número de empresas que adoptan sistemas de gestión para el uso racional de la energía y desarrollan estudios e investigaciones en diversos escenarios (Félix Prado-Díaz, 2023; Francisco Ernesto Navarrete Báez & Labelle, 2023).

Así mismo, en la revisión sistemática realizada por Cardona, Tamayo y Eslava-Garzón (Cardona et al., 2024) se destaca el análisis de la composición y transición de la matriz energética en Colombia. El estudio identifica que, aunque la hidroeléctrica continúa siendo la principal fuente de energía limpia, el país enfrenta grandes desafíos derivados de la dependencia de combustibles fósiles, responsables de una alta huella de carbono. Además, se reconocen limitaciones en infraestructura, tecnología y aceptación social que dificultan el avance de proyectos sostenibles. Entre las estrategias proyectadas se

resaltan la diversificación hacia fuentes renovables como la solar, eólica, geotérmica y de biomasa, además de la incorporación del hidrógeno como vector energético clave para alcanzar el carbono neutralidad en 2050 (Andrei, 2023). Este tipo de investigaciones aportan una visión integral que combina aspectos legales, ambientales, sociales y tecnológicos, ofreciendo lineamientos fundamentales para orientar futuros proyectos académicos y profesionales hacia una transición energética sostenible en el país. En este proceso, resulta esencial que, mientras se consolidan las transformaciones estructurales de la matriz, se promueva de manera paralela el uso eficiente y racional de la energía. Este enfoque no solo permite mitigar los impactos inmediatos del consumo, sino que también refuerza la pertinencia y relevancia de iniciativas como el presente proyecto, al contribuir de manera directa a los objetivos de sostenibilidad energética y reducción de emisiones.

En este contexto, la investigación se enmarca en la línea de Desarrollo sostenible y energías renovables, con un enfoque orientado a la gestión eficiente de recursos energéticos en industrias, operaciones y procesos. Para abordar esta problemática, el documento se estructura en cuatro capítulos. El Capítulo 1 presenta la proyección de la investigación, donde se expone la línea de investigación, el planteamiento y formulación del problema, la justificación, los objetivos, la hipótesis y la delimitación espacial y temporal. El Capítulo 2 desarrolla los fundamentos teóricos y referenciales, incluyendo el estado del arte, el marco teórico, conceptual y normativo que sustenta la propuesta. El Capítulo 3 describe el diseño metodológico, el trabajo de campo y el análisis de los datos obtenidos, mostrando los resultados más relevantes. Finalmente, el Capítulo 4 plantea la propuesta de transformación, detallando sus fundamentos, objetivos, fases, recursos necesarios, así como la evaluación y validación de la propuesta. Esta estructura permite un abordaje integral que articula sostenibilidad, eficiencia energética y resiliencia, contribuyendo a la optimización del consumo energético en el sector metalmeccánico.

## **CAPÍTULO I. Proyección de la investigación.**

En este capítulo se establece la base conceptual y estructural de la investigación, abordando el problema desde su contexto y relevancia en el ámbito industrial. Se analiza la importancia del estudio dentro del campo de la gestión energética y cómo su solución puede convertirse en un referente para futuras investigaciones. Además, se presentan los elementos esenciales que orientan el desarrollo del trabajo: la línea de investigación, el planteamiento y formulación del problema, la justificación, el objeto de estudio, el campo de acción, los objetivos generales y específicos, la hipótesis, así como el alcance y la delimitación espacial y temporal. Este capítulo constituye el punto de partida para comprender la necesidad del modelo propuesto y su impacto potencial en la optimización del consumo energético en el sector metalmecánico.

### **1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio**

La línea de investigación a trabajar en la tesis es “Desarrollo sostenible y energías renovables”, la cual se orienta a la generación de soluciones que promuevan la eficiencia energética y la reducción del impacto ambiental en entornos industriales, integrando principios de sostenibilidad con tecnologías limpias. Este enfoque busca responder a los retos derivados del cambio climático y la transición energética, mediante la incorporación de prácticas que optimicen el uso de recursos y fomenten la resiliencia de los sistemas productivos.

Así mismo, dentro de esta línea de investigación se trabaja el ámbito de estudio centrado en la gestión de recursos energéticos en industrias, operaciones y procesos, abordando el diseño y la planificación de estrategias que permitan mejorar el desempeño energético en escenarios complejos. En este, se parte de un análisis detallado de las condiciones operativas y los factores que inciden en el consumo energético, para proponer modelos

predictivos y herramientas de gestión basadas en datos reales. Estos modelos, apoyados en metodologías ingenieriles y lineamientos normativos como la ISO 50001, facilitan la toma de decisiones estratégicas, la optimización de procesos y la adaptación a contextos industriales dinámicos, contribuyendo a la sostenibilidad y competitividad del sector (Salimnezhadgharehziaeddini, 2016).

## **1.2. Planteamiento del problema.**

La búsqueda de un consumo energético más eficiente y responsable se ha convertido en un eje prioritario dentro de los sistemas de gestión energética a escala global. Esta relevancia creciente responde a dos factores esenciales: 1) la conservación de recursos naturales no renovables y de los cuales proviene la mayoría de la producción de energía, y 2) la contaminación ambiental como resultado de la explotación de recursos y la quema de combustibles fósiles, como efectos nocivos de la creciente demanda de energía (Hernández Palma et al., 2023).

En este escenario, se vuelve urgente la implementación de medidas que promuevan la sostenibilidad energética en todos los sectores productivos. Tal como lo plantea Hernández Palma et al. en el 2023, la masificación del uso de energías renovables y la adopción de estrategias de eficiencia energética no solo representan una oportunidad económica, sino también una responsabilidad ambiental ineludible. Su estudio en instituciones prestadoras de salud en Colombia demuestra que, mediante el uso de tecnologías como la energía solar fotovoltaica y la planificación energética basada en diagnósticos técnicos, es posible reducir significativamente el consumo energético y los costos asociados, al tiempo que se promueve una cultura organizacional orientada al ahorro y la sostenibilidad. (Hernández Palma et al., 2023)

Este enfoque es perfectamente extrapolable al sector metalmecánico, donde la variabilidad en los procesos de producción exige modelos flexibles y adaptativos de gestión energética. La incorporación de fuentes renovables y la aplicación de

metodologías como las propuestas por la norma ISO 50001 permiten avanzar hacia una industria más eficiente, resiliente y comprometida con el medio ambiente (Wang, 2022).

En consecuencia, gobiernos y empresas trabajan arduamente por implementar políticas y procesos productivos eficientes y amigables con el ambiente que conduzcan a un consumo de energía responsable, seguro y sostenible y en últimas, con mayor ventaja económica por su uso que redunden en bienestar de las personas. En este marco, la transición energética se ha convertido en un eje estratégico de la agenda global, impulsada por compromisos internacionales como el Acuerdo de París. Tal como lo señalan Niño Villamizar, Nieves Plata y Cortés Jiménez (2023), este proceso implica no solo el reemplazo progresivo de fuentes fósiles por energías renovables, sino también una transformación profunda en los sistemas productivos, las políticas públicas y los comportamientos sociales. La transición energética sostenible requiere de una planificación estructurada, innovación tecnológica, participación ciudadana y cooperación internacional para lograr un equilibrio entre desarrollo económico, equidad social y protección ambiental (Niño Villamizar et al., 2023).

Esto se articula con investigaciones aplicadas en sectores industriales como el metalmecánico, donde el diseño de modelos de eficiencia energética basados en normas como la ISO 50001 permite avanzar hacia una gestión energética más racional. La adaptación de estos modelos a contextos productivos variables representa un reto técnico y metodológico, pero también una oportunidad para contribuir activamente a los objetivos globales de sostenibilidad y transición energética.

De esta preocupación, han nacido iniciativas desde la comunidad científica para crear metodologías de uso racional y eficiente de energía (Beltrán Gallego et al., 2022; Chamorro et al., 2025), así como modelos de gestión de energía enfocadas en la mejora de los procesos productivos tanto organizacionales como operacionales, tales como los sistemas de gestión de energía propuesto por ISO y certificaciones especializadas en uso de la energía como Energy Star, Leed, Net – Zero Energy Building, Breeam, Verde, Casbee, entre otras (Molina Medina et al., 2024) .

Es así, como surgen trabajos como el llevado a cabo por Vanegas Chamorro et al. (2025) en el que desarrollaron un sistema inteligente de monitoreo en tiempo real basado en IoT, aplicado a un proceso de refrigeración industrial en la costa Caribe colombiana. Este sistema permitió optimizar el consumo energético mediante el análisis continuo de parámetros operativos, generando alertas y recomendaciones para mejorar la eficiencia. El estudio demuestra cómo la integración de tecnologías digitales puede fortalecer la toma de decisiones en tiempo real y contribuir significativamente a la eficiencia energética en entornos industriales.

Otra investigación que se desarrolló en el contexto de la gestión energética industrial, fue el realizado por Molina Medina et al. (2024) en una planta de producción de pastas ubicada en Barranquilla, Colombia, aplicando la norma ISO 50001 para implementar la etapa de decisión estratégica. En este, a través del análisis de líneas base y metas, se identificaron oportunidades de ahorro energético y se establecieron indicadores clave para mejorar el desempeño. El estudio evidenció que una gestión estructurada permite optimizar el consumo eléctrico y avanzar hacia una operación más eficiente y sostenible (Molina Medina et al., 2024).

Han nacido iniciativas desde la comunidad científica para crear metodologías de uso racional y eficiente de la energía, especialmente en el contexto industrial. En Colombia, estas iniciativas han dado lugar a programas estratégicos como el Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE), desarrollado por la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética (RECIEE), que ha promovido la implementación de sistemas de gestión energética (SGEn) en empresas de distintos sectores. Estas metodologías se basan en la norma ISO 50001 y han sido complementadas con enfoques como el "Lean manufacturing", orientados a eliminar desperdicios y optimizar procesos. Además, se han impulsado incentivos regulatorios como los establecidos en la Ley 1715 de 2014, que ofrecen beneficios tributarios a las organizaciones que invierten en eficiencia energética. Estas acciones han permitido implementar SGEn en múltiples empresas colombianas, demostrando que incluso pequeños cambios en los procesos productivos pueden generar ahorros significativos y contribuir a la sostenibilidad ambiental y económica del país. (Beltrán Gallego et al., 2022)

En 2018, un acuerdo internacional permitió generar la Norma ISO 50001:2018 y la gestión de la Energía, como una herramienta para establecer los requisitos para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en las organizaciones (Hernández, 2021). Con una metodología sencilla muestra la forma en que se puede reducir los consumos de energía de una planta industrial sin disminuir la producción de la misma, aplicando una serie de fases o etapas, que permiten tomar decisiones pertinentes basados en el comportamiento pasado de la producción de la planta pero que, con las medidas adecuadas, se puede predecir el ahorro que se podría obtener y, por tanto, la opción de adopción o no de las medidas de ahorro. Esta es una ventaja importante pues permite que con una baja inversión se puedan estudiar los beneficios económicos de las medidas de ahorro por implementar y a su vez, la viabilidad financiera de las inversiones que se requieren hacer para ejecutar cada medida de ahorro diseñada.

Desde su publicación, la norma ISO 50001 ha tenido una adopción progresiva en el sector industrial, consolidándose como un marco de referencia para la mejora del desempeño energético y como apoyo en el diseño de políticas gubernamentales orientadas a la sostenibilidad (Fuchs et al., 2023). Diversos estudios han demostrado que su implementación en diferentes industrias genera beneficios significativos en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones, aunque los resultados varían según el contexto y el nivel de integración tecnológica. Investigaciones recientes destacan que la norma no solo contribuye a optimizar el consumo energético, sino que también se posiciona como una herramienta estratégica para la descarbonización y la competitividad industrial, especialmente cuando se complementa con metodologías basadas en datos y tecnologías inteligentes (Grimaccia et al., 2023; Šebo et al., 2023).

La implementación de medidas de ahorro energético depende sensiblemente del tipo de actividad industrial que se estudia, de las tecnologías presentes en el proceso productivo y de los servicios o productos finales que la planta ofrece. Esto se debe en gran medida a que los sistemas de gestión de la energía exigen establecer una relación matemática entre la producción (entendida como el servicio o producto final que recibe el cliente) y el consumo de energía primaria y secundaria (en todas sus formas) involucradas en llevar a

cabo tal producción. Por tanto, la actividad industrial es crucial para determinar las tecnologías usadas en sus procesos de transformación y los consumos de energía de estos equipos, y; los servicios (en términos de periodicidad o regularidad) y/o productos (unidades de producción en masa, productos únicos, mecanismos de fabricación, etc.), son fundamentales para entender las relaciones de éstos con las posibilidades de ahorro energético alcanzables. Así, una industria hotelera tendrá un sistema de gestión de energía (indicadores, medidas de ahorro, gestión estratégica) diferente a una industria cementera, minera o manufacturera.

Desde este marco de acción, diseñar e implementar un sistema de gestión energética en una planta del sector metalmecánico implica desafíos específicos derivados de la complejidad y particularidades de sus procesos productivos, que difieren incluso entre empresas del mismo sector. Aunque dos plantas metalmecánicas compartan la misma actividad económica, sus patrones de consumo energético pueden variar significativamente, lo que exige enfoques flexibles y adaptados para garantizar la efectividad del sistema de gestión (Introna et al., 2024). Estudios recientes señalan que la integración de tecnologías digitales y metodologías basadas en datos, junto con los lineamientos de la norma ISO 50001, permite personalizar las estrategias de gestión energética según las características operativas de cada planta, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad (Alotaibi et al., 2025; Gennitsaris et al., 2023).

Es necesario abordar, entonces, esta problemática desde un punto de vista integral que permita al personal de la planta metalmecánica construir y adaptar un sistema de gestión de la energía general como el descrito en la Norma ISO, pero lo suficientemente específico para el sector metalmecánico, de tal forma que posibilite realizar la caracterización energética, la definición de indicadores y demás, de manera sencilla y adaptable a cada situación particular de cada planta. En este orden de ideas, ¿qué elementos metodológicos deben tenerse en cuenta para adaptar la norma NTC - ISO 50001 de 2019 al sector metalmecánico, garantizando la flexibilidad y la pertinencia necesarias para que pueda ser usada por diferentes plantas de conformación de metales y que promueva el uso eficiente de la energía en sus procesos productivos por medios convencionales?

### **1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación).**

¿Cómo la gestión energética puede optimizar el consumo de energía en plantas del sector metalmecánico de la ciudad de Barraquilla en el año 2025, integrando los lineamientos de la norma ISO 50001 y metodologías adaptadas a las características específicas de sus procesos productivos, con el fin de mejorar la eficiencia y sostenibilidad operativa?

### **1.4. Justificación.**

La presente investigación surge de la necesidad de desarrollar un modelo de gestión energética estratégica que responda a las particularidades de los procesos productivos de una empresa metalmecánica en Barranquilla, caracterizados por su variabilidad y falta de uniformidad, lo que dificulta la aplicación directa de la norma ISO 50001. Dado que la eficiencia energética constituye un eje central para la competitividad, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo en el sector industrial, resulta pertinente adaptar los lineamientos internacionales a un contexto operativo específico. En este marco, la justificación se organiza en cuatro perspectivas, teórica, práctica, social y metodológica, que permiten evidenciar la relevancia, pertinencia y alcance integral del estudio.

Desde una perspectiva teórica, esta investigación se fundamenta en la necesidad de adaptar los lineamientos de la norma ISO 50001 a contextos industriales caracterizados por procesos productivos complejos y dinámicos, como ocurre en las plantas metalmecánicas dedicadas al conformado de metales. La literatura reciente subraya que la implementación de sistemas de gestión energética apoyados en modelos predictivos, tecnologías digitales y análisis avanzados de datos contribuye significativamente al desempeño energético y la sostenibilidad industrial (Fuchs et al., 2023; Grimaccia et al., 2023). Asimismo, estudios orientados al sector metalúrgico y manufacturero señalan que la personalización de estrategias de gestión energética es crucial para optimizar recursos y reducir emisiones (Cheng et al., 2024; Na et al., 2024). En este marco, el aporte teórico de la presente tesis radica en la formulación de un modelo adaptable capaz de identificar

correlaciones no lineales entre la producción y el consumo energético, establecer líneas base confiables y proyectar escenarios prospectivos de eficiencia. Finalmente, este enfoque contribuye al fortalecimiento de la comprensión académica sobre cómo las organizaciones industriales pueden alinearse con normativas internacionales cada vez más exigentes en materia de eficiencia energética y sostenibilidad.

En el plano práctico, esta investigación responde a la necesidad concreta de una empresa del sector metalmeccánico en Barranquilla de mejorar el uso eficiente de la energía en sus procesos productivos, caracterizados por patrones variables y no uniformes. La implementación de un modelo de gestión energética ajustado al contexto real de operación posibilita la toma de decisiones basadas en mediciones continuas, análisis confiables y evidencia técnica. Esto facilita la optimización del desempeño energético sin comprometer la capacidad productiva y contribuye a la reducción de costos operativos mediante intervenciones orientadas tanto a la eficiencia de procesos como al fortalecimiento organizacional. La literatura señala que integrar la norma ISO 50001 con tecnologías digitales y modelos de gestión adaptados mejora sustancialmente la eficiencia energética en entornos industriales complejos (Alotaibi et al., 2025; Gennitsaris et al., 2023; Introna et al., 2024). Los beneficios prácticos son múltiples: disminución de costos por consumo energético, incremento de la rentabilidad, optimización del funcionamiento de la planta según sus capacidades reales y fortalecimiento de la cultura organizacional en torno al uso racional de los recursos.

Desde un enfoque social, la investigación aporta al fortalecimiento de prácticas industriales sostenibles que generan impactos positivos, tanto en la comunidad como en el entorno ambiental. La reducción del consumo energético y de la huella de carbono mediante un uso más eficiente de los recursos se alinea con los objetivos globales de desarrollo sostenible y con las crecientes demandas sociales de responsabilidad ambiental. La literatura reciente destaca que los sistemas de gestión energética aplicados en entornos industriales no solo disminuyen las emisiones, sino que también generan beneficios ambientales y sociales, contribuyendo a la transición hacia sociedades más sostenibles y con menores impactos negativos en las comunidades (Xu et al., 2023)

Desde un enfoque social, la investigación aporta al fortalecimiento de prácticas industriales sostenibles que generan impactos positivos tanto en la comunidad como en el entorno ambiental; la reducción del consumo energético y de la huella de carbono mediante un uso más eficiente de los recursos se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con las demandas sociales de responsabilidad ambiental. La literatura especializada resalta que, además de beneficios ambientales, las intervenciones energéticas en el sector generan efectos sociales relevantes, como mejora en la calidad de vida, beneficios socioeconómicos y mayor aceptación social, que son clave para la transición a sistemas energéticos más sostenibles (Lemence & Cravioto, 2024). En este contexto, la transformación cultural dentro de la empresa, incluyendo formación, sensibilización y empoderamiento del personal técnico, promueve conductas responsables en el uso de la energía y refuerza el compromiso de la organización con la sostenibilidad regional, posicionándola como un actor relevante en el bienestar social y ambiental del territorio.

Metodológicamente, esta investigación es pertinente porque plantea la necesidad de adaptar la estructura conceptual y operativa de la norma ISO 50001 a una realidad industrial donde la variabilidad productiva impide aplicar de manera estricta los lineamientos establecidos. La propuesta metodológica integra mediciones reales y continuas, análisis estadísticos de correlación y modelación energética prospectiva, permitiendo construir líneas base dinámicas que se ajustan a los cambios en los procesos productivos. Este enfoque ofrece una vía rigurosa y flexible para gestionar la energía en plantas con comportamientos no uniformes y resuelve una de las principales limitaciones identificadas en la literatura: la dificultad de aplicar modelos estándar en entornos de alta variabilidad. Además, la metodología propuesta contribuye a identificar oportunidades de mejora en la gestión administrativa, operativa y ambiental, alineadas con el marco normativo de eficiencia energética y sostenibilidad vigente (Introna et al., 2024). Con ello, se garantiza que el modelo sea replicable, adaptable y metodológicamente sólido para otras organizaciones del sector metalmeccánico.

### **1.5. Objeto de estudio.**

El objeto de estudio de esta investigación se ubica en el campo de la gestión energética aplicada a procesos industriales del sector metalmecánico, específicamente en la interacción entre el consumo energético y la dinámica productiva en entornos caracterizados por variabilidad operativa. Este fenómeno se enmarca dentro de la ingeniería energética y la sostenibilidad industrial, donde convergen aspectos técnicos, normativos y organizacionales orientados al uso racional y eficiente de la energía. La investigación aborda cómo los lineamientos de la norma ISO 50001 pueden adaptarse metodológicamente para responder a las particularidades de plantas metalmecánicas con patrones de producción no uniformes, considerando la necesidad de optimizar recursos, reducir impactos ambientales y cumplir con estándares internacionales cada vez más exigentes. En este contexto, el objeto de estudio no se limita a la implementación normativa, sino que comprende el análisis integral de las variables que condicionan el desempeño energético en procesos productivos complejos, con el fin de generar conocimiento aplicable a la mejora continua y la sostenibilidad empresarial.

### **1.6. Campo de acción**

El campo de acción de esta investigación se sitúa en el diseño e implementación de un modelo de gestión energética estratégica, enfocado en la aplicación de la norma ISO 50001 dentro del contexto de la dirección de proyectos en una empresa del sector metalmecánico ubicada en Barranquilla, Colombia.

Este campo se delimita específicamente en el área de gestión energética organizacional, donde convergen los procesos de planificación, ejecución y control de proyectos industriales que involucran un alto consumo energético. La investigación se enfoca en una de las áreas más afectadas por el problema identificado: la ineficiencia energética en los procesos productivos y administrativos, que impacta directamente en los costos operativos, la sostenibilidad ambiental y la competitividad empresarial.

La propuesta metodológica busca integrar los principios de la norma ISO 50001 con las buenas prácticas de la dirección de proyectos, para establecer un modelo que permita optimizar el uso de la energía, mejorar el desempeño energético, y facilitar la toma de decisiones estratégicas en el marco de proyectos industriales.

## **1.7. Objetivos.**

### **1.7.1. Objetivo general.**

Proponer un sistema de gestión energética alineado con la norma NTC-ISO 50001:2019, aplicable en una planta del sector metalmecánico ubicada en la ciudad de Barranquilla durante el año 2025, con el propósito de identificar las variables críticas del consumo energético y establecer un método de implementación eficiente que optimice el uso de la energía y fortalezca la sostenibilidad operativa desde un enfoque de dirección de proyectos.

### **1.7.2. Objetivos específicos.**

- Caracterizar energéticamente la instalación experimental del sector metalmecánico y definir su comportamiento operacional regular, como base para la planificación del sistema de gestión desde la dirección de proyectos.
- Diseñar un sistema de gestión energética que integre las correlaciones entre parámetros operacionales, consumo energético, tecnologías utilizadas, cultura organizacional y prácticas de uso racional de la energía, con el fin de apoyar la toma de decisiones estratégicas en la gestión del proyecto y garantizar la eficiencia en la planta del sector metalmecánico.
- Implementar el diseño del Sistema de Gestión de la Energía conforme a las características operacionales de la planta, evaluando su aplicabilidad desde un enfoque de dirección de proyectos.

### **1.8. Hipótesis.**

La adaptación metodológica de la norma NTC-ISO 50001:2019 a las condiciones específicas de una planta del sector metalmecánico en Barranquilla permitirá diseñar un sistema de gestión energética que optimice el uso racional de la energía, estableciendo correlaciones significativas entre producción y consumo energético, y contribuyendo a la mejora operativa y organizacional con un nivel de eficiencia medible y generalizable.

### **1.9. Alcance temático.**

El alcance temático de esta investigación se orienta al diseño y validación de un modelo de gestión energética estratégica que permita optimizar el uso de la energía en procesos productivos de una empresa del sector metalmecánico en Barranquilla, bajo los lineamientos de la norma ISO 50001:2018. Este modelo busca establecer un sistema ajustado para la evaluación del consumo y la producción en una planta de conformación de metales con producción variable, considerando la interacción entre equipos, procesos y la estructura jerárquica del sistema productivo, lo que facilita la identificación de oportunidades de ahorro energético desde el diseño del equipo hasta la programación de la producción (Carrillo et al., 2023). La implementación del sistema de gestión energética (SGEn) conforme a ISO 50001 se reconoce como una herramienta estratégica para la mejora continua del desempeño energético y la descarbonización industrial, integrando la gestión de riesgos y oportunidades en la planificación (Benedetti & Introna, 2021; Fuchs et al., 2023).

Para alcanzar estos objetivos, se desarrollará un proceso sistemático que incluye la obtención de datos experimentales mediante visitas a la planta industrial, mediciones in situ y observaciones directas de los procesos críticos. Estos datos permitirán construir una herramienta de cálculo para correlacionar variables de consumo energético con parámetros de producción, siguiendo metodologías validadas en estudios recientes sobre eficiencia energética en procesos metalmecánicos (Mirandola et al., 2021). Este enfoque no solo permitirá identificar los puntos críticos de consumo, sino también establecer

indicadores clave de desempeño energético (EnPIs) que faciliten la toma de decisiones estratégicas.

Una vez caracterizada la demanda energética, se sugieren acciones orientadas al uso eficiente de la energía, en coherencia con los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones, y alineadas con las estrategias de transición hacia sistemas industriales resilientes (Sundaramoorthy et al., 2023). Estas recomendaciones se plantean considerando criterios técnicos, económicos y ambientales, con el propósito de fortalecer la competitividad empresarial y abrir la posibilidad de avanzar hacia estrategias más amplias orientadas a la eficiencia energética y la reducción de emisiones, en línea con las tendencias globales hacia una industria más sostenible.

Este alcance permitirá desarrollar un modelo replicable en otras empresas del sector, contribuyendo a la adopción de prácticas sostenibles y a la mejora continua del desempeño energético. Además, se espera que el modelo propuesto sirva como referencia para la implementación de políticas corporativas orientadas a la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono, fortaleciendo la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las tendencias globales hacia la industria 4.0.

#### **1.10. Delimitación Espacial y Temporal.**

Esta investigación se circunscribe al espacio físico de la planta industrial seleccionada como caso de estudio, ubicada en la ciudad de Barranquilla, y abarca los procesos de conformado de metales que representan los mayores consumidores de energía eléctrica dentro de sus operaciones. El alcance incluye todas las actividades de manufactura que dependan del suministro eléctrico para su funcionamiento, considerando las tecnologías actualmente disponibles en la planta. Para la obtención de datos confiables se emplearán dispositivos de medición especializados, tales como analizadores de redes, pinzas voltiamperimétricas, tacómetros, cronómetros, cintas métricas y calibradores, entre otros.

En cuanto a la delimitación temporal, el estudio comprende un análisis histórico del consumo energético y la producción desde enero de 2023 hasta septiembre de 2025. El diagnóstico se realizará en esta última fecha, seguido por el análisis detallado de los datos recopilados para el año 2025, con el objetivo de diseñar el sistema de gestión energética y evaluar su viabilidad. Los resultados obtenidos se orientarán a la generación de conocimiento especializado, con proyección para su divulgación en eventos científicos de carácter internacional.

## **CAPÍTULO II. Fundamentos Teóricos Referenciales.**

En esta sección se abordarán diversos elementos relacionados con la generación y el consumo energético en los ámbitos local, regional y global. En base a esta información se analizará la dinámica entre la oferta y la demanda de energía que favorece la comprensión de cómo las decisiones de gestión y las estrategias de ahorro influyen tanto en la protección de los recursos naturales como en la preservación del entorno, sin comprometer el crecimiento económico de los actores involucrados. De este modo, el objetivo central es ofrecer en esta sección un panorama amplio sobre las tendencias actuales, los marcos normativos y las repercusiones de las políticas implementadas por gobiernos y organismos internacionales en materia de gestión energética, especialmente en aquellos sectores caracterizados por un uso intensivo de energía. Esta contextualización resulta fundamental para valorar la importancia estratégica de adoptar prácticas eficientes y sostenibles que armonicen desarrollo, competitividad y responsabilidad ambiental.

### **2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual).**

La norma ISO 50001, publicada inicialmente en 2011 y revisada en 2018, se constituye como el marco internacional para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) en organizaciones de todos los sectores productivos. Su objetivo principal es proporcionar lineamientos y requisitos que permitan a las empresas establecer políticas, procesos y prácticas orientadas a la mejora continua del desempeño energético, garantizando un uso racional y eficiente de los recursos. Esta norma se fundamenta en el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), lo que asegura un enfoque sistemático para identificar oportunidades de ahorro, reducir costos y minimizar impactos ambientales asociados al consumo energético. Además, la certificación bajo ISO 50001 no solo acredita el cumplimiento de estándares internacionales, sino que también refleja el compromiso organizacional con la sostenibilidad, la eficiencia y la competitividad en mercados cada vez más exigentes (Fuchs et al., 2023).

Históricamente, la adopción de ISO 50001 ha estado vinculada a políticas globales de eficiencia energética y mitigación del cambio climático, impulsadas por organismos como la International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC) y el Clean Energy Ministerial (CEM). En la actualidad, su implementación se considera una herramienta estratégica para la descarbonización industrial, dado que permite integrar prácticas de gestión energética con objetivos de reducción de emisiones y transición hacia energías renovables (Fuchs et al., 2023). Estudios recientes evidencian que las organizaciones que aplican ISO 50001 logran mejoras sustanciales en su desempeño energético, alcanzando reducciones de consumo eléctrico superiores al 30% y disminuciones significativas en emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que se traduce en beneficios económicos y ambientales (Alotaibi et al., 2025). Asimismo, investigaciones en el ámbito industrial destacan que la norma no solo optimiza procesos, sino que también fortalece la cultura organizacional, involucrando a todos los niveles jerárquicos en la gestión eficiente de la energía (Šebo et al., 2023).

En el contexto latinoamericano, la aplicación de ISO 50001 ha cobrado relevancia en sectores intensivos en energía, como el metalmeccánico, donde la variabilidad de los procesos productivos exige metodologías flexibles y adaptadas. La norma se convierte en un marco que facilita la integración de tecnologías digitales, sistemas de monitoreo y análisis predictivo, elementos esenciales para garantizar la sostenibilidad operativa y la competitividad empresarial (Grimaccia et al., 2023). De esta manera, ISO 50001 no solo representa un estándar técnico, sino una herramienta integral que articula eficiencia energética, innovación tecnológica y responsabilidad ambiental, consolidándose como un pilar fundamental en la transición hacia modelos productivos sostenibles.

La implementación de la norma ISO 50001 ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad empresarial. Casos documentados evidencian que organizaciones certificadas han logrado ahorros energéticos significativos, con reducciones en consumo y emisiones que fortalecen su competitividad. Por ejemplo, estudios recientes reportan mejoras superiores al 9% en desempeño energético anual y reducciones de más de 2.500 toneladas de CO<sub>2</sub> en

empresas del sector retail, lo que confirma el impacto positivo de los Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) en distintos contextos productivos (Vance et al., 2025).

Este interés creciente impulsa a las empresas a adoptar prácticas alineadas con tres ejes estratégicos: (i) desarrollo de políticas que promuevan el uso racional y eficiente de la energía, (ii) consolidación de una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad, y (iii) implementación de sistemas de monitoreo continuo mediante indicadores energéticos. La literatura reciente destaca que la digitalización y el análisis predictivo son esenciales para cumplir estos objetivos, integrando tecnologías como gemelos digitales y algoritmos de aprendizaje automático para optimizar la gestión energética en tiempo real (Vance et al., 2025).

Asimismo, la norma ISO 50001 se articula con políticas internacionales como la Directiva Europea 2023/1791, que establece la obligatoriedad de sistemas de gestión energética en organizaciones con alto consumo, reforzando la tendencia hacia la eficiencia como principio rector en la industria global (Li et al., 2025). En el sector metalmecánico, investigaciones recientes proponen marcos holísticos basados en sistemas expertos para identificar oportunidades de ahorro energético, integrando análisis de datos y conocimiento especializado en procesos complejos (Ioshchikhes et al., 2025).

Los resultados positivos obtenidos con la gestión energética han impulsado el interés por la norma ISO 50001 desde su emisión en 2011 y tras su actualización en 2018, consolidándola como una guía clave para mejorar el desempeño energético de las organizaciones. En los últimos años, investigaciones recientes han explorado su aplicabilidad en distintos sectores productivos, incorporando enfoques digitales y sostenibles.

Por ejemplo, Vance et al. (2025) proponen un marco basado en gemelos digitales y aprendizaje automático para la gestión energética en plantas industriales, lo que permite optimizar indicadores en tiempo real y anticipar desviaciones en el consumo, alineado con los principios de ISO 50001 (Vance et al., 2025). De igual manera, Li et al. (2025) desarrollan un modelo de optimización sustentado en asignación justa de costos y

estrategias de eficiencia, promoviendo la transición hacia sistemas energéticos sostenibles y la integración de energías renovables (Li et al., 2025).

En el ámbito de la manufactura, Ioshchikhes et al. (2025) plantean un marco holístico para el desarrollo de sistemas expertos que mejoran la eficiencia energética en procesos metalmeccánicos, integrando análisis de datos y conocimiento especializado para identificar oportunidades de ahorro (Ioshchikhes et al., 2025). Asimismo, estudios como el de Raman et al. (2024) destacan la convergencia entre inteligencia artificial y energías renovables, ofreciendo soluciones para optimizar la planificación energética y cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Raman et al., 2024).

Estos avances confirman que la norma ISO 50001 no solo constituye un estándar técnico, sino también un catalizador para la innovación tecnológica y la transición hacia modelos productivos sostenibles, especialmente en sectores intensivos en energía como el metalmeccánico.

## **2.2. Marco Teórico.**

### **2.2.1. Panorama global del uso y demanda de energía**

El vínculo entre el uso energético y el crecimiento económico de una nación sigue siendo un tema central en la literatura contemporánea. Diversos estudios recientes confirman que el crecimiento económico está estrechamente vinculado a la disponibilidad y uso eficiente de la energía, tanto en economías emergentes como desarrolladas. Investigaciones actuales destacan que la transición hacia fuentes renovables no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también impulsa indicadores clave como el Producto Interno Bruto (PIB), la productividad industrial y la innovación tecnológica, consolidando un círculo virtuoso entre energía y desarrollo económico (Chou et al., 2023).

El desarrollo económico, entendido como la mejora en la calidad de vida y el bienestar social, depende de factores internos y externos que configuran un sistema complejo de

interdependencias. Entre estos se incluyen políticas energéticas globales, regulaciones locales, estabilidad política, conflictos bélicos y fenómenos naturales, todos los cuales influyen en la seguridad energética y en la capacidad de los países para sostener su crecimiento. En este contexto, la integración de energías renovables y la eficiencia energética se presentan como estrategias esenciales para garantizar la resiliencia económica y reducir la vulnerabilidad frente a la volatilidad de los mercados fósiles (Fuinhas & Koengkan, 2023; Nguyen & Ponomarenko, 2024).

Las definiciones de desarrollo económico varían según el enfoque teórico adoptado, pero en general se sustentan en indicadores cuantitativos y cualitativos que permiten evaluar el progreso de una nación. Entre los más relevantes se encuentran el Producto Interno Bruto (PIB), el crecimiento económico, la satisfacción de necesidades básicas, la equidad en la distribución del ingreso, el consumo energético, el respeto a los derechos humanos, la estabilidad social, la educación y la protección ambiental. Estos indicadores reflejan la complejidad del concepto, que no se limita a la dimensión económica, sino que abarca aspectos sociales y ambientales interrelacionados (Chou et al., 2023; Fuinhas & Koengkan, 2023).

La evolución de las teorías sobre desarrollo económico evidencia que no existe un único camino para alcanzarlo, ya que depende de las condiciones estructurales, políticas y culturales de cada país. Estudios recientes señalan que las estrategias más efectivas combinan políticas locales con cooperación internacional, creando entornos favorables para la inversión, la innovación y la sostenibilidad (Nguyen & Ponomarenko, 2024). En este sentido, organismos internacionales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) han documentado experiencias exitosas en distintas regiones, donde la articulación entre decisiones locales y marcos globales ha permitido mejorar indicadores de desarrollo económico y social (Fuinhas & Koengkan, 2023).

En este panorama, la dependencia global de los combustibles fósiles se ha consolidado como la principal vía de abastecimiento energético, impulsada en gran medida por los intereses económicos y estratégicos de las grandes potencias. El predominio del

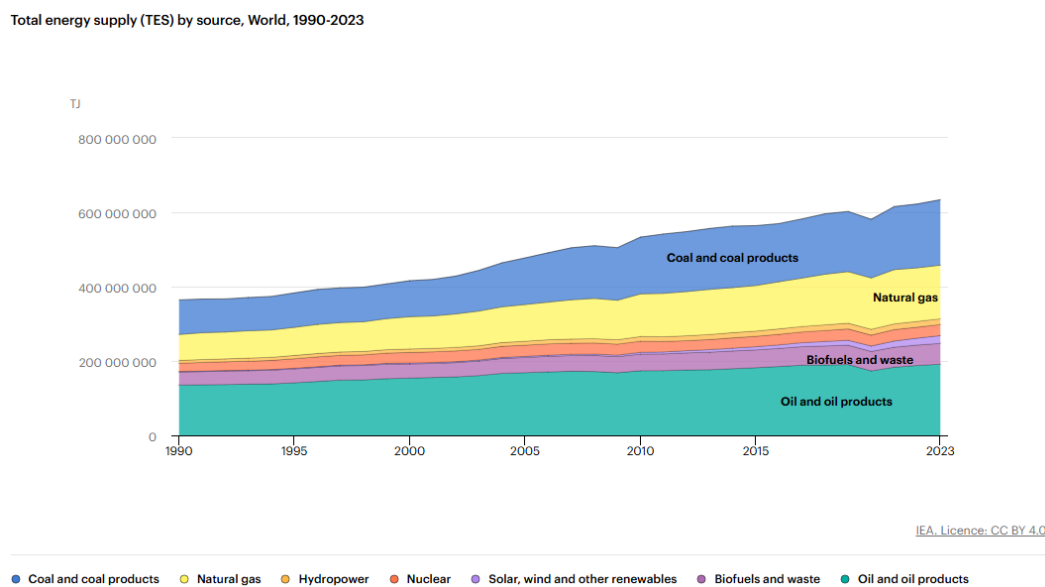
petróleo, el carbón y el gas natural ha generado consecuencias ambientales de gran envergadura, contribuyendo de manera decisiva al calentamiento del planeta y a la intensificación de los efectos del cambio climático. Como respuesta a estos impactos, la comunidad internacional se ha visto obligada a promover una transición hacia una matriz energética más diversificada, incorporando fuentes renovables y tecnologías menos contaminantes que reduzcan la presión sobre los ecosistemas.

A pesar de estos esfuerzos, la realidad actual muestra que los combustibles fósiles aún representan cerca del 80% de la energía consumida en el mundo, lo que evidencia una fuerte dependencia estructural. Además, no se observan señales claras de que esta proporción disminuya significativamente en el corto o mediano plazo, debido a factores como las infraestructuras existentes, los costos de transición y las dinámicas políticas y económicas que siguen favoreciendo su uso. Esta situación plantea un desafío global, pues ralentiza la transición energética y prolonga los riesgos ambientales asociados al modelo energético tradicional (véase Figura 2).

El desafío actual consiste en reconocer la relevancia económica que aún tienen los combustibles fósiles dentro del sistema productivo mundial, pero integrándolos en un modelo energético que aspire a ser más eficiente, limpio y sostenible. Esto implica transitar hacia esquemas donde el uso de estas fuentes tradicionales no contradiga los objetivos ambientales globales ni comprometa la salud del planeta. En este sentido, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero se convierte en un componente clave de cualquier estrategia energética, ya que dichas emisiones son responsables de gran parte del calentamiento global. Del mismo modo, resulta indispensable optimizar los procesos asociados a la combustión y utilización de combustibles fósiles, así como disminuir la intensidad energética de las actividades económicas, con el fin de promover un consumo más racional y menos perjudicial para el ambiente. Solo mediante estos esfuerzos coordinados será posible avanzar hacia un equilibrio entre desarrollo económico, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

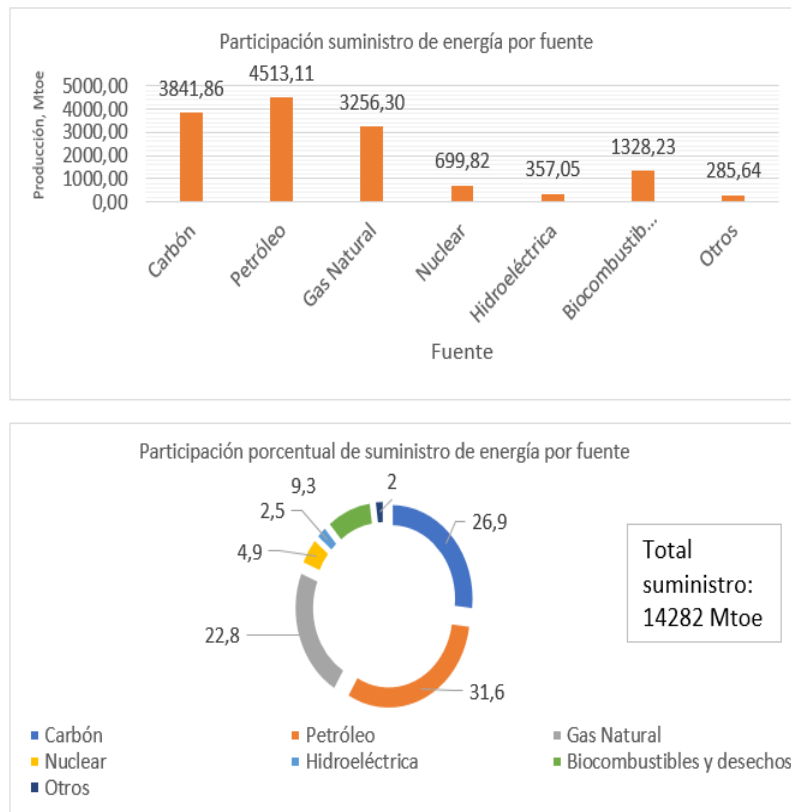
La Figura 1 evidencia cómo ha evolucionado la distribución del consumo energético mundial por tipo de fuente entre 1990 y 2023. Durante todo este periodo, los combustibles fósiles han mantenido una presencia claramente dominante dentro de la matriz energética global. En poco más de tres décadas, la disponibilidad total de energía aumentó aproximadamente un 71%, lo que refleja no solo el crecimiento industrial y demográfico, sino también la creciente presión sobre los recursos naturales. Este panorama resalta la urgencia de implementar medidas políticas y económicas que impulsen una verdadera diversificación de las fuentes de generación. Transitar hacia alternativas más limpias y sostenibles resulta esencial para disminuir el impacto ambiental asociado al modelo energético tradicional, impacto que ya está provocando cambios notorios en la atmósfera y exacerbando fenómenos vinculados al cambio climático. Una gestión responsable de la energía es, por tanto, un componente prioritario para avanzar hacia un desarrollo más equilibrado y ambientalmente compatible.

Figura 1. Suministro de energía por tipo de fuente periodo 1990 – 2023.



Fuente: (International Energy Agency, 2025)

Figura 2. Panorama global del suministro de energía por fuente y su distribución porcentual 2020.



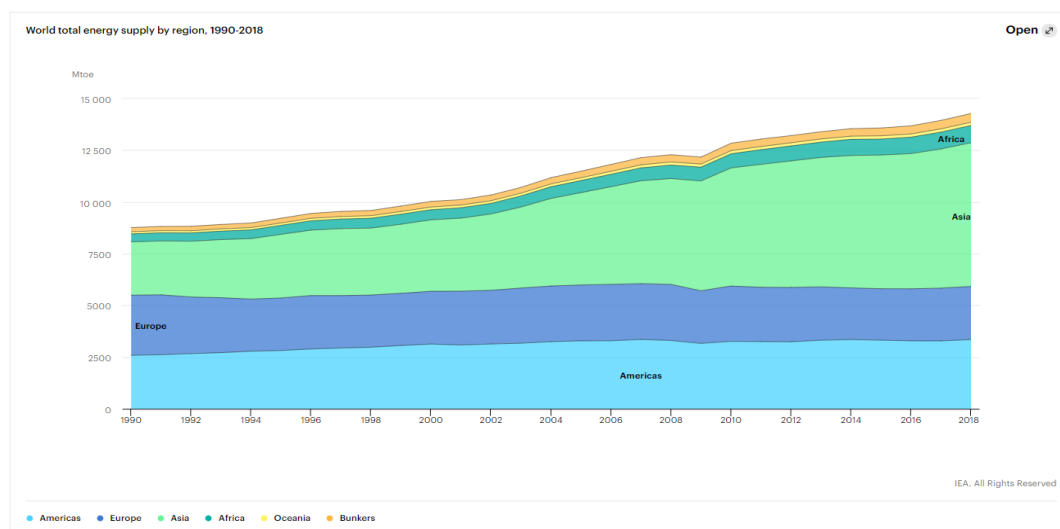
Fuente: (iea, 2020)

Las proyecciones realizadas por la Agencia Internacional de Energía indican que los combustibles fósiles continuarán ocupando un lugar central dentro del suministro energético global durante las próximas décadas. Este comportamiento se explica, en gran medida, por el creciente consumo energético de economías emergentes como China e India, cuyos procesos de industrialización y expansión urbana demandan volúmenes cada vez mayores de energía. Aunque se espera un avance sostenido de las fuentes renovables, la estructura energética mundial seguirá mostrando una fuerte dependencia del petróleo, el gas natural y el carbón, en un contexto marcado por una mayor estabilidad en los precios del carbón y una elevada volatilidad en los mercados del petróleo y el gas.

En años recientes, el petróleo ha mantenido su posición como principal fuente energética a nivel internacional, seguido por el carbón y el gas natural, cuyo uso ha mostrado un crecimiento constante. Sin embargo, el gas natural ha comenzado a ganar un peso considerable dentro del panorama energético global, especialmente por su rápida expansión en países como China, donde ha sido adoptado como una alternativa relativamente más limpia en comparación con otros combustibles fósiles. Este cambio refleja tanto necesidades ambientales como estrategias económicas orientadas a diversificar el suministro y reducir la intensidad contaminante del modelo energético tradicional (iea, 2020).

Dentro del panorama energético global, se proyecta un aumento progresivo en la participación de la energía nuclear, la generación hidroeléctrica y diversas fuentes renovables. Sin embargo, aun con este crecimiento, su contribución seguirá siendo menor en comparación con la de los combustibles fósiles, debido a que la mayor parte de la demanda energética mundial continúa siendo satisfecha por estas fuentes tradicionales. Aunque las tecnologías renovables han logrado avances importantes y han ampliado su presencia en numerosos países, el ritmo de adopción aún no es suficiente para transformar de manera sustancial la estructura actual del suministro energético. Por esta razón, es imprescindible que los gobiernos fortalezcan sus políticas, incentivos e inversiones orientadas a impulsar la transición energética, de modo que estas fuentes puedan incrementar su participación y contribuir de manera efectiva a la reducción del impacto ambiental y a la sostenibilidad a largo plazo.

Figura 3. Distribución energética por región periodo de 1990 al 2018.



Fuente: (iea, 2020)

La Figura 3 presenta el comportamiento del suministro energético por regiones y evidencia un crecimiento marcado y sostenido en la disponibilidad de energía en países asiáticos durante las dos últimas décadas, tales como China e India. En contraste, el suministro en el continente americano ha mostrado una tendencia prácticamente estable, mientras que en Europa se registra una ligera reducción asociada a políticas de transición energética y a un consumo más racional.

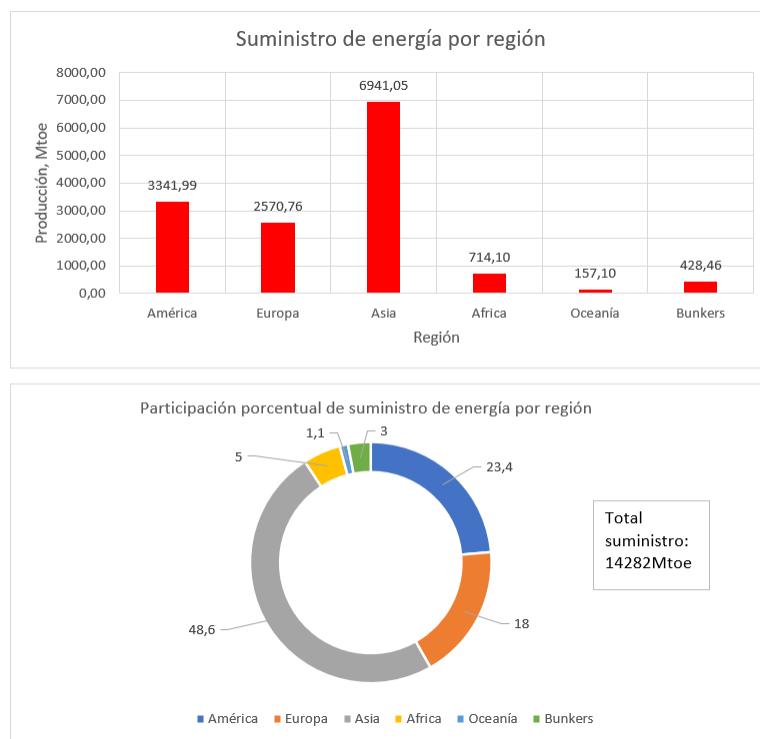
A nivel global, la intensidad energética, es decir, la cantidad de energía utilizada por unidad de producto económico, ha descendido alrededor de un 2,1%, reflejando el impacto positivo de diversas iniciativas orientadas a promover la eficiencia y el ahorro energético. Este avance ha sido especialmente notable en Estados Unidos y la Unión Europea, donde la reducción acumulada supera el 30% respecto al año 2000, así como en China, que ha logrado disminuir su intensidad energética en aproximadamente un 44% en el mismo periodo. Estos resultados son el fruto de políticas sostenidas que incentivan la modernización tecnológica, la adopción de procesos productivos más eficientes y la optimización del uso de los recursos disponibles. Debido a estas acciones,

se ha generado un entorno más propicio para la sostenibilidad energética y para una gestión más equilibrada y responsable del consumo a nivel mundial (Enerdata, 2020).

La Figura 4 evidencia que Asia se ha consolidado como la región con mayor peso en el suministro y consumo de energía a escala global, concentrando alrededor del 49% del total, mientras que la Unión Europea y el continente americano aparecen en posiciones considerablemente más bajas. Este liderazgo asiático se explica por la magnitud de su población, la acelerada industrialización y el crecimiento económico sostenido de países como China, India y Corea del Sur, que demandan grandes volúmenes de energía para sostener sus procesos productivos y urbanos.

En estas naciones, el uso de petróleo y gas natural continúa en expansión, impulsado principalmente por el ritmo de consumo de economías como China y Japón, donde estos recursos siguen siendo esenciales para la movilidad, la industria y la generación eléctrica. Sin embargo, dentro de esta tendencia destaca el creciente protagonismo del gas natural, que está ganando una mayor cuota en la matriz energética debido a su papel como combustible de transición, al ser menos contaminante que otras fuentes fósiles. Su aumento en la demanda no solo proviene de potencias asiáticas, sino también de regiones como América Latina y países como Corea del Sur y Estados Unidos, que lo utilizan ampliamente para la producción de electricidad. Esta dinámica refuerza la importancia estratégica del gas natural en el escenario energético contemporáneo, especialmente en un contexto en el que los países buscan reducir emisiones sin comprometer la estabilidad de su suministro (Enerdata, 2020).

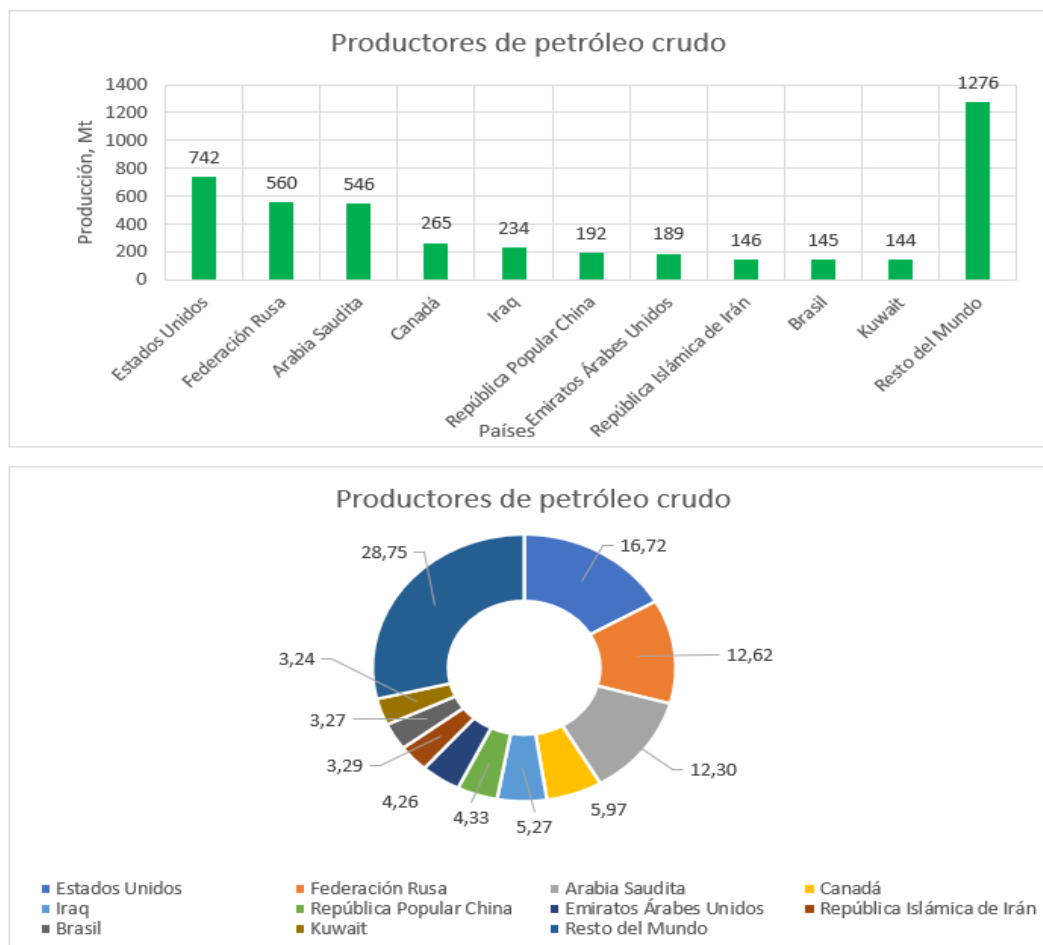
Figura 4. Escenario regional del suministro energético y su participación en el año 2020.



Fuente: (iea, 2020)

La extracción de petróleo crudo continúa siendo una de las actividades energéticas más intensivas a nivel global. En este mercado, Estados Unidos mantiene una posición dominante, seguido por otros grandes productores que concentran una parte significativa de la oferta mundial. Como se observa en la Figura 5, la producción de crudo está fuertemente concentrada en un reducido grupo de países, entre los que destacan Estados Unidos, Rusia y Arabia Saudita, cuya capacidad conjunta supera ampliamente la de otras naciones productoras. Esta concentración no solo evidencia su influencia sobre los precios y la disponibilidad del recurso, sino que también refleja la marcada dependencia del sistema energético mundial respecto a estos actores clave, lo cual condiciona la estabilidad del mercado y las dinámicas geopolíticas asociadas al petróleo.

Figura 5. Principales países productores de petróleo y su cuota global en el año 2020



Fuente: (iea, 2020)

De hecho, se estima que el 16,7% de la producción de petróleo se obtiene mediante técnicas de explotación no convencionales en Estados Unidos, lo que hace que este requiera de importaciones de crudo para cubrir la totalidad de su demanda interna. Al mismo tiempo, sostiene su papel como exportador de combustibles refinados y otros derivados, tal como se evidencia en la Figura 6, lo que refleja una estructura productiva orientada a agregar valor en el procesamiento más que en la extracción.

Respecto al gas natural y el carbón, se observa una diferencia notable entre los niveles de producción y los volúmenes consumidos, lo que revela dinámicas específicas del

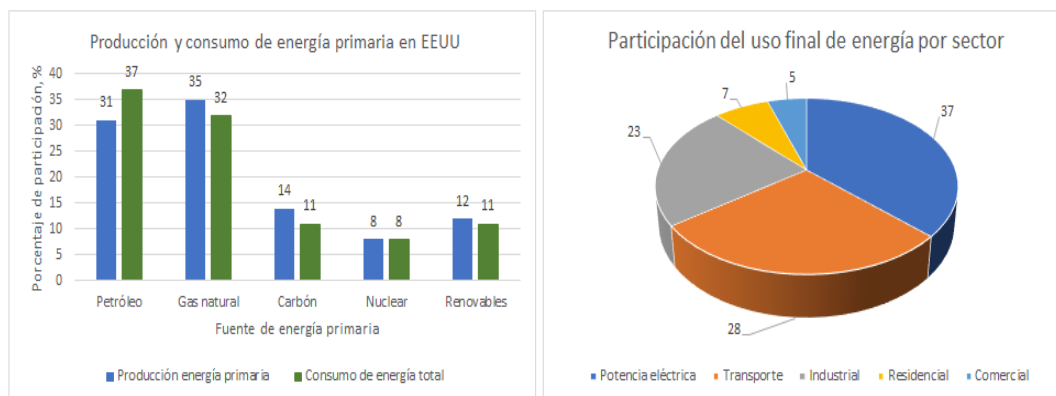
mercado energético interno. En contraste, la energía nuclear muestra un balance prácticamente uniforme entre generación y consumo, indicando estabilidad en este sector. Por último, la mayor proporción de la energía disponible se dirige a la generación eléctrica, que emplea cerca del 38% del gas natural, así como al sector transporte, que continúa posicionándose entre los mayores demandantes de energía dentro del país. (Singer & Peterson, 2016).

Este panorama evidencia la necesidad de estrategias de gestión energética que permitan optimizar el uso de recursos y reducir la dependencia de fuentes externas. En este contexto, la norma ISO 50001 se ha consolidado como un estándar internacional para la implementación de sistemas de gestión de la energía (SGEn), orientados a la mejora continua del desempeño energético mediante el ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), integrando políticas, planificación, operación y verificación sistemática.

Estudios recientes subrayan que la implementación de la norma ISO 50001 se consolida como una estrategia clave para la descarbonización industrial y la mejora de la competitividad, al generar reducciones sostenibles en el consumo energético y en los costos operativos (Fuchs et al., 2023) En industrias metalmeccánicas, caracterizadas por procesos de alta demanda energética como mecanizado y soldadura, los sistemas de gestión energética basados en ISO 50001 permiten identificar oportunidades de ahorro superiores al 10%, mediante la optimización de sistemas térmicos y eléctricos, así como la incorporación de tecnologías digitales para el monitoreo y análisis avanzado del desempeño energético (Grimaccia et al., 2023; Ioshchikhes et al., 2025).

Investigaciones recientes sobre pequeñas y medianas empresas (PYMES) evidencian que la adopción de enfoques estratégicos de gestión energética, complementados con herramientas de análisis de datos, impulsa la transición hacia operaciones más sostenibles y resilientes frente a la volatilidad de los precios de la energía. Estas prácticas no solo contribuyen al cumplimiento normativo, sino que también fortalecen la capacidad organizacional para responder a los retos ambientales globales y avanzar hacia los objetivos de desarrollo sostenible (Gennitsaris et al., 2023).

Figura 6. Panorama de la energía primaria: producción, consumo y usos finales.



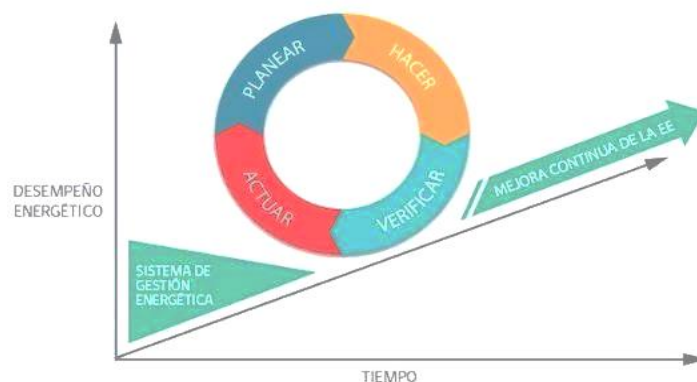
Fuente: (EIA, 2016)

### 2.2.2. Sistemas de Gestión Energética

Un sistema de gestión de la energía puede entenderse como un grupo estructurado de elementos organizacionales que interactúan de manera secuencial mediante fases de planificación, ejecución, verificación y control, con el propósito de mejorar continuamente el desempeño energético de una entidad. Este enfoque implica no solo coordinar acciones técnicas, sino también establecer métodos sistemáticos que permitan optimizar el uso de la energía, reducir pérdidas y asegurar que las decisiones adoptadas generen beneficios sostenibles a nivel operativo y estratégico.

Para el desarrollo de este sistema se sigue la ruta del ciclo Deming que muestra la figura 7:

Figura 7. Esquema del ciclo de Deming utilizados en los sistemas de gestión.



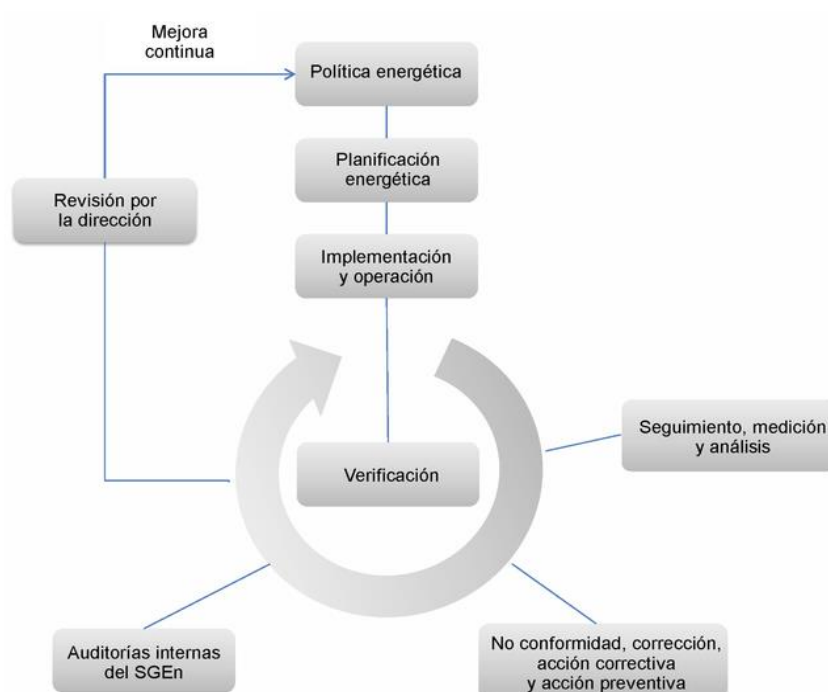
Fuente: (RECIEE, 2011)

El Sistema de Gestión Energética (SGEn), alineado con la norma ISO 50001, proporciona directrices y herramientas que permiten a las organizaciones:

- Mejorar de manera sistemática los indicadores energéticos asociados a los procesos productivos.
- Incrementar el uso y autoconsumo de energías renovables.
- Garantizar la conformidad con la política energética establecida por la organización.

Este sistema se compone de una estructura organizacional, procedimientos, procesos y recursos necesarios para su implementación. Dichos elementos se introducen mediante una metodología basada en estándares internacionales, que contempla etapas como la planificación energética, la definición de indicadores de desempeño y la integración de tecnologías para optimización y monitoreo (Angel et al., 2023; Mišljenovi et al., 2023).

Figura 8. Estructura para el desarrollo de la gestión energética conforme a la Norma ISO 50001 de 2011.



Fuente: (RECIEE, 2019)

- ❖ Etapa de planificación: Esta etapa comienza con una revisión energética exhaustiva, mediante la cual se determina la línea base, se establecen los indicadores de desempeño energético y se definen los objetivos, metas y acciones que la organización debe ejecutar. Este proceso permite orientar los esfuerzos hacia un mejor aprovechamiento de la energía, asegurando que las decisiones se alineen con los lineamientos estratégicos y operativos de la entidad.
- ❖ Etapa de ejecución: Esta etapa consiste en llevar a cabo las acciones previstas, llevando a la práctica los planes definidos en la etapa anterior. En este punto, la organización materializa lo proyectado, asegurando que las actividades se desarrollen conforme a lo establecido y que los recursos se utilicen de manera coherente con los objetivos energéticos planteados.

- ❖ Etapa de verificación: En esta etapa de retroalimentación del sistema se logra a través de la supervisión continua de los procesos y del seguimiento de las variables vinculadas al análisis energético, siempre en coherencia con los lineamientos establecidos por la norma y por la propia organización. En esta fase, la información obtenida se consolida habitualmente en reportes, lo que permite evaluar el desempeño, identificar desviaciones y sustentar la toma de decisiones para mejorar la gestión energética.
- ❖ Actuar: En esta etapa se llevan a cabo medidas correctivas o de mejora basadas en la retroalimentación obtenida durante la verificación del sistema. En este punto, la organización ajusta sus procesos para fortalecer el ciclo de mejora continua, asegurando que las acciones emprendidas respondan de manera efectiva a las necesidades detectadas en la gestión energética. (ISO 50001, 2011).

Esta metodología se implementa siguiendo los principios establecidos por la Norma ISO 50001 de 2011, cuyos lineamientos orientan la correcta gestión de la energía dentro de las organizaciones. Dada su relevancia y amplia adopción en el ámbito empresarial, resulta fundamental comprender tanto su propósito como el alcance que propone, ya que estos elementos permiten aplicar el sistema de forma coherente y garantizar mejoras reales en el desempeño energético.

### **2.3. Marco conceptual.**

Hoy en día, el mundo atraviesa una creciente amenaza de crisis energética, originada por el agotamiento de fuentes no renovables, la reducción de recursos naturales y el deterioro ambiental provocado por las actividades humanas. Esta situación también se agrava por la inestabilidad en el suministro eléctrico y el aumento progresivo de los costos de energía.

Las consecuencias de esta mala gestión ya son evidentes: cortes frecuentes, fluctuaciones en el servicio, tarifas elevadas y falta de acceso a energía de calidad en

numerosas zonas del país. Todo esto demuestra la urgencia de fortalecer las políticas energéticas y de adoptar modelos más eficientes y sostenibles que garanticen un abastecimiento estable y accesible para la población.

Frente a este escenario ambiental cada vez más complejo, la humanidad ha impulsado diversos acuerdos internacionales orientados a regular las emisiones de gases de efecto invernadero y a limitar el uso de sustancias contaminantes que ponen en riesgo la vida y los ecosistemas. Estas iniciativas buscan no solo mitigar el daño ya causado, sino también promover modelos de desarrollo sostenible que garanticen mejores condiciones para las generaciones futuras. Ejemplos significativos de este compromiso global son el Protocolo de Kioto de 1997, la Convención de Estocolmo de 2001, las Cumbres de la Tierra de Río en 1992 y Johannesburgo en 2002, así como la Cumbre del Clima de París de 2015. Estos eventos han servido como plataformas clave para coordinar esfuerzos, establecer metas ambientales comunes y reforzar la responsabilidad internacional frente al cambio climático.

Ante este panorama, se volvió indispensable revisar y fortalecer las normativas del sector energético para incorporar ajustes en los procesos de gestión que impulsen tanto el uso de energías renovables como la mejora de la eficiencia energética, siempre en concordancia con los lineamientos vigentes. Como resultado de estas transformaciones, surge un sistema de generación energética que, al implementarse, permite disminuir los costos asociados al consumo, optimizar el uso de la energía, proyectar una mejor imagen corporativa, reducir el impacto ambiental derivado de las operaciones y asegurar el cumplimiento de la normativa correspondiente.

Para avanzar en este proceso, es fundamental comprender los conceptos energía y eficiencia energética, así como cuáles son los modelos y normativas de gestión que regulan su uso adecuado y máximo aprovechamiento.

### **2.3.1. Energía Eléctrica**

La energía eléctrica puede entenderse como la capacidad que tienen los electrones o cargas eléctricas en movimiento para ejecutar un trabajo útil dentro de un sistema específico. Esta forma de energía se cuantifica habitualmente en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh), unidades que expresan la cantidad de energía consumida por un dispositivo de potencia específica durante un intervalo de tiempo. La energía eléctrica es un recurso esencial que permite operar la maquinaria y los equipos que sostienen el avance tecnológico, industrial y social. Su presencia resulta clave en la producción, el transporte, las comunicaciones y en las tareas cotidianas del hogar, lo que evidencia su papel indispensable para el funcionamiento y el desarrollo de cualquier sociedad. Su relevancia radica en su versatilidad, dado que puede transformarse en otras formas de energía, como lumínica, mecánica y térmica, lo que la convierte en un recurso estratégico para la industria moderna. Además, se considera una fuente secundaria, ya que se obtiene a partir de recursos primarios como energía solar, eólica, hidráulica o térmica, mediante sistemas de conversión que permiten su transporte y utilización eficiente. Investigaciones recientes destacan la importancia de optimizar su uso y reducir pérdidas en sistemas eléctricos, como parte de las estrategias para mejorar la eficiencia energética y avanzar hacia la transición sostenible (Benotsmane & Kovács, 2023).

### **2.3.2. Eficiencia Energética**

Debido a la diversidad de usos que tiene la energía eléctrica, su gestión debe realizarse con estricto rigor técnico. Esto permite evitar su deterioro durante los procesos de conducción y transformación, asegurando que las pérdidas sean mínimas. Solo así se garantiza un aprovechamiento óptimo del recurso y un funcionamiento más eficiente de los sistemas que dependen de él. En el ámbito empresarial, donde se concentra la mayor parte del consumo de energía, este principio exige cubrir las necesidades de producción o de prestación de servicios utilizando la menor cantidad posible de recursos energéticos. Esto no solo contribuye a disminuir los costos operativos, sino que también favorece procesos más limpios y con menores impactos ambientales, lo que fortalece la

sostenibilidad y la competitividad de la organización. Este enfoque, conocido como Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE), se fundamenta en la implementación de estrategias planificadas y ejecutadas que permitan optimizar los procesos de generación, distribución y uso final de la energía, garantizando la confiabilidad de los sistemas, la competitividad y la seguridad energética. Desde una perspectiva global, la eficiencia energética se reconoce como una de las alternativas más costo-efectivas para disminuir el impacto ambiental de los sistemas energéticos actuales, contribuyendo a la sostenibilidad y a la transición hacia modelos productivos más limpios (Vargas-gurrola et al., 2025).

### **2.3.3. Eficiencia Energética Eléctrica**

Este principio se relaciona con la operación habitual de la planta a partir de sistemas eléctricos que permiten disminuir las potencias activa, reactiva y aparente, así como los consumos de energía en kWh y kVAR, manteniendo intactos los niveles de producción. En otras palabras, se busca obtener el mismo resultado utilizando menos energía, lo que constituye un claro ejercicio de ahorro energético. Además, este proceso no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también impulsa cambios en los patrones de operación, generando reducciones adicionales en los costos técnicos, económicos y en los impactos ambientales asociados. (Torres, 2020).

### **2.3.4. Gestión Energética**

Esta consiste en administrar de manera eficiente los recursos energéticos mediante un método sistemático y racional que garantiza el suministro necesario para las operaciones. Este enfoque no solo optimiza el uso de la energía disponible, sino que también facilita la detección de ineficiencias, como fugas o consumos excesivos, permitiendo implementar acciones correctivas que mejoran el desempeño global de los sistemas. (Izquierdo-monge et al., 2024; Safari et al., 2024)

### **2.3.5. Sistema de Gestión Energética**

Al mencionar un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), se hace referencia al conjunto articulado de actividades, procesos, servicios y productos energéticos que posee una organización y que interactúan para definir políticas, metas y acciones orientadas al uso eficiente de la energía. Este tipo de sistema no solo facilita la planificación y el seguimiento de objetivos energéticos, sino que también permite integrar un enfoque ambiental que fortalece la sostenibilidad institucional. Todos estos elementos se estructuran dentro de un esquema de mejora continua, comúnmente conocido como ciclo de Deming, lo que garantiza una revisión permanente y la actualización de las estrategias implementadas (Rodríguez, 2020).

Con el fin de administrar adecuadamente todas las actividades relacionadas con la producción y el consumo de energía, un sistema de gestión de la energía busca definir, desarrollar y aplicar una estrategia energética integral dentro de una planta. Este tipo de sistema opera de manera complementaria a otros modelos de gestión ya existentes como los orientados al medio ambiente o a la optimización de procesos, aportando un enfoque específico que permite mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y fortalecer la sostenibilidad. Su integración resulta clave porque la energía es un recurso transversal que impacta directamente en el desempeño global de la organización.

### **2.3.6. Fuentes convencionales y no convencionales de generación de energía**

Las fuentes convencionales de energía comprenden aquellas que históricamente han abastecido la demanda eléctrica global, basadas principalmente en combustibles fósiles, gas natural, carbón y energía nuclear. Estos sistemas de generación transforman la energía mediante procesos químicos y mecánicos para producir electricidad (Guidi et al., 2023).

Por otro lado, las fuentes no convencionales o renovables incluyen recursos como la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, energía oceánica y biogás, los cuales se caracterizan por su origen no fósil y su menor impacto ambiental. Estas tecnologías se consolidan como alternativas esenciales para la transición energética y la mitigación del cambio climático (Abdul et al., 2023; Seminario-c & Rojas-ortega, 2023).

### **2.3.7. Intensidad energética**

Los indicadores de intensidad energética se emplean como métricas clave para evaluar patrones de consumo energético y su relación con cambios estructurales en la economía o la implementación de políticas regulatorias. Al relacionar un indicador macroeconómico como lo es frecuentemente el producto interno bruto (PIB) correspondiente a un territorio con el consumo total de energía en un periodo específico, tiene lugar la intensidad energética. Este indicador permite analizar la eficiencia con la que una economía utiliza energía para generar valor económico, siendo fundamental para diseñar estrategias de sostenibilidad y transición energética (Abid & Hechmi, 2024).

A nivel internacional, se han establecido acuerdos como los Protocolos de Montreal y Kyoto, orientados a reducir la producción y consumo de sustancias que afectan la atmósfera, incluyendo gases industriales con alto potencial de calentamiento global. Estas iniciativas han sido fundamentales para mitigar el deterioro ambiental y avanzar hacia compromisos globales de reducción de emisiones (Yao et al., 2025).

### **2.3.8. Combustibles fósiles**

Los combustibles fósiles comprenden reservas naturales de recursos como petróleo, carbón, lignito, materiales bituminosos, gas natural, esquistos, turba y antracita. La energía química que contienen se libera mediante su combustión, proceso que permite obtener calor y potencia útil para una amplia variedad de aplicaciones industriales a

nivel global. Aunque su uso ha impulsado el desarrollo económico durante décadas, también plantea el desafío de transitar hacia fuentes más limpias, ya que su explotación genera impactos ambientales que hoy demandan estrategias energéticas más sostenibles.

### **2.3.9. Gases de efecto invernadero**

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos presentes en la atmósfera, tanto de origen natural como antropogénico, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas del espectro infrarrojo terrestre. Entre los principales GEI se incluyen el vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y ozono ( $O_3$ ), los cuales desempeñan un papel crucial en el balance energético del planeta y en el fenómeno del calentamiento global (Saher et al., 2025).

A nivel internacional, se han establecido acuerdos como los Protocolos de Montreal y Kyoto, orientados a reducir la producción y consumo de sustancias que afectan la atmósfera, incluyendo gases industriales con alto potencial de calentamiento global. Estas iniciativas han sido fundamentales para mitigar el deterioro ambiental y avanzar hacia compromisos globales de reducción de emisiones (Riedy, 1997; Wright, 2023).

### **2.3.10. Cambio climático**

El cambio climático se refiere a las modificaciones del clima provocadas, de manera directa o indirecta, por actividades humanas vinculadas a los sectores residencial, industrial, de transporte y otros, que alteran la composición química de la atmósfera. Estas acciones intensifican la variabilidad natural del sistema climático, lo que evidencia la responsabilidad humana en acelerar procesos que antes ocurrían de forma lenta y gradual, reforzando la necesidad de adoptar políticas y prácticas que reduzcan dichas alteraciones. Este fenómeno está estrechamente vinculado a la dependencia global de combustibles fósiles y a la acumulación de gases de efecto invernadero, lo que ha

intensificado los impactos ambientales y socioeconómicos a escala planetaria (Gabric, 2023)

### **2.3.11. Desarrollo sostenible y sostenibilidad**

A continuación, se presentan los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible para los que expresa:

#### **2.3.11.1. Sostenibilidad**

Los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos gaseosos presentes en la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en el espectro infrarrojo terrestre, contribuyendo al efecto invernadero y al calentamiento global. Entre los principales GEI se encuentran el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y ozono (O<sub>3</sub>). Estos gases son responsables de la alteración del balance energético planetario y del incremento sostenido de la temperatura media global. A pesar de los esfuerzos internacionales, como los protocolos de Montreal y Kyoto, para reducir emisiones y sustituir compuestos industriales nocivos, las emisiones antropogénicas continúan en aumento, lo que exige estrategias más efectivas de mitigación (Yao et al., 2025).

El estado de un sistema se define como el conjunto de variables internas que describen su condición en un momento determinado, influenciado por su estado anterior y por los insumos recibidos en el último intervalo temporal. Las variables de salida son aquellas que se consideran esenciales para evaluar el desempeño del sistema. Todas las variables, entrada, estado y salida, pueden variar en el tiempo, el espacio y la población, lo que refleja la naturaleza dinámica y compleja de los sistemas, especialmente en contextos de transición energética y políticas sostenibles (Hafner et al., 2024).

“un sistema es sostenible cuando el valor neto del producto obtenido, no necesariamente en términos económicos, no disminuye en el tiempo. Toda asignación de valor entraña

un fuerte componente subjetivo y, en consecuencia, la especificación de la elección de las variables de salida que son de interés, puede variar ampliamente y reflejar la gama de percepciones y puntos de vista respecto de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad” (Hafner et al., 2024)

### **2.3.11.2. Desarrollo sostenible**

En el mismo reporte, CEPAL (2003) argumenta para Desarrollo Sostenible:

“A largo plazo, la única opción que tiene sentido es procurar alcanzar la sostenibilidad del sistema socioecológico completo. Las razones que justifican tener en cuenta el sistema como un todo es la existencia de importantes vinculaciones entre sociedad y naturaleza (CEPAL, 2003)”

“Un sistema socioecológico un sistema formado por un componente (subsistema) societal (o humano) en interacción con un componente ecológico (o biofísico) ... Esta perspectiva es compatible con la idea de sostenibilidad fuerte. La razón principal de esta insistencia deriva del reconocimiento de que los recursos naturales son insumos esenciales de la producción económica, del consumo o del bienestar, que no pueden sustituirse por capital físico o humano (CEPAL, 2003)”

“La sostenibilidad del sistema socioecológico total puede también ser compatible con la idea de sostenibilidad débil. Ésta hace hincapié en el valor de proteger procesos ecológicos y bioquímicos que, una vez perdidos, son irre recuperables. Estos procesos y su conjunto asociado de especies, se conocen como capital natural crítico. La sustitución de este no debería permitirse, pero fuera de ello, capital manufacturado de igual valor puede ocupar el lugar del capital natural (CEPAL, 2003)”

### **2.3.12. Crecimiento económico**

“El crecimiento económico determina el ritmo de evolución del ingreso per cápita. Puesto que la definición de desarrollo concierne a todas las personas de una familia o comunidad, importa también la forma como el ingreso está entre ellas... El capital humano, el capital natural y la organización social, a la vez de contribuir a modular un determinado estado de bienestar, constituyen los factores primarios de modulación de la función de producción que determina el crecimiento económico” (Castillo Martín, 2011).

### **2.3.13. Desarrollo económico**

“El desarrollo económico se define como el proceso en virtud del cual la renta real per cápita de un país aumenta durante un largo período de tiempo. En otros términos, el desarrollo es un proceso integral, socioeconómico, que implica la expansión continua del potencial económico, el auto sostenimiento de esa expansión en el mejoramiento total de la sociedad” (Castillo Martín, 2011).

## **2.4. Marco Contextual**

La gestión energética estratégica se ha consolidado como una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa, la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones. En este contexto, la norma ISO 50001 ha emergido como el principal referente internacional para el diseño e implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn), aplicables a todo tipo de empresas, independientemente de su tamaño o sector (Prias Caicedo et al., 2019).

La norma ISO 50001, publicada inicialmente en 2011 y actualizada en 2018, establece un marco estructurado basado en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), que permite a las organizaciones integrar la gestión energética en sus procesos

estratégicos y operativos. Su implementación busca reducir el consumo energético, optimizar el uso de recursos, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar el desempeño energético de manera continua (Fletcher, 2018; ISOTools, 2020).

Diversos estudios han demostrado que la adopción de la ISO 50001 genera impactos positivos en la productividad y competitividad empresarial. La norma no solo permite identificar oportunidades de ahorro energético, sino que también fortalece la cultura organizacional, mejora la toma de decisiones basada en datos energéticos confiables y promueve el liderazgo comprometido con la sostenibilidad (Fuchs et al., 2020, 2023)

En el caso colombiano, investigaciones como la de Castrillón-Mendoza et al. (2020) evidencian que la aplicación de metodologías para establecer líneas base energéticas, conforme a la ISO 50001 y su norma complementaria ISO 50006, permite cuantificar ahorros significativos en sectores industriales como el plástico. Estos ahorros se traducen en beneficios económicos, reducción de emisiones y mejora en la planificación de la producción (Castrillón et al., 2020).

Asimismo, experiencias internacionales en países como Alemania, Italia, Omán y Sudáfrica han mostrado que la implementación de SGEN puede lograrse con inversiones moderadas y generar retornos rápidos, además de fortalecer la imagen corporativa y el cumplimiento regulatorio (Fuchs et al., 2023).

En el marco de la dirección de proyectos, la gestión energética adquiere una dimensión estratégica, al requerir planificación, asignación de recursos, liderazgo y seguimiento de indicadores clave como los EnPI (Indicadores de Desempeño Energético) y la EnB (Línea Base Energética). Estos elementos permiten medir el impacto de las acciones implementadas y asegurar la mejora continua del sistema (Arco et al., 2018).

La presente tesis se inscribe en este contexto, proponiendo un modelo de gestión energética estratégica desde la dirección de proyectos, orientado a mejorar la eficiencia energética y productiva en una empresa del sector metalmeccánico de la ciudad de Barranquilla. Esta propuesta se fundamenta en los aportes teóricos y prácticos de la norma ISO 50001, adaptados a las condiciones locales y sectoriales, con el objetivo de

contribuir al desarrollo sostenible y competitivo de la industria metalmecánica en Colombia.

## **2.5. Marco Legal y Normativo**

El marco legal y normativo constituye una parte esencial del marco de referencia de esta investigación, al integrar los antecedentes históricos, legales y actuales que sustentan la gestión energética en Colombia y su alineación con estándares internacionales. En este contexto, se reconoce que la eficiencia energética no solo responde a necesidades técnicas y económicas, sino también a compromisos ambientales y regulatorios que buscan mitigar el cambio climático y promover el desarrollo sostenible.

### **2.5.1. Normativa Internacional**

A nivel internacional, la gestión energética ha evolucionado desde los años 90 con la implementación de programas y estándares en países como Australia (AS 3595), Estados Unidos (ANSI 736 IEEE), Canadá (PLUS 114°), China (GB/T 15587), entre otros. Esta evolución culminó en la creación de la norma ISO 50001:2011, desarrollada por el comité ISO/PC 242 con participación de 44 países, bajo el liderazgo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO) (España Bernal, 2018).

La ISO 50001 establece un marco de referencia para que las organizaciones implementen sistemas de gestión energética (SGEn) basados en el ciclo de mejora continua PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), con el fin de optimizar el uso de la

energía, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar el desempeño energético (España Bernal, 2018; ISO 50001, 2011).

### **2.5.2. Normativa Nacional**

En Colombia, el marco legal para la eficiencia energética se ha consolidado a través de diversas leyes, decretos y resoluciones. La Ley 697 de 2001 fomenta el uso racional y eficiente de la energía y promueve el desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE). El Decreto 3683 de 2003 reglamenta este uso, asegurando el abastecimiento energético y la competitividad del mercado (España Bernal, 2018).

Posteriormente, la Resolución 180919 de 2010 adoptó el Plan de Acción Indicativo 2010–2015, prorrogado por la Resolución 41430 de 2015, estableciendo metas sectoriales en eficiencia energética. La Ley 1715 de 2014 amplió el alcance al incluir la promoción de fuentes no convencionales de energía y la gestión eficiente de la energía, incluyendo la respuesta de la demanda. Finalmente, la Resolución CREG 030 de 2018 reguló la integración de la autogeneración y la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (España Bernal, 2018).

### **2.5.3. Compromisos Ambientales**

El marco normativo también se vincula con compromisos internacionales como el Acuerdo de París (COP21), en el cual Colombia se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% para 2030. Este compromiso implica la

adopción de medidas de eficiencia energética en sectores industriales y de servicios, incluyendo el desarrollo de tecnologías eficientes y la implementación de sistemas de gestión energética (España Bernal, 2018; García Arbelaez et al., 2016).

#### 2.5.4. Norma ISO 50001 de 2011

La implementación de un Sistema de Gestión Energética (SGEn) debe originarse en un compromiso explícito de la alta dirección, lo que implica asegurar el apoyo de los responsables de cada departamento y la disponibilidad de los recursos necesarios. Su puesta en marcha se ajusta a las prioridades y capacidades de la empresa, por lo que el proceso debe adaptarse a las condiciones operativas particulares de cada contexto. Cuando la ejecución se desarrolla de manera ordenada y con un método sólido, se incrementan las probabilidades de éxito y se maximizan los beneficios del sistema, lo cual refuerza la importancia del liderazgo estratégico y la coordinación interna. La Figura 9 muestra el equilibrio necesario de aspectos clave de la empresa para la implementación y desarrollo de un sistema de energía de éxito.

Figura 9. Aspectos clave para la implementación de un sistema energético empresarial



Fuente: (Díaz, 2019)

No obstante, existe un conjunto de etapas generales que deben cumplirse en cualquier proceso de implementación, independientemente del contexto. Estas fases, que funcionan como una guía estructural para asegurar coherencia y orden en el desarrollo del sistema, se presentan a continuación (Díaz, 2019):

- Conformar un comité de gestión, designando a un líder energético responsable de orientar la estrategia y coordinar las acciones vinculadas al uso y administración de la energía en los procesos. Este rol es clave para asegurar coherencia y continuidad en el proceso.
- Documentar la metodología de trabajo, dejando por escrito el enfoque, las herramientas y los procedimientos que guiarán la implementación, lo cual facilita la transparencia y la trazabilidad.
- Definir metas y objetivos específicos, estableciendo lo que se pretende alcanzar dentro de un periodo determinado y considerando las capacidades reales de la organización. Esta planificación permite dirigir los esfuerzos de manera eficiente.
- Diseñar y poner en marcha programas de acción, orientados al cumplimiento de cada una de las metas propuestas. Estos programas funcionan como el puente entre la planificación y los resultados concretos.
- Realizar un seguimiento continuo del proceso, evaluando avances y corrigiendo desviaciones para asegurar que las actividades se mantengan alineadas con los objetivos establecidos.
- Registrar los resultados obtenidos, generando evidencia que permita analizar el desempeño, facilitar la toma de decisiones y promover la mejora continua.

El Sistema de Gestión de la Energía también impulsa la incorporación de fuentes renovables y el monitoreo permanente de los planes orientados a mejorar el desempeño energético de la organización, verificando continuamente la correcta aplicación de la metodología establecida. La Norma ISO 50001, titulada Sistemas de Gestión de la Energía – Requisitos y directrices para su uso, se creó precisamente para servir como

referencia universal en la elaboración de este tipo de metodologías, facilitando su implementación en empresas de diferentes sectores y tamaños. Esta norma no solo estandariza las buenas prácticas, sino que favorece la mejora continua y la adopción de tecnologías más limpias, fortaleciendo la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones. Para desarrollar una gestión estratégica efectiva, es fundamental comprender la norma, lo que implica familiarizarse con sus requisitos y promover actividades de sensibilización, documentación y comunicación sobre la temática.

Para alcanzar una planificación estratégica efectiva, es indispensable conocer los requisitos legales vigentes en el país, la región y la localidad donde opera la organización, además de comprender la política interna corporativa. Asimismo, resulta esencial aplicar una línea base energética, ya que esta permite definir el punto inicial desde el cual se evaluarán los indicadores de desempeño. La segunda edición de la norma ISO 50001, publicada en 2018, introdujo ajustes que la integran de manera más fluida con otros Sistemas Integrados de Gestión, lo que amplía su alcance y facilita su implementación en diferentes tipos de empresas. Esta actualización no solo armoniza los procesos, sino que fortalece la coherencia entre los objetivos estratégicos y la mejora continua del desempeño energético (Díaz, 2019).

Las experiencias de implementación de Sistemas de Gestión de la Energía suelen construirse a partir de modelos previamente aplicados en otras organizaciones o estudios, los cuales se ajustan al contexto operativo de cada empresa. Este proceso de adaptación es fundamental, ya que permite que la metodología responda realmente a las condiciones técnicas, organizativas y culturales del entorno donde se aplicará. A partir de ello, se establece una metodología estructurada que guía la adecuación del sistema y asegura que la organización pueda obtener resultados consistentes y sostenibles (Aller et al., 2010) :

1. Realizar un diagnóstico energético integral, considerando la tecnología disponible, los recursos existentes y las acciones necesarias para disminuir los costos asociados al consumo de energía. Este análisis inicial es crucial, pues permite identificar oportunidades reales de mejora.

2. Supervisar y analizar continuamente los indicadores energéticos, prestando especial atención a aquellos procesos y operaciones que muestren consumos elevados. Un monitoreo constante facilita la toma oportuna de decisiones y promueve una gestión más eficiente.

3. Determinar las necesidades de sustitución tecnológica, evaluando qué equipos o sistemas deben ser renovados para incrementar la eficiencia y reducir pérdidas energéticas. La modernización adecuada puede traducirse en ahorros significativos y mayor confiabilidad operativa.

4. Examinar alternativas energéticas más económicas, autónomas o provenientes de fuentes renovables, con el fin de diversificar el suministro y disminuir la dependencia de recursos tradicionales. Este análisis no solo fortalece la sostenibilidad, sino que también contribuye a mejorar la competitividad de la organización.

Al aplicar modelos de Sistemas de Gestión de la Energía desarrollados en experiencias previas, pueden distinguirse tres fases esenciales:

#### ❖ **Fase 1. Orientación Estratégica**

En esta fase es necesario examinar la situación actual de la organización y definir los objetivos que se pretenden alcanzar mediante el Sistema de Gestión de la Energía. Asimismo, al considerar el entorno del sector industrial, es posible proyectar los beneficios que la empresa podrá obtener a lo largo del tiempo con su implementación. Durante este análisis se revisan las metas generales, los efectos sobre la productividad, los costos operativos, las ventajas competitivas y la condición energética inicial de la empresa. Todo ello se concreta a través de las siguientes actividades:

- Realizar una caracterización del desempeño energético de la organización.
- Formalizar el compromiso de la alta dirección dejando constancia documentada.
- Determinar las estrategias que se implementarán para lograr las metas energéticas planteada
- Establecer el procedimiento técnico y organizativo a llevar a cabo.

❖ **Fase 2.** Desarrollo del Sistema de Gestión Energética Integral.

En esta fase se lleva a cabo un examen integral del funcionamiento de la organización, con el propósito de identificar su situación energética actual y definir los indicadores que permitirán evaluar el desempeño. Estos indicadores se formulan a partir de principios físicos y criterios de ingeniería que garantizan mediciones confiables y pertinentes. A partir de este análisis, se diseñan las políticas internas y las acciones estratégicas que deberán implementarse, se estructura un modelo de sensibilización dirigido al personal y se documenta cada paso del proceso. De este modo, al detallar el procedimiento se identifican los siguientes componentes (Aller et al., 2010):

- Determinar los parámetros que medirán el desempeño del sistema de gestión
- Reconocer las variables de control correspondientes a cada área
- Especificar los mecanismos que supervisan dichas variables
- Elaborar una evaluación energética inicial
- Revisar las condiciones de los equipos, la maquinaria y la tecnología utilizada
- Formular un plan de acción basado en los análisis previos
- Poner en marcha el plan y organizar la gestión correspondiente
- Instruir al personal involucrado
- Registrar de manera completa todas las actividades realizadas
- Efectuar una auditoría, obtener retroalimentación y realizar ajustes al plan

Los indicadores del sistema de gestión se determinan a partir del estudio detallado del uso de la energía en la organización y de la descripción precisa de sus patrones de consumo. Este proceso permite comprender cómo se comporta el sistema energético y facilita la definición de métricas confiables para su evaluación. Con base en este análisis, se desarrollan y aplican los modelos matemáticos correspondientes, los cuales se presentan a continuación:

### 2.5.6. Modelación matemática de las operaciones productivas

Este modelo establece la conexión entre los registros de consumo energético y los niveles de producción utilizando el método de ajuste por mínimos cuadrados. La ecuación que representa dicha relación se muestra a continuación (Avella Campos et al., 2008):

$$E=mP+E0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E: Consumo energético correspondiente al periodo evaluado, kWh/mes.

P: Nivel de producción registrado durante el mismo periodo de análisis.

m: Valor de la pendiente, entendido como el cambio promedio del consumo de energía en función de la producción.

E0: Término independiente que indica la energía utilizada que no depende directamente del volumen de producción.

mP: Cantidad de energía atribuida específicamente al proceso productivo.

### 2.5.7. Índice de Consumo

Una vez identificado el consumo de energía correspondiente al periodo analizado, se procede a calcular el índice de consumo asociado (J. Campos et al., 2008):

$$I=EP=m+EOP \quad \text{Ecuación 2}$$

$$IC=m+EOP \quad \text{Ecuación 3}$$

#### **Etapas 3.** Operación del Sistema de Gestión Integral.

En esta fase se ejecuta el plan de acción definido en las etapas 1 y 2, siguiendo como referencia los lineamientos establecidos en la norma. En consecuencia, el propósito de esta etapa es garantizar el avance del proceso, supervisar y registrar cada actividad, evaluar los indicadores y resultados obtenidos, y realizar los ajustes necesarios. Las actividades esenciales que se llevan a cabo en esta fase incluyen:

- Supervisión y control de los indicadores de desempeño energético.
- Reconocimiento, seguimiento y valoración de las buenas prácticas en las áreas operativas, de mantenimiento y de producción, así como su adecuada coordinación.
- Puesta en marcha de programas y subproyectos específicos orientados a la mejora.
- Definición de estrategias de formación y evaluación del personal.
- Revisión de los resultados obtenidos y determinación de oportunidades de mejora.

Figura 10. Esquema piramidal del Sistema de Gestión Integral



Fuente: (Aller et al., 2010).

En la Figura 10 se muestra el proceso de transición que la empresa debe atravesar al avanzar por cada una de las etapas descritas. Finalmente, el uso racional y eficiente de la energía debe integrarse como una práctica inherente a las operaciones de la organización, hasta el punto de ser realizada de manera casi automática por su personal.

Para una comprensión e interpretación adecuadas de la norma, es indispensable contar con claridad respecto a los conceptos que se presentan a continuación (Carretero & García, 2012):

- **Desempeño energético:** Parámetro medible que refleja la relación entre la eficiencia en el uso de la energía, su utilización y el consumo asociado.
- **Uso de la energía:** Modo, técnica o forma mediante la cual se aplica o se aprovecha la energía dentro de un proceso o actividad.
- **Indicador de desempeño energético:** Valor de referencia que permite medir y comparar el nivel de desempeño energético alcanzado.
- **Eficiencia energética:** Proporción cuantitativa que expresa la relación entre la energía obtenida y la energía suministrada a un sistema, proceso o equipo.

### **CAPÍTULO III. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.**

En este capítulo se expone la metodología utilizada para desarrollar el trabajo doctoral, detallando el enfoque adoptado, las técnicas de análisis y recolección de información, así como su clasificación, alcance y el tamaño de la muestra empleada. Del mismo modo, se describe de manera estructurada el procedimiento a seguir en cada una de las etapas, vinculando cada fase con los modelos matemáticos, herramientas e instrumentos necesarios para su ejecución (Reyes & Boente, 2019). La investigación se sustenta en la metodología establecida por la norma NTC-ISO 50001:2019, la cual facilita identificar la relación entre la producción o los servicios prestados y el consumo de energía, favoreciendo así la aplicación del Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE).

Con el propósito de garantizar la coherencia y el rigor metodológico, se diseñó un proceso estructurado que comprende las siguientes fases:

- ❖ **Revisión del estado del arte:** Se realizó un análisis exhaustivo de la literatura científica y técnica relacionada con la norma ISO 50001, sus aplicaciones en el sector industrial, herramientas de gestión energética y casos de estudio relevantes. Esta revisión permitió identificar las mejores prácticas y tendencias actuales en eficiencia energética, así como metodologías innovadoras para la optimización del consumo energético en procesos productivos. Investigaciones recientes destacan la integración de técnicas de análisis de datos y modelos predictivos para mejorar las líneas base energéticas y optimizar el desempeño de los sistemas (Bernabé et al., 2025; Grimaccia et al., 2023).
  
- ❖ **Caracterización de procesos y equipos:** Se llevó a cabo una descripción detallada de los procesos operativos y de los equipos involucrados en la planta metalmeccánica objeto de estudio. Esta caracterización permitirá comprender la dinámica de consumo energético y establecer indicadores clave de desempeño

(EnPIs) que faciliten la evaluación del comportamiento energético en condiciones reales de operación.

- ❖ **Análisis correlacional entre consumo energético y producción:** Se estableció la relación entre las variables de consumo energético y los niveles de producción mediante la aplicación de herramientas estadísticas y modelos de regresión. Este análisis permitió identificar los factores que inciden directamente en el desempeño energético y proponer estrategias de optimización basadas en evidencia. Estudios recientes demuestran que la implementación de sistemas de gestión energética bajo la estructura Plan-Do-Check-Act (PDCA) contribuye a mejoras sostenibles en la eficiencia energética, con tasas de reducción del consumo superiores al 10% en entornos industriales (Fitzgerald et al., 2023; Vargas-gurrola et al., 2025)

La metodología propuesta no solo busca cumplir con los requisitos normativos, sino también generó un modelo replicable que incorpora prácticas sostenibles y tecnologías emergentes, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las tendencias de la industria 4.0 (Pushpo, 2024)

### 3.1. Cuadro Operacionalización de variables

A continuación, se presenta el cuadro de operacionalización de variables que da a conocer de forma clara y puntual los elementos claves del trabajo de investigación realizado.

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables

Operacionalización de Variables						
Tema: Modelo de gestión energética estratégica orientado al uso eficiente de la energía en procesos productivos para la implementación de la norma ISO 50001 de una empresa del sector metalmecánico en Barranquilla en el año 2025						
Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo la gestión energética puede optimizar el consumo de energía en plantas del sector metalmecánico de la ciudad de Barranquilla en el año 2025, integrando los lineamientos de la norma ISO 50001 y metodologías adaptadas a las características específicas de sus procesos productivos, con el fin de mejorar la eficiencia y sostenibilidad operativa?	Proponer un sistema de gestión energética alineado con la norma NTC-ISO 50001:2019, aplicable en una planta del sector metalmecánico ubicada en la ciudad de Barranquilla durante el año 2025, con el propósito de identificar las variables críticas del consumo energético y establecer un método de implementación eficiente que optimice el uso de la energía y fortalezca la sostenibilidad operativa desde un enfoque de dirección de proyectos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caracterizar energéticamente la instalación experimental del sector metalmecánico y definir su comportamiento operacional regular, como base para la planificación del sistema de gestión desde la dirección de proyectos.</li> </ul>	La adaptación metodológica de la norma NTC-ISO 50001:2019 a las condiciones específicas de una planta del sector metalmecánico en Barranquilla permitirá diseñar un sistema de gestión energética que optimice el uso racional de la energía, estableciendo correlaciones significativas entre producción y consumo energético, y contribuyendo a la mejora operativa y organizacional con un nivel de	<b>Variable independiente:</b>  Desempeño energético de la planta	Procesos de manufactura realizados por componente	Participación del proceso de manufactura realizado por componente
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar un sistema de gestión energética que integre las correlaciones entre parámetros operacionales, consumo energético, tecnologías utilizadas, cultura</li> </ul>			Consumo Energético por componente	Cantidad de energía en KW consumida por componente metalmecánico

		organizacional y prácticas de uso racional de la energía, con el fin de apoyar la toma de decisiones estratégicas en la gestión del proyecto y garantizar la eficiencia en la planta del sector metalmecánico.	eficiencia medible y generalizable.		Componentes metalmecánicos intervenidos	Cantidad de componente intervenido por línea de producción
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar el diseño del Sistema de Gestión de la Energía conforme a las características operacionales de la planta, evaluando su aplicabilidad desde un enfoque de dirección de proyectos.</li> </ul>		<b>Variable(s) dependiente(s):</b> Relación producción-energía en contexto operacional.	Consumo energético Planta	Consumo energético kWh mensual
			Parámetros técnicos de operación		Nivel de implementación hacia las buenas practicas	
			Tecnología por operación			
				Comportamiento Organizacional hacia la energía		

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2. Diseño metodológico.**

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación es de carácter deductivo, ya que parte de un modelo general aplicado al sector de la manufactura y al procesamiento de metales para analizar una empresa particular que comparte la necesidad de implementar prácticas operativas eficientes y estrategias de ahorro energético, aunque presenta variaciones en sus niveles de producción. Desde esta perspectiva, el método deductivo permite derivar conclusiones coherentes a partir de premisas, teorías y conceptos establecidos. Además, su elección se justifica porque facilita trasladar principios ampliamente validados en la industria hacia un caso específico, lo que posibilita identificar brechas, validar supuestos y adaptar soluciones que contribuyan a mejorar el desempeño energético en escenarios reales y cambiantes (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

La investigación está enmarcada en un nivel correlacional, pues busca identificar los aspectos más importantes de los consumos energéticos de una planta industrial como resultado de los procesos productivos asociados y no asociados a ellos. Se intenta analizar las implicaciones en el uso de la energía que tienen los procesos productivos y la cultura organizacional, mediante la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

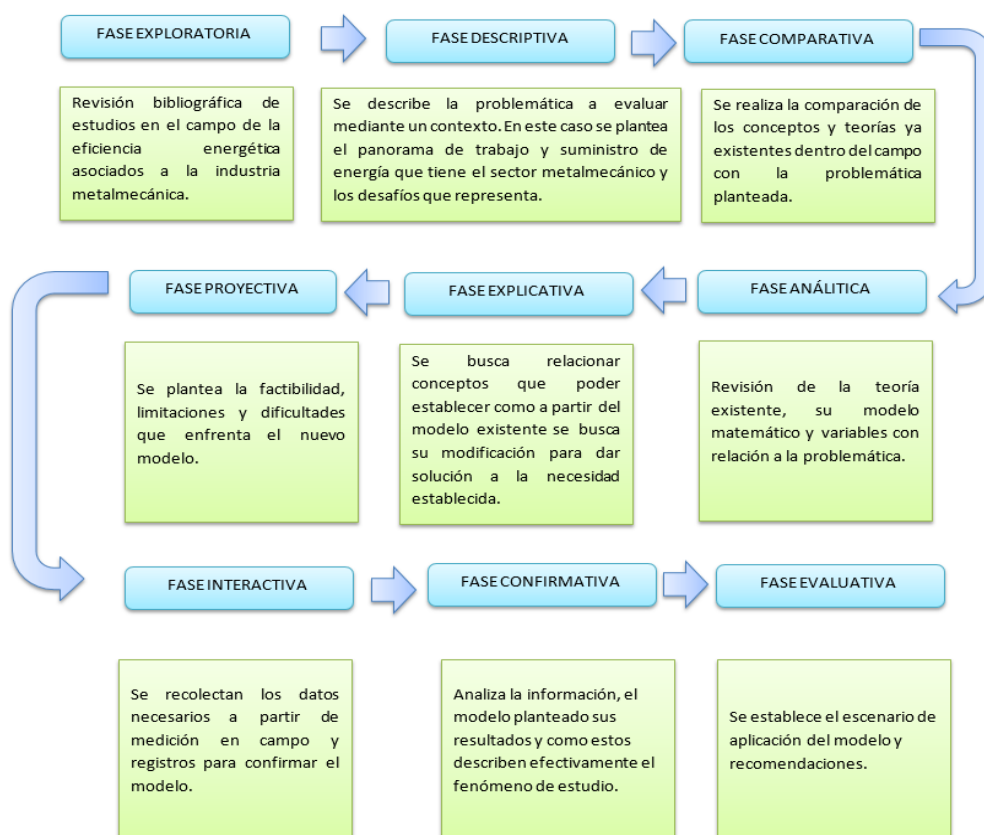
De allí que, se pretenda formular un Sistema de Gestión de Energía alineado con la norma NTC – ISO 50001 de 2019, pero ajustada a la realidad operacional y organizacional de una planta industrial de conformación de metales, que permita la elaboración de una intervención dirigida a los equipos de mayor consumo energético para reducir los consumos sin sacrificar la producción. Estas intervenciones son planeadas y ejecutadas por los responsables de la planta industrial, pero son diseñadas como una consecuencia de los resultados de la caracterización energética y la aplicación de la norma.

Este estudio tiene como propósito, a partir de la metodología establecida en la NTC–ISO 50001:2019 y de la matriz de operaciones previamente elaborada, definir y presentar los lineamientos y los instrumentos de medición que se utilizarán a lo largo del proceso investigativo.

Esta investigación tiene como propósito central examinar el proceso productivo de una empresa del sector metalmecánico, con el fin de identificar, a partir de sus parámetros operativos, los niveles de demanda energética, el consumo de electricidad y la relación con su volumen de producción, para así definir su Sistema de Gestión de la Energía. El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, dado que se basa en modelos matemáticos y en datos experimentales que permiten evaluar el desempeño energético de los procesos de fabricación y de los servicios asociados. De igual manera, busca promover la adopción de prácticas orientadas al Uso Racional y Eficiente de la Energía dentro de plantas industriales dedicadas a la conformación de metales.

La valoración de un modelo energético aplicado al sector metalmecánico requiere desarrollar las etapas de trabajo que se detallan a continuación:

Figura 11. Fases del trabajo de investigación



Fuente: Elaboración propia.

- Desarrollar la caracterización energética y definir el comportamiento operacional regular de la producción de la Instalación Experimental del sector metalmecánico.
- Establecer modelos matemáticos correlacionales de los parámetros operacionales mediante mediciones y datos de los procesos de producción, asociados a el consumo energético, las tecnologías, la cultura organizacional y el uso racional de la energía en la instalación experimental.
- Realizar los ajustes metodológicos del diseño del Sistema de Gestión de la Energía conforme a las características operacionales de la planta y su evaluación en la instalación experimental.
- Se analizan los resultados y se establecen las conclusiones y recomendaciones.

La metodología definida para esta investigación establece un proceso sistemático que abarca la caracterización energética, la formulación de modelos correlacionales, el diseño del sistema de gestión y la evaluación de resultados. Sin embargo, antes de ejecutar estas etapas, es esencial realizar un análisis de riesgos que permita anticipar posibles contingencias técnicas, operativas y organizacionales. Este análisis contribuye a garantizar la continuidad de los procesos productivos, la seguridad en la instalación de dispositivos y la correcta aplicación de los instrumentos, evitando afectaciones en la dinámica normal de la planta. Incorporar esta fase preventiva asegura la viabilidad del plan metodológico y fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **Análisis de Riesgo del Proyecto de investigación**

El término Riesgo se define como la combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias que son de carácter negativo (Casares San José-Martí, 2013). El riesgo operacional constituye la evaluación de estos sucesos y sus consecuencias dentro de un marco de administración, gestión, producción, planeación y ejecución del trabajo en pro de la razón social de una compañía. Estos riesgos operacionales deben ser considerados

si se desea garantizar la continuidad, calidad y confiabilidad en la prestación de servicios y fabricación de productos. Para que una empresa pueda introducirse al mercado, mantener una porción de este y poder competir debe caracterizarse por alcanzar la satisfacción de sus clientes y desempeñar su labor eficazmente. Si esto no se logra garantizar se pueden presentar sucesos que pongan en riesgo la participación de la empresa en el mercado. Investigaciones científicas recientes evidencian que el boca a boca negativo actúa como un multiplicador del daño, propagando la insatisfacción y afectando significativamente la imagen y la confianza en la empresa (Sukhu & Bilgihan, 2025) . En consecuencia, la sostenibilidad de la compañía se encuentra altamente relacionada con la capacidad que tiene la empresa de identificar los inconvenientes que pueden atentar contra su adecuado funcionamiento, así como los planes de acción que deben ser ejecutados en caso de que estos se presenten.

Para identificar los riesgos operacionales de una empresa, es fundamental comprender en detalle su forma de operación y la naturaleza de sus actividades, así como evaluar las políticas de gestión de riesgos implementadas por la organización. Con esto se tendría un conocimiento a fondo del funcionamiento de la organización y los lineamientos ya establecidos con respecto a los posibles escenarios de inconvenientes que se pueden presentar; lo cual serviría de punto de partida para realizar el análisis de cualquier empresa.

Posteriormente, se procederá a identificar los riesgos y analizar el impacto que estos tienen en las empresas, según el tipo de riesgo al que se encuentren asociadas. Una vez que estos se establecen con claridad, se procede a elaborar un plan de respuesta ante dichos eventos, así como sus respectivas medidas de control, medición y seguimiento.

Una medida de respuesta común consiste en contratar aseguradoras que asumen los riesgos expuestos por la empresa y brindan apoyo con asesorías respecto al tema, servicio técnico, equipos, transporte, dinero entre otros a cambio de una cuota mensual. En caso de presentarse un inconveniente de alto impacto, donde el valor pagado en la cuota resulte insignificante frente a los daños ocasionados, se actuará conforme a las políticas establecidas por la empresa.

Con respecto al proyecto de investigación existen riesgos operacionales para las distintas etapas de su desarrollo, dentro de estos se destacan el riesgo asociado al análisis energético, su evaluación e implementación de las medidas que permitan establecer prácticas de uso racional de la energía y procesos productivos eficientes en la empresa. De realizarse correctamente, esto conducirá a una mejor prestación de servicio, mejorar la eficiencia de los procesos productivos y brindar mejores condiciones de trabajo para sus empleados. Sin embargo, sino se plantean los riesgos operaciones se pueden generar demoras en la ejecución, escasez de recursos económicos, prácticas laborales no amigables con el medio ambiente y procesos ineficientes que afectaran la confiabilidad y calidad del servicio brindado al cliente; y, por ende, la sostenibilidad de la empresa en el largo plazo.

Tabla 2. Rúbrica de riesgo.

Consecuencia \ Probabilidad	Insignificante A	Menor B	Moderado C	Peligroso D	Catastrófico E
Frecuente - 5	Medio	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Probable - 6	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Ocasional - 3	Bajo	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Posible - 2	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto
Improbable - 1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Valoración de riesgos del proyecto de investigación.

EVALUACIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN						
TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	FACTORES			PERSONAS, ELEMENTOS PRINCIPALMENTE AFECTADOS.	POSIBLE MEDIDA DE RESPUESTA
		OCURRENCIA	IMPACTO	VALOR-TIPO		
Cientes, productos y prácticas empresariales	Iliquidez. Este riesgo hace referencia a que durante el desarrollo del proyecto no se cuenten con los recursos para su ejecución a cabalidad.	Posible	Peligroso	2D- Medio	Los empleados que participan en el proyecto, así como los que para su labor cotidiana este genera impacto. La empresa a ver truncado su plan de crecimiento y mejoramiento continuo	Financiación externa mediante créditos o convocatorias a desarrollo empresarial.
Seguridad en el puesto de trabajo y relaciones laborales.	Accidentes laborales, enfermedades, incapacidades o prácticas que vayan en deterioro de la salud durante el desarrollo de las tareas del proyecto.	Probable	Moderado	4C- Alto	Los empleados y la dinámica de trabajo. Además, si el personal se incapacita un largo tiempo la empresa debe gastar un dinero extra en la contratación de una persona que cubra su labor.	Desarrollo de capacitaciones por parte de las Aseguradoras de riesgo laborales. Gestión de certificaciones en prácticas como trabajo en altura. El pago a tiempo de las prestaciones sociales de cada trabajador.
Factores Externos	Normativas internacionales su cambio y actualización que genere nuevos requerimientos.	Posible	Moderado	2C- Medio	Afecta los términos y el cronograma de desarrollo de la obra.	Planeación basada en el contexto nacional y local.
Factores externos	Nuevas políticas energéticas en Colombia.	Improbable	Moderado	1C- Bajo	Afecta los términos y el cronograma de desarrollo de la obra.	Revisión constante de las normas que rigen actualmente la construcción en Colombia y la subcontratación personal capacitado y con experiencia en el trabajo bajo dichas.
Daños en activos y materiales.	Condiciones Ambientales o daños en los sistemas de energía y equipos de medición. Incidentes durante el desarrollo de procesos productivos como trabajo de materiales, herramientas y equipos de trabajo.	Posible	Catastrófico	2E- Muy Alto	El cronograma de trabajo del proyecto.	Asegurando la infraestructura y realizar una planeación que contemple las condiciones en el entorno de la empresa.
Ejecución, entrega y gestión de procesos.	Resistencia al cambio, durante el desarrollo de mejoras y cambios en los manuales y procedimientos de trabajo.	Ocasional	Menor	3B- Medio	Personal laboral. Por lo general, el personal de mayor edad y con más antigüedad en la empresa es el que opone mayor resistencia.	Trabajar en miras del beneficio final y como esto contribuirá con el sostenimiento a largo plazo de la empresa. Trabajar con equipos de personas con diferentes tipos de personalidad guiados por líderes motivados.
Factores Externos	Cambios en el valor de las tecnologías de generación a evaluar para suministrar energía eléctrica a la empresa, dado que son importadas.	Improbable	Menor	1B-Bajo	El presupuesto del proyecto, y por ende, el personal vinculado a este.	Diversificación de servicios, mayor labor de mercadeo y financiación externa.

Fuente: Elaboración Propia

### **3.2.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.**

La investigación se sustenta en un enfoque cuantitativo, dado que busca analizar y modelar la relación entre los parámetros operacionales de los equipos productivos y el consumo energético en una empresa del sector metalmeccánico. Este enfoque permite trabajar con datos medibles y verificables, garantizando objetividad y rigor científico en los resultados. La cuantificación de variables como potencia, tiempo de operación y consumo energético posibilita la identificación de patrones y tendencias que inciden en la eficiencia energética. Sin embargo, el estudio incorpora un componente cualitativo complementario orientado a evaluar las prácticas operacionales del personal y su impacto en el desempeño energético, en concordancia con los lineamientos de la norma ISO 50001:2019, lo que asegura una visión integral del problema considerando factores técnicos y conductuales.

El diseño metodológico adoptado corresponde a un diseño no experimental, enmarcado en el enfoque cuantitativo, ya que se basa en la observación y análisis de los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin manipular deliberadamente las variables. Este diseño resulta adecuado para identificar el grado de asociación entre variables como consumo energético, parámetros operacionales y tecnología aplicada, permitiendo comprender las interacciones que inciden en la eficiencia energética. La investigación se desarrolla en condiciones reales de operación dentro de la planta industrial, lo que garantiza la validez ecológica de los hallazgos. Para ello se emplearán técnicas de medición directa en equipos como tornos, fresadoras, cepillos, sistemas de soldadura y ventilación, complementadas con el análisis de registros históricos de consumo energético y producción.

El estudio se clasifica como correlacional, puesto que busca determinar la relación existente entre las variables que inciden en el consumo energético y la producción. El método específico es correlacional retrospectivo, dado que se analizan datos históricos y actuales para establecer asociaciones entre el comportamiento energético y los parámetros operacionales. Este enfoque permite identificar tendencias y posibles áreas de mejora en la gestión energética, contribuyendo a la implementación efectiva de la norma ISO 50001 en la empresa objeto de estudio. La elección de este tipo de investigación responde a la necesidad de comprender cómo las prácticas operativas y las características técnicas de

los equipos influyen en la eficiencia energética, sin intervenir directamente en los procesos, lo que asegura la objetividad y aplicabilidad de los resultados.

### **3.2.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos.**

El método seleccionado para esta investigación es correlacional retrospectivo, dado que se pretende analizar la relación entre el consumo energético y los parámetros operacionales a partir de datos históricos y actuales. Este método permite identificar patrones y asociaciones entre variables críticas sin intervenir en los procesos productivos, lo que asegura la objetividad y la validez de los resultados. Además, para la construcción del marco teórico y la fundamentación conceptual se emplearon métodos teóricos como el método histórico-lógico, que permitió comprender la evolución de la gestión energética y la implementación de la norma ISO 50001 en el contexto industrial, y el método analítico-sintético, utilizado para descomponer los elementos que inciden en la eficiencia energética y posteriormente, integrarlos en un modelo coherente. También se aplicó el método deductivo, que facilitó la derivación de principios generales hacia casos específicos en la empresa objeto de estudio, asegurando que las conclusiones se basen en fundamentos normativos y científicos sólidos. La combinación de estos métodos garantiza una aproximación integral que articula la evidencia empírica con el sustento teórico, contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas alineadas con los lineamientos de la norma ISO 50001:2019.

Para garantizar la validez y confiabilidad de la información, se emplearán diferentes técnicas según cada objetivo específico. Para el primer objetivo, que consiste en caracterizar energéticamente la instalación experimental, se aplicará la técnica de observación sistemática de los procesos y la medición directa de variables energéticas. Para el segundo objetivo, orientado al diseño de un sistema de gestión energética que integre correlaciones entre parámetros operacionales y consumo energético, se utilizará la técnica de análisis estadístico y correlacional, apoyada en herramientas multivariantes para identificar relaciones significativas. Finalmente, para el tercer objetivo, que busca implementar el diseño del sistema conforme a la norma ISO 50001:2019, se empleará la

técnica de observación directa no intrusiva, complementada con análisis documental, lo que permitirá evaluar las prácticas cotidianas del personal sin alterar su comportamiento.

Los instrumentos de recolección de datos se seleccionaron para garantizar mediciones precisas y confiables, en concordancia con los lineamientos de la norma ISO 50001:2019 y las recomendaciones de estudios recientes sobre gestión energética industrial (Bruni et al., 2021; Fuchs et al., 2023; Grimaccia et al., 2023) . Entre ellos se incluyen medidores de potencia, voltaje y corriente para cuantificar el consumo energético, formatos de registro para documentar datos históricos, software especializado para análisis estadístico y modelado energético, listas de verificación para evaluar el cumplimiento normativo y encuestas estructuradas para conocer las prácticas relacionadas con el uso eficiente de la energía, así como reportes de auditoría interna para validar la aplicabilidad del sistema propuesto. La combinación de estos instrumentos permitirá construir indicadores de desempeño energético (EnPI) y establecer áreas de uso significativo de energía, contribuyendo a la mejora continua y a la optimización del consumo en procesos productivos.

En el desarrollo de la investigación, la observación directa no intrusiva se aplicó durante jornadas normales de trabajo en la planta, lo que permitió identificar prácticas operacionales relacionadas con el uso de maquinaria, la organización de turnos y la interacción entre el personal. Este procedimiento fue clave para comprender la dinámica del proceso productivo y evidenciar comportamientos asociados a la cultura de ahorro energético o al uso ineficiente de la energía, constituyendo un insumo fundamental para el diseño del cuestionario aplicado posteriormente. La encuesta, como segundo instrumento, se diseñó para recolectar información directamente del personal, mediante preguntas concisas y cerradas orientadas a obtener indicadores y datos clave sobre las prácticas cotidianas y el nivel de conocimiento respecto al uso eficiente de la energía. Su estructura se fundamentó en las variables definidas en la matriz de operacionalización y en el documento maestro, asegurando coherencia con los objetivos del estudio.

Complementariamente, se utilizaron dispositivos de medición eléctrica como medidores de potencia, voltaje y corriente, que permitieron cuantificar el consumo energético de los equipos involucrados en los procesos productivos. Estos datos se integraron con registros

históricos y fueron procesados mediante software especializado para análisis estadístico y modelado energético, lo que facilitó la construcción de indicadores de desempeño energético y la identificación de áreas de uso significativo de energía. La combinación de estos instrumentos garantizó una aproximación integral al fenómeno, contribuyendo a la mejora continua y a la optimización del consumo conforme a los lineamientos de la norma ISO 50001:2019.

### **3.2.3. Desarrollo de instrumentos de obtención de datos**

La presente sección describe el desarrollo de los instrumentos diseñados para la recolección de información necesaria en el análisis del comportamiento energético de la planta industrial. Estos instrumentos fueron seleccionados y adaptados con el propósito de seguir los lineamientos de la norma ISO 50001:2019 y acorde a los objetivos específicos del estudio. A continuación, se detallan los mecanismos empleados para la medición y registro, que incluyen instrumentos mecánicos y electrónicos para la captura de variables energéticas, así como herramientas orientadas a la evaluación de prácticas operacionales y culturales, tales como la Encuesta de Práctica Energética y el Formato de Registro de Práctica Operacional Energética. Cada uno de estos instrumentos cumple una función complementaria en la caracterización integral del sistema productivo, permitiendo obtener información técnica y conductual que sustente el diseño del modelo de gestión energética propuesto.

#### **3.2.3.1 Instrumentación y aplicación de dispositivos mecánicos y electrónicos.**

Estos instrumentos incluyen todas las herramientas y equipos eléctricos para la medición de las variables operativas (intensidad, voltaje, potencia, geometría inicial y final, entre otros) de los diversos procesos productivos que se manejan en el sector. Esto incluye el calibrador, el amperímetro, torquímetro, pirómetro y cronómetro. Esta información recolectada con estos instrumentos será analizada mediante formatos. A continuación, se

describe cada formulario, estos se pueden encontrar en la sección de anexos del documento:

### **3.2.3.2 Encuesta Práctica Energética**

La Encuesta de Práctica Energética (Anexo 1) es un instrumento diseñado para recolectar información sobre el nivel de conocimiento, las prácticas cotidianas y la percepción de los trabajadores respecto al uso eficiente de la energía en la empresa. Este instrumento complementa la técnica de observación directa, aportando una visión organizacional y cultural que resulta esencial para la implementación de un sistema de gestión energética conforme a la norma ISO 50001:2018.

La encuesta está estructurada en nueve preguntas que abarcan tres dimensiones fundamentales:

- Conocimiento normativo y capacitación

Las preguntas 5, y 7 indagan si el trabajador conoce la norma ISO 50001 y si ha recibido formación sobre el uso eficiente de la energía y la operación adecuada de equipos. Esta información permite evaluar el grado de sensibilización y preparación del personal, aspectos críticos para la adopción de prácticas sostenibles y la mejora continua.

- Prácticas operativas y hábitos energéticos

Las preguntas 6, 9 y 10 exploran la frecuencia con la que se aplican prácticas de eficiencia energética durante la jornada laboral, así como conductas específicas que pueden generar desperdicio energético (por ejemplo, dejar equipos encendidos sin uso o puertas abiertas con aire acondicionado funcionando). Además, se indaga sobre la periodicidad del mantenimiento preventivo, lo cual influye directamente en la eficiencia de los equipos.

- Contexto laboral y percepción de mejora

Las preguntas 8, 11, 12 y 13 permiten identificar el área funcional del trabajador, la cantidad de equipos eléctricos que opera y su percepción sobre la posibilidad de mejorar las prácticas energéticas en la empresa. Estos datos son relevantes para segmentar la información por departamentos y diseñar estrategias específicas de intervención.

El propósito de esta encuesta es doble: por un lado, recopilar datos cuantitativos sobre hábitos y conocimientos; por otro, generar insumos cualitativos que permitan comprender la cultura organizacional en torno al uso de la energía. Esta información será clave para:

- Diseñar programas de capacitación focalizados.
- Identificar brechas entre la política energética y las prácticas reales.
- Proponer acciones correctivas y preventivas alineadas con la norma ISO 50001.

La aplicación de la encuesta se realizará de manera estructurada, garantizando la confidencialidad de las respuestas y la representatividad de la muestra. Los resultados se analizarán mediante técnicas estadísticas descriptivas y correlacionales, lo que permitirá establecer relaciones entre el conocimiento normativo, las prácticas operativas y la percepción de mejora.

En conjunto con la observación directa, la encuesta aporta una visión integral del comportamiento energético en la empresa, abarcando tanto los aspectos técnicos como los culturales. Esta combinación metodológica asegura que las recomendaciones y el diseño del sistema de gestión energética se fundamenten en evidencia empírica y en las mejores prácticas internacionales, contribuyendo a la mejora continua y a la optimización del uso de la energía en procesos productivos.

Con el propósito de validar el instrumento diseñado, se solicitó la revisión a un grupo de expertos conformado por 4 doctores con amplia experiencia como investigadores y

trayectoria en la temática abordada en esta tesis doctoral. A continuación, se presenta una breve descripción del perfil de cada integrante del grupo evaluador:

Tabla 4. Descripción de perfil de los Evaluadores de la Encuesta de Práctica Energética

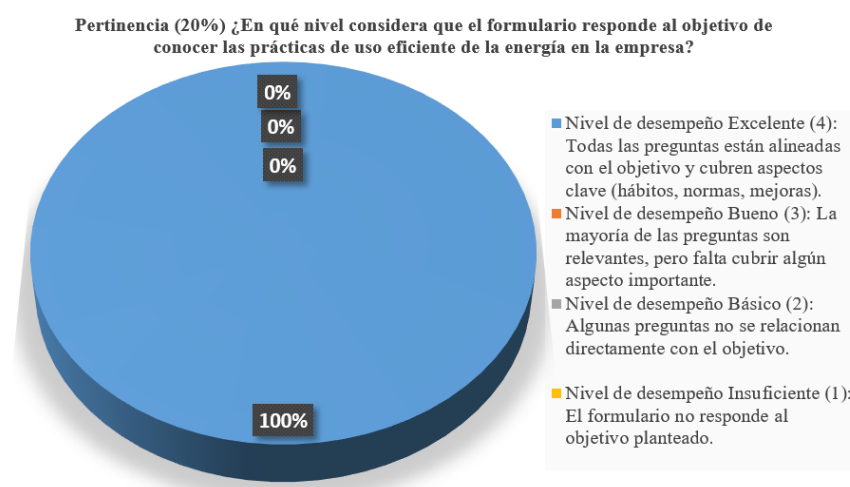
<b>NOMBRE DEL EVALUADOR</b>	<b>PERFIL</b>	<b>AÑOS DE EXPERIENCIA</b>
Ivan Rafael Tovar Ospino	<p>Doctor y Magíster en tecnologías de climatización y eficiencia energética en edificaciones. Magíster en eficiencia energética. Ingeniero mecánico.</p> <p>Investigador en optimización energética de procesos, energías renovables y uso racional de la energía.</p>	23 años
Argemiro Palencia Díaz	<p>Doctor en Ingeniería. Magíster en Ingeniería Mecánica. Ingeniero Mecánico.</p> <p>Investigador en el área de conversión de energías y modelado computacional de fenómenos asociados a la transferencia de energía y energías renovables.</p>	18 años
Mauricio Márquez Santos	<p>Doctor en Ciencias. Magíster en Educación. Especialista en Ingeniería de Procesos Industriales. Ingeniero Mecánico</p> <p>Investigador en diseño mecánico de maquinaria, equipos y procesos, mantenimiento y montaje de equipos industriales, automatización y control, y proyectos de ingeniería.</p>	26 años
Wilman Antonio Orozco Lozano	<p>Doctor en gerencia y ciencia. Magister en Ingeniería Mecánica. Especialista en computación para la docencia. Especialista en gerencia de la calidad. Ingeniero Mecánico.</p> <p>Investigador en las áreas de térmicas, diseño mecánico. procesos de manufactura y mecánica de fluidos.</p>	23 años

Fuente: Elaboración Propia.

La aplicación del instrumento se llevó a cabo durante una semana, con una duración máxima estimada de 30 minutos por participante, considerando que los evaluadores

debían haber revisado previamente el formulario de práctica energética a calificar. Para su implementación se empleó la herramienta Microsoft Forms (ver Anexos 2 y 3), cuyo enlace fue compartido por correo electrónico junto con el instrumento, con el propósito de facilitar su diligenciamiento. La evaluación se realizó conforme a los siguientes criterios y sus respectivos pesos: pertinencia (20%), viabilidad (25%), funcionalidad (20%), contribución (20%) y comunicación (15%). Cada uno de estos criterios fue valorado según un nivel de desempeño y correspondiente valor que son: insuficiente (valor 1), básico (valor de 2), bueno (valor de 3) y excelente (valor de 4). Esta ponderación permitió estimar la valoración global del instrumento. A continuación, se presenta los resultados del proceso de evaluación:

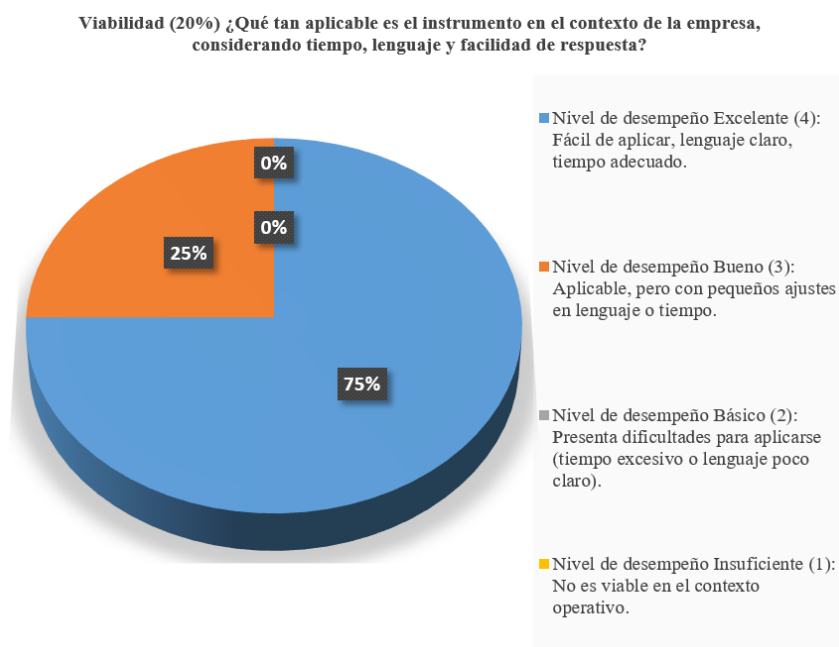
Figura 12. Valoración de la pertinencia de la encuesta práctica energética



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 12 se aprecia que el instrumento fue calificado como Excelente en relación con el criterio de pertinencia. Este resultado evidencia que las preguntas del instrumento están plenamente alineadas con el objetivo propuesto y abordan de manera integral aspectos relacionados con hábitos, normas y oportunidades de mejora.

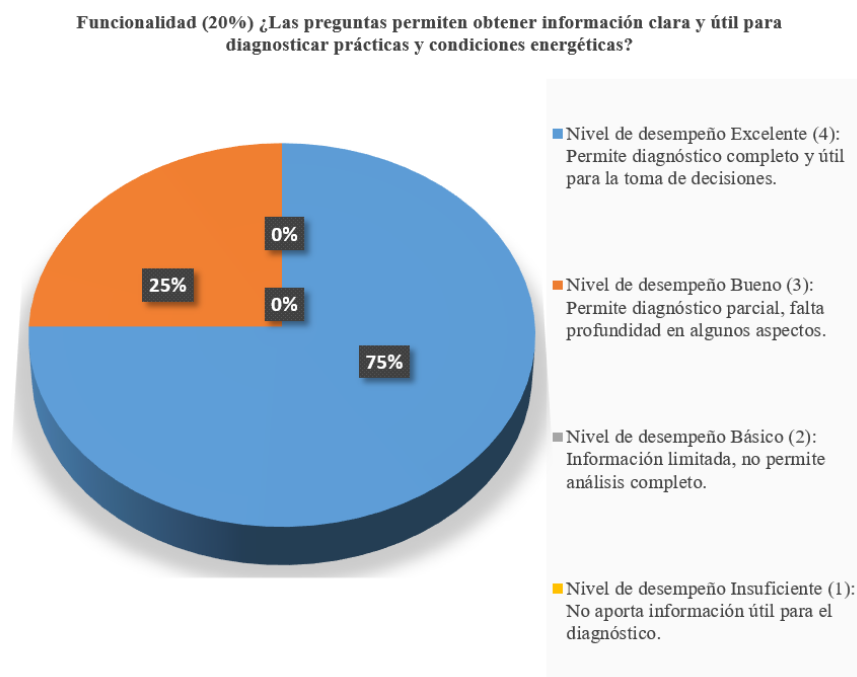
Figura 13. Valoración de la Viabilidad de la encuesta práctica energética



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 13 se observa que el instrumento fue calificado por un 25% de los encuestados como bueno y por un 75% restante como excelente en relación con el criterio de viabilidad. Este resultado evidencia que el instrumento cuenta con un lenguaje adecuado que permite su comprensión y aplicación en el tiempo establecido.

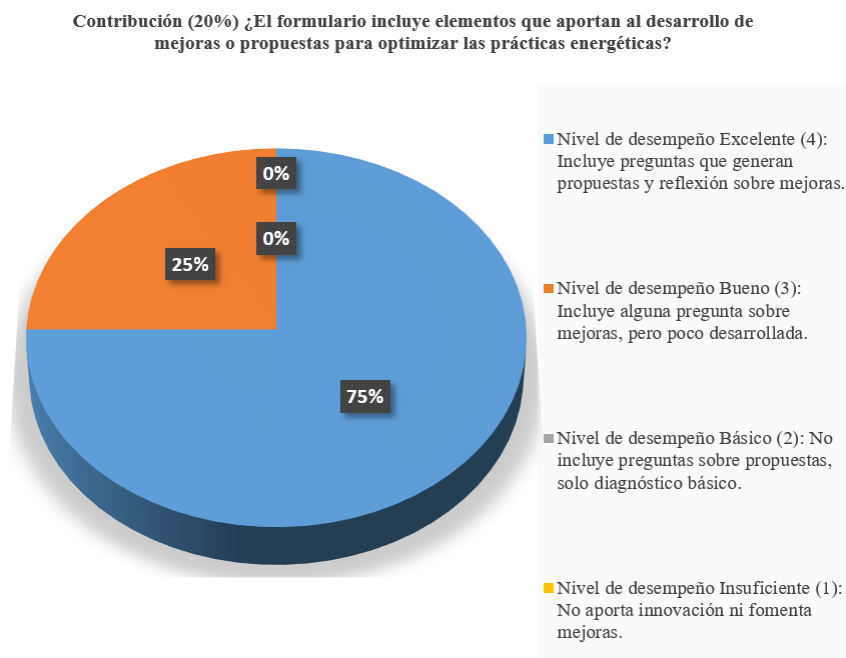
Figura 14. Valoración de la funcionalidad de la encuesta práctica energética



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 14 se presenta la valoración del instrumento según el criterio de funcionalidad, donde el 25% de los encuestados lo calificó como Bueno y el 75% restante como Excelente. Este resultado evidencia que el instrumento proporciona información confiable y relevante, lo que favorece una adecuada toma de decisiones.

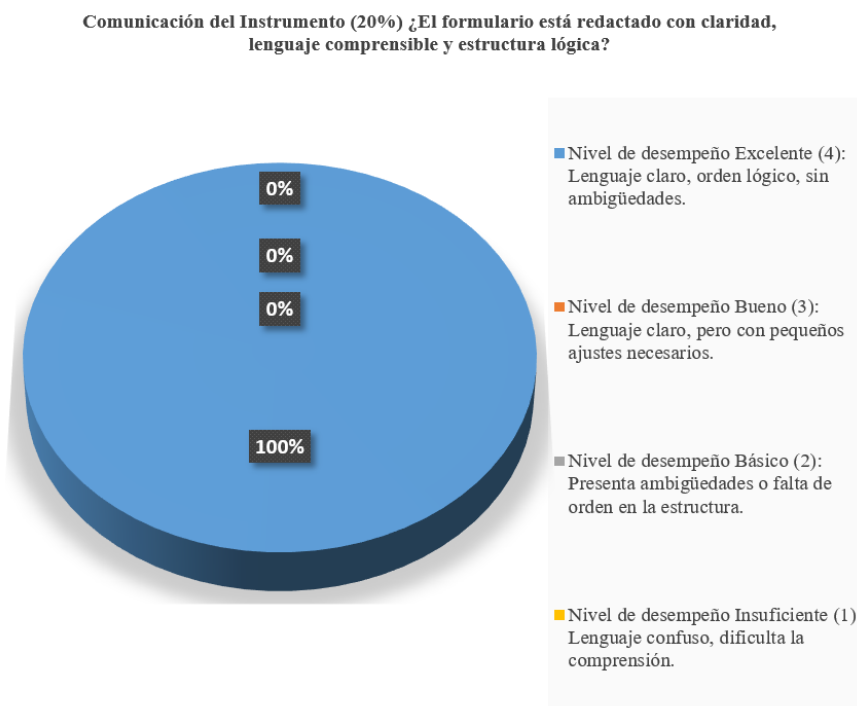
Figura 15. Valoración de la contribución de la encuesta práctica energética



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 15 se muestra la valoración del instrumento respecto al criterio de contribución, donde el 25% de los encuestados lo calificó como Bueno y el 75% restante como Excelente. Este resultado indica que el instrumento aporta significativamente al diseño de mejoras y propuestas orientadas a optimizar las prácticas de uso eficiente de la energía.

Figura 16. Valoración de la contribución de la encuesta práctica energética



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 16 se muestra la valoración del formulario respecto al criterio de comunicación del instrumento, donde el 100% de los encuestados lo calificó como Excelente. Este resultado confirma que el instrumento posee una estructura bien organizada y una presentación clara de la información, lo que facilita su diligenciamiento.

La valoración global del instrumento denominado Encuesta de Práctica Energética alcanzó un puntaje promedio de 3.85, lo que lo ubica en la categoría Sobresaliente. Este resultado confirma que el instrumento cumple de manera integral con los criterios establecidos para su evaluación, garantizando su pertinencia, viabilidad, funcionalidad, contribución y comunicación. En consecuencia, se considera adecuado para apoyar

procesos de análisis y toma de decisiones orientadas a la optimización de las prácticas energéticas.

### **3.2.3.3 Formato de Registro de Práctica Operacional Energética**

El Formato de Registro de Práctica Operacional Energética (Anexo 4) es un instrumento diseñado para documentar de manera sistemática las condiciones operativas de los equipos utilizados en la planta industrial durante el periodo de investigación. Este registro constituye una herramienta fundamental para la caracterización energética, ya que permite correlacionar el comportamiento de los equipos con los patrones de consumo eléctrico y las prácticas operativas aplicadas por los trabajadores.

El formato diseñado para el registro de prácticas operacionales energéticas contempla campos específicos que permiten capturar información técnica y contextual de manera estructurada. En primer lugar, incluye datos generales como el nombre de la empresa, el operador, la jornada laboral, el departamento o área de trabajo y el periodo de investigación, lo que facilita la identificación del contexto en el que se desarrolla la operación. También incorpora la identificación del equipo, especificando su tipo y modelo, con el fin de clasificarlo según su tecnología y características técnicas. Para garantizar la trazabilidad temporal, se registran la fecha y la hora de inicio y finalización de cada operación, información esencial para calcular tiempos de uso y establecer correlaciones con el consumo energético. Asimismo, se documenta el modo de operación, indicando si es manual, automático o semiautomático, lo que permite analizar la influencia del tipo de control en la eficiencia energética. Finalmente, se consignan las mediciones de parámetros eléctricos como voltaje (V) y corriente (A), fundamentales para estimar la potencia y el consumo energético durante la operación, junto con la identificación del responsable del registro, que asegura la confiabilidad y la trazabilidad de la información recolectada.

Este formato tiene como objetivo principal generar una base de datos confiable que permita:

- Analizar el comportamiento energético de los equipos en condiciones reales de operación.
- Identificar prácticas operativas que impactan el consumo energético.
- Construir indicadores de desempeño energético (EnPI) alineados con la norma ISO 50001:2018.
- Detectar oportunidades de mejora en la gestión de la energía, tanto a nivel técnico como organizacional.

La información obtenida mediante este registro será complementada con los datos de la observación directa y la encuesta de prácticas energéticas, lo que permitirá una visión integral del uso de la energía en la planta. Este enfoque metodológico asegura que las recomendaciones y el diseño del sistema de gestión energética se fundamenten en evidencia empírica, contribuyendo a la mejora continua y a la optimización del uso de la energía en procesos productivos.

#### **3.2.4. Determinación de la muestra y su criterio de selección.**

La investigación se orienta a determinar las características operacionales y culturales relacionadas con el uso de la energía en una planta industrial dedicada a procesos de manufactura de metales. Estos procesos están condicionados por los equipos existentes en la planta y por un grupo reducido de operarios encargados de ejecutar las órdenes de trabajo. En este contexto, la muestra se declara no probabilística, dado que se aplicará el instrumento de encuesta (Anexo 1) a todos los operarios de la planta y se analizarán todos los equipos que se energicen con electricidad, según el instrumento descrito en el Anexo 4.

No obstante, es obligatorio definir y delimitar la población mediante criterios de inclusión, exclusión y eliminación, los cuales se establecen de la siguiente manera:

#### **3.2.4.1 Criterios de Inclusión**

- Personal operativo directo que trabaja en jornadas fijas dentro de la empresa, evitando incluir trabajadores ocasionales o temporales.
- Operarios que interactúan directamente con los procesos productivos en estudio y que operan equipos eléctricos en la planta.

#### **3.2.4.2 Criterios de Exclusión**

- Personal administrativo propio o externo que no tenga relación directa con el área de producción.
- Personal de ventas, mercadeo u otras áreas que no intervienen en la operación de equipos ni en la gestión energética.





#### **3.2.4.3 Criterios de Eliminación**

- Equipos no eléctricos, dado que el estudio se centra en el consumo energético asociado a la electricidad.
- Equipos que se encuentren bajo mantenimiento externo durante el periodo de investigación, ya que no reflejan condiciones normales de operación.

La aplicación de estos criterios garantiza que la información recolectada sea representativa del comportamiento energético real de la planta y de las prácticas culturales asociadas al uso de la energía. El propósito central es obtener datos que permitan caracterizar la interacción entre los equipos eléctricos y las prácticas operativas, así como identificar oportunidades de mejora alineadas con la norma ISO 50001:2018. Esta delimitación asegura que los resultados sean pertinentes para la toma de decisiones estratégicas y para el diseño de un sistema de gestión energética ajustado a las necesidades de la empresa.

La muestra se describe a continuación:

Tabla 5. Característica población de estudio.

Información de los trabajadores participantes del estudio			
Operaciones de los procesos productivos	Equipos y maquinas herramientas de manufactura	Personal que desarrolla los procesos	VARIABLES a medir.
Procesos de mecanizado en torno	 <p>The skill operator working with lathe machine. [Fotografía], por Phuchit s.f, Canva (<a href="https://www.canva.com/photos/MADUKRK3dtU-the-skill-operator-working-with-lathe-machine-/">https://www.canva.com/photos/MADUKRK3dtU-the-skill-operator-working-with-lathe-machine-/</a>)</p>	2 Operarios de torno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencia mecánica del proceso.</li> <li>✓ Voltaje.</li> <li>✓ Corriente eléctrica.</li> <li>✓ Tiempo de operación (horas)</li> </ul>
Procesos de mecanizado en fresadora	 <p>Operador de fresadora. [Fotografía], por Industrial Photograph s.f, Canva (<a href="https://www.canva.com/photos/MACdbWy_hk-milling-machine-operator/">https://www.canva.com/photos/MACdbWy_hk-milling-machine-operator/</a>)</p>	1 Operador de fresadora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencia mecánica del proceso.</li> <li>✓ Voltaje.</li> <li>✓ Corriente eléctrica.</li> <li>✓ Tiempo de operación (horas)</li> </ul>
Procesos de mecanizado en taladro	 <p>Teenage apprentice Operating Machinery In Factory. [Fotografía], por MachineHeadz s.f, Canva (<a href="https://www.canva.com/photos/MAEEVKH0gc1-teenage-apprentice-operating-machinery-in-factory/">https://www.canva.com/photos/MAEEVKH0gc1-teenage-apprentice-operating-machinery-in-factory/</a>)</p>	2 Auxiliares de taller. 1 Ayudante	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencia mecánica del proceso.</li> <li>✓ Voltaje.</li> <li>✓ Corriente eléctrica.</li> <li>✓ Tiempo de operación (horas)</li> </ul>
Procesos de Unión por soldadura	 <p>Mujer soldadora soldando. [Fotografía], por mady70 s.f, Canva (<a href="https://www.canva.com/photos/MADasMUOQOk/">https://www.canva.com/photos/MADasMUOQOk/</a>)</p>	2 Operadores de procesos de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencia mecánica del proceso.</li> <li>✓ Voltaje.</li> <li>✓ Corriente eléctrica.</li> <li>✓ Tiempo de operación (horas)</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).

En la primera etapa del desarrollo el trabajo de campo se inicia con la caracterización energética de la tecnología, máquinas y herramientas que se emplean en las operaciones que se llevan a cabo en los procesos productivos de la empresa. Esta caracterización parte de una revisión bibliográfica de los estudios que evalúan la eficiencia energética de procesos productivos a nivel industrial y se establece un marco de trabajo bajo los lineamientos de la norma NTC - ISO 50001 del 2019. Para esto se llevó a cabo una visita a la planta y realizo el registro de la información conforme al formato creado para la documentación de las instalaciones, en este se establecieron los rangos de trabajo de las variables de las distintas operaciones, si como las características de los equipos.

Figura 17. Instalaciones de la empresa metalmecánica en estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18. Zona de Producción Operaciones de Mecanizado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 19. Zona de Producción Operaciones de Soldadura.



Fuente: Elaboración Propia.

La empresa brindará el escenario de validación del modelo matemático. Posteriormente, se aplica la normativa ajustando el modelo conforme los parámetros, y la dinámica operacional del sector y de la empresa; obteniendo así, la cantidad de energía no asociada a proceso. Este valor se relacionará con los hábitos, métodos y prácticas laborales de la empresa para establecer políticas de mejora energética y uso racional de la energía mediante el instrumento.

En la segunda etapa del proyecto se ha aplicado la metodología a una muestra de datos para los cuales se identificaron las operaciones más significativas a nivel de consumo, los parámetros que determinan la demanda energética de los procesos de manufactura empleados y la energía no asociada al proceso. Se obtienen para la muestra de datos los siguientes indicadores energéticos como son: línea base, línea meta, relación de consumo vs producción, línea de tendencia y energía no asociada al proceso.

Una vez se obtienen estos datos es posible establecer los índices de consumo, indicadores de eficiencia, energía no asociada al proceso y gráficos de tendencia.

### **3.3.1 Aplicación de los instrumentos**

Durante la aplicación de los instrumentos se desarrolló la medición sin mayores inconvenientes, logrando obtener datos precisos sobre las variables operacionales y el consumo energético. El principal reto consistió en dar seguimiento a procesos continuos y diversos, lo que exigió una atención constante a la demanda de producción y, en algunos casos, la extensión de las jornadas de trabajo, incluyendo horas de almuerzo y tiempo adicional. Para garantizar la validez del plan de trabajo y la correcta secuencia de mediciones, fue fundamental mantener una comunicación continua con los operarios, lo que permitió coordinar el seguimiento del plan de producción planificado sin afectar la dinámica normal de la planta. Esta interacción resultó clave para ajustar tiempos y asegurar que las mediciones se realizaran en los momentos adecuados, evitando interrupciones en la fabricación. A continuación, se presentan imágenes del proceso:

Figura 20. Medición de variables operaciones asociadas al consumo energético proceso de fresado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21. Medición de variables operaciones asociadas al consumo energético proceso de torneado.



Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a la ubicación de los dispositivos de medición, se priorizó la seguridad y la no interferencia con las operaciones, asegurando que la instalación de los equipos no alterara el flujo de trabajo ni generara riesgos para el personal. En las figuras 20 y 21 se puede evidenciar el uso de una pinza voltiamperimétrica para la medición.

Figura 22. Indicación al operario para el desarrollo de la encuesta de práctica energética.



Fuente: Elaboración Propia.

En relación con el cuestionario sobre prácticas energéticas, se elaboró una introducción precisa que proporcionó a los operarios la información necesaria para comprender el propósito del instrumento y responder con confianza. Para optimizar el proceso, la encuesta se aplicó durante una semana, con un tiempo máximo estimado de 45 minutos, de forma digital mediante la herramienta Microsoft Forms. Para ello, se utilizaron tabletas, teléfonos móviles y computadores, en espacios que no interfirieran con el desarrollo normal de la jornada laboral, lo que facilitó la participación del personal y redujo los tiempos de aplicación. Esta estrategia contribuyó significativamente a la eficiencia en el levantamiento de datos y a la aceptación del instrumento por parte de los trabajadores. En la figura 22, se puede observar el proceso de indicación brindado a un operario antes de iniciar el diligenciamiento de la encuesta (Anexo 1). En conjunto, la experiencia confirmó la pertinencia de los instrumentos y la efectividad de las estrategias implementadas para su aplicación, garantizando la obtención de información confiable y relevante para el análisis del comportamiento energético y la propuesta del modelo de gestión conforme a la norma ISO 50001:2019.

### **3.3.2 Procesamiento de la información**

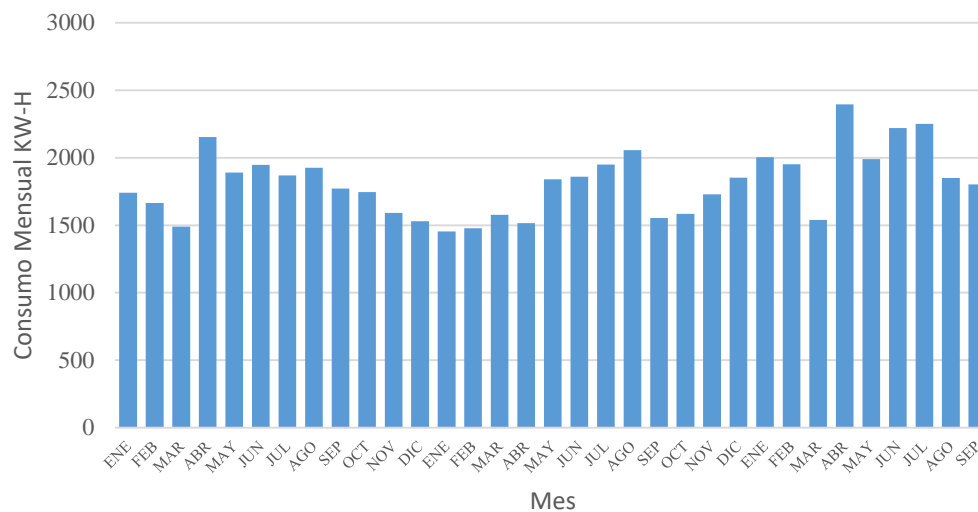
Una vez recopilada la información, se procedió a su procesamiento y análisis de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma ISO 50001:2019.

#### **3.3.3.1 Implementación de la Norma ISO 50001 del 2019**

Con el propósito de cumplir con los objetivos de este estudio se realiza la aplicación de la norma ISO 50001 de 2019 en la caracterización del consumo eléctrico vs. Costo de Trabajo Equivalente en una empresa del sector Metalmecánico, en la cual se emplea un modelo de regresión lineal que correlaciona variables dependientes e independientes, siendo para el caso de estudio los correspondientes al consumo energético de la planta procedente del registro de consumos a partir de los recibos de energía y el historial de los costos de los servicios metalmecánicos generados mes a mes.

La empresa metalmecánica en estudio trabaja 4 tipos principales de procesos de manufactura, la soldadura como proceso de conformación y unión, los procesos de remoción de material como son el torneado y el fresado, y los procesos secundarios empleados como apoyo a los principales conformados por el pulido, el corte y el taladrado. Es importante establecer que los servicios prestados por la compañía no obedecen a una tipología establecida de producto, sino que por el contrario se adaptan a la demanda del mercado. A partir del historial de registro de los servicios brindados y el consumo eléctrico mensual correspondientes al periodo de enero del año 2023 a septiembre del 2025 se relacionan los siguientes gráficos como punto de partida para su análisis.

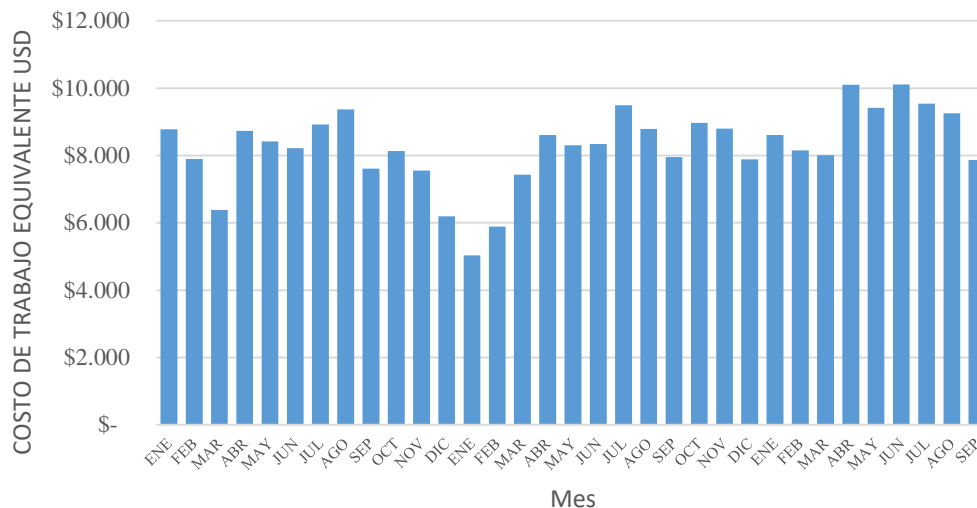
Figura 23. Consumo eléctrico de industria metalmeccánica mes a mes periodo enero 2023 a septiembre 2025 (Datos iniciales).



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 23 se observa el consumo de energía a lo largo del periodo de estudio presenta variaciones moderadas durante la mayoría de los meses, manteniéndose generalmente entre 1500 y 2000 kW·h. Sin embargo, destaca un incremento significativo en abril de 2025, donde el consumo supera los 2400 kW·h, constituyendo el valor más alto del período analizado. Por el contrario, el consumo más bajo se registra en marzo de 2023, con un valor cercano a los 1400 kW·h. Este comportamiento sugiere fluctuaciones asociadas a la operación de la planta.

Figura 24. Costos servicios metalmecánicos mes a mes periodo enero 2023 a septiembre 2025 (Datos iniciales).



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 24 muestra el costo de trabajo equivalente a lo largo del periodo de estudio. Este presenta variaciones, manteniéndose con valores entre \$5000 USD y \$10000 USD, siendo el decremento más llamativo en enero del 2024 donde alcanzo el valor más bajo de \$5000 USD. Así mismo, los meses de abril y junio del 2025, presentaron los mayores valores registrados de \$10.000 USD.

### 3.4. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.

#### 3.4.1. Datos iniciales y Datos Filtrados – Línea base y Línea meta

Para implementar la metodología ISO 50001, es necesario identificar una variable asociada al proceso de producción que permita analizar el consumo energético. Dado que se dispone de los costos individuales de cada proceso, estos se han convertido en un costo equivalente representativo del proceso, facilitando la aplicación de la metodología. Estos datos descritos en la tabla 6 abarcan el período comprendido entre enero de 2023 y septiembre de 2025, proporcionando una base histórica sólida para el análisis.

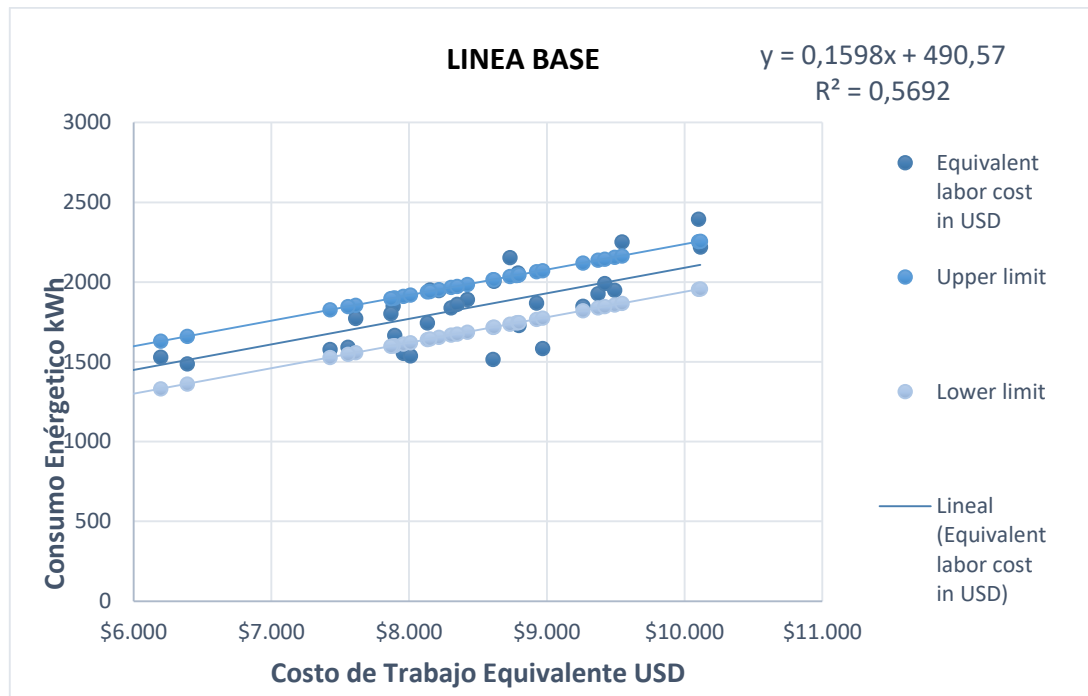
Tabla 6. Datos iniciales del consumo energético (kWh) vs el costo de trabajo equivalente (USD) en la empresa metalmecánica en estudio.

<b>MES</b>	<b>Consumo Mensual KW-H</b>	<b>COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD</b>
Jan-23	1740	\$ 8.778
Feb-23	1666	\$ 7.895
Mar-23	1489	\$ 6.389
Apr-23	2154	\$ 8.732
May-23	1891	\$ 8.423
Jun-23	1948	\$ 8.216
Jul-23	1869	\$ 8.923
Aug-23	1927	\$ 9.370
Sep-23	1773	\$ 7.611
Oct-23	1745	\$ 8.132
Nov-23	1592	\$ 7.554
Dec-23	1531	\$ 6.195
Jan-24	1455	\$ 5.038
Feb-24	1478	\$ 5.891
Mar-24	1578	\$ 7.426
Apr-24	1516	\$ 8.608
May-24	1840	\$ 8.304
Jun-24	1861	\$ 8.348
Jul-24	1950	\$ 9.491
Aug-24	2057	\$ 8.789
Sep-24	1554	\$ 7.957
Oct-24	1585	\$ 8.967
Nov-24	1729	\$ 8.795
Dec-24	1852	\$ 7.883
Jan-25	2005	\$ 8.614
Feb-25	1952	\$ 8.149
Mar-25	1539	\$ 8.009
Apr-25	2395	\$10.100
May-25	1991	\$ 9.419
Jun-25	2220	\$10.114
Jul-25	2252	\$ 9.544
Aug-25	1850	\$ 9.260
Sep-25	1802	\$ 7.866

Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 25 muestra el consumo eléctrico mensual en función de las unidades de producción, destacando un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,5692. Este valor indica una correlación fuerte, acorde con los estándares establecidos por la norma.

Figura 25. Línea base de la relación entre consumo energético (kWh) vs costo de trabajo equivalente USD.



Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis de los datos de la correlación anterior, se obtiene la siguiente ecuación:

$$E_{elect.} = \frac{(0,1598C_{Equivalente} + 490,57)kwh}{mes} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $C_{Equivalente}$  representa las unidades los costos equivalentes a los servicios metalmecánicos brindados mensualmente,  $E_{elect.}$  denota el consumo de energía expresado en kWh, mientras que el valor de 490.57 hace referencia a la Energía No

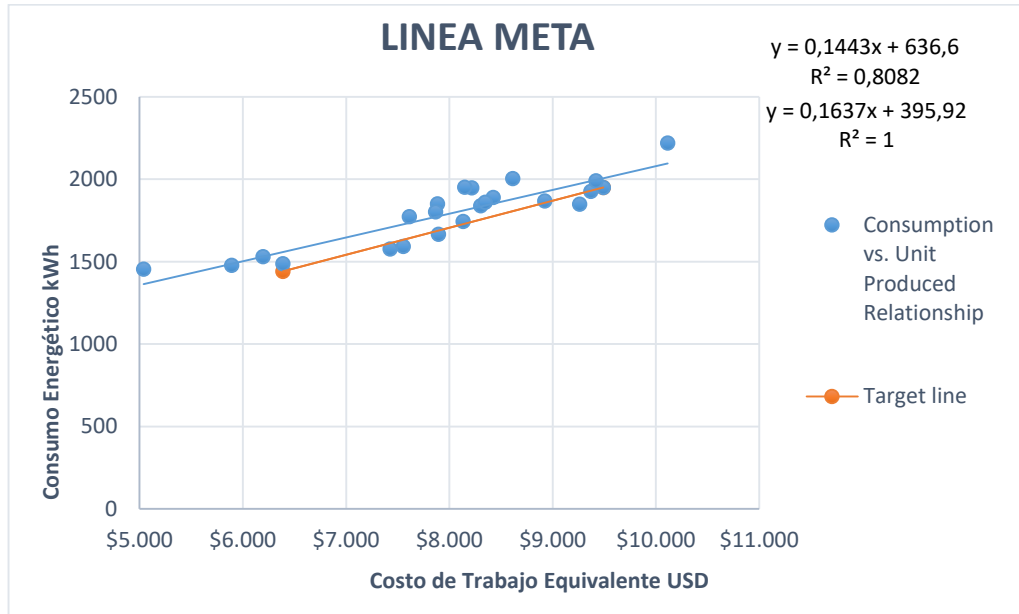
Asociada (ENA) al proceso productivo. Este valor depende de la operación de equipos cuyo consumo es independiente del nivel de producción mensual de la planta. Esto sugiere que la ENA está vinculada a equipos de consumo no relacionados directamente con la producción, como abanicos, lámparas de trabajo, y otros factores como retrasos operativos, entre otros.

La construcción de la línea base implica establecer una correlación mediante un análisis estadístico entre el consumo energético y el costo de trabajo equivalente. Este proceso permite ajustar el comportamiento de los datos generales. Para lograrlo, es necesario realizar una selección o filtrado de datos, estableciendo inicialmente la desviación estándar del conjunto. Se eliminan los valores que se encuentran 0,7 veces por encima o por debajo de la media calculada en la línea base de los datos originales. Esto genera una nueva correlación, denominada Línea Base de los Datos Filtrados. Como se observa en la Figura 26, la correlación de estos datos filtrados alcanza un valor de  $R^2$  de 0.8082, reflejando la precisión obtenida en el ajuste y una correlación muy fuerte según la norma.

$$E_{elect} = \frac{(0,1443C_{Equivalente} + 636.6)kWh}{mes} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde 0,1443 kWh/mes representa la energía eléctrica requerida para generar un USD por el trabajo realizado, mientras que 636.6 kWh/mes es la ENA a la producción Base en servicios metalmecánicos, el cual equivale al 35% del consumo promedio del periodo estudiado.

Figura 26. Línea meta de la relación entre consumo energético (kWh) vs costo de trabajo equivalente (USD)



Fuente: Elaboración Propia.

Cabe destacar que la dispersión de los datos de consumo se presenta para la empresa metalmecánica que es objetivo de estudio, por la alta variabilidad en los servicios y productos desarrollados. Lo que hace necesario tener una buena relación de datos que puedan cumplir con los criterios de la norma implementada.

Tabla 7. Consumo energía mensual y costo de trabajo equivalente del periodo en estudio (Datos Filtrados).

<b>MES</b>	<b>Consumo Mensual kWh</b>	<b>COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD</b>
Feb-23	1666	\$ 7.895
Mar-23	1489	\$ 6.389
May-23	1891	\$ 8.423
Jun-23	1948	\$ 8.216
Jul-23	1869	\$ 8.923
Aug-23	1927	\$ 9.370
Sep-23	1773	\$ 7.611
Oct-23	1745	\$ 8.132
Nov-23	1592	\$ 7.554
Dec-23	1531	\$ 6.195
Jan-24	1455	\$ 5.038
Feb-24	1478	\$ 5.891
Mar-24	1578	\$ 7.426
May-24	1840	\$ 8.304
Jun-24	1861	\$ 8.348
Jul-24	1950	\$ 9.491
Dec-24	1852	\$ 7.883
Jan-25	2005	\$ 8.614
Feb-25	1952	\$ 8.149
May-25	1991	\$ 9.419
Jun-25	2220	\$ 10.114
Aug-25	1850	\$ 9.260
Sep-25	1802	\$ 7.866

Fuente: Elaboración Propia.

La Línea Meta conserva la misma pendiente que la Línea Base, pero se ajusta restando la ENA del costo de trabajo equivalente, como se ilustra en la Figura 26. Por esta razón, la Línea Meta se interpreta como la ENA potencial de los datos que se encuentran por debajo de la Línea Base derivada del análisis estadístico. Estos datos, reflejados en la Tabla 7, corresponden a puntos que representan un costo de trabajo equivalente específico con consumos variables. Este análisis evidencia niveles de mayor o menor eficiencia en el consumo energético para la producción de un mes determinado.

Siguiendo este enfoque, la correlación de la Línea Meta es:

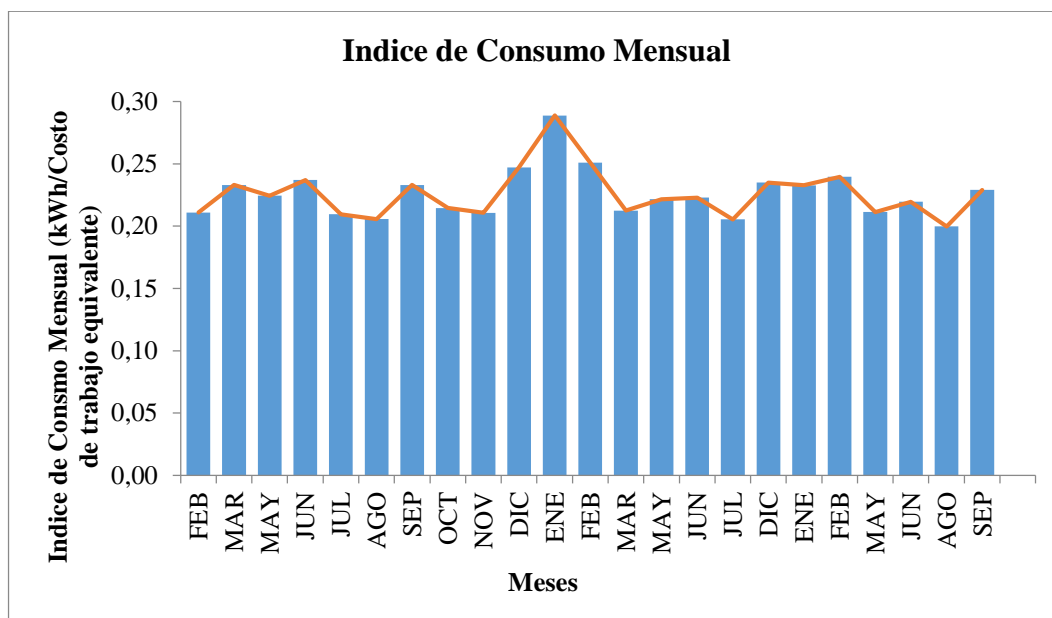
$$E_{elect} = \frac{(0,1637C_{Equivalente}+395.92)kWh}{mes} \quad \text{Ecuación 6}$$

En este caso, la energía requerida para producir una unidad se mantiene similar a la de la Línea Base de los Datos Filtrados. Por otro lado, la ENA correspondiente a la producción Meta es de 546,76 kWh/mes, representando el 32.25% del nuevo consumo promedio durante el período analizado de tres años. Esto sugiere que es posible alcanzar un ahorro energético del 5.64% mediante mejoras en la eficiencia.

### 3.4.2. Obtención del Índice de Consumo

El Índice de Consumo representa la proporción entre el consumo energético y el costo de trabajo equivalente mensual, evidenciando la variabilidad del consumo energético durante los años 2023 a 2025, como se ilustra en la Figura 27. Para construir esta gráfica, se calculó el índice real dividiendo el consumo energético por el costo de trabajo equivalente, lo que permitió analizar el comportamiento energético de la planta a lo largo del período de estudio. Este análisis identificó los meses de 2023, 2024, y 2025 con mayores consumos de energía y permitió determinar las causas detrás de los picos de ineficiencia energética que incrementaron los costos de facturación de la empresa.

Figura 27. Variación del Índice de consumo energético en el periodo 2023 al 2025



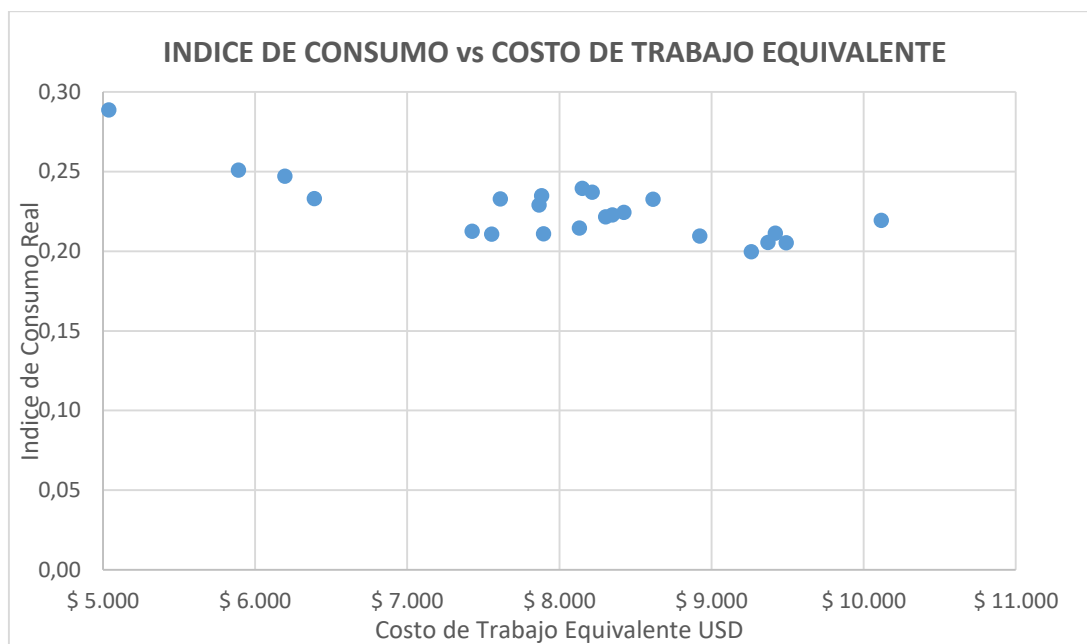
Fuente: Elaboración Propia.

A partir del concepto de línea base se establece el índice de consumo base o índice de consumo teórico. Lo que corresponde a la energía consumida por cada USD generado por los procesos productivos, como se detalla a continuación:

$$IC = \frac{E_{elect}}{C_{Equivalente}} = \frac{(0,1598-490.57)kWh}{C_{Equivalente}} \quad \text{Ecuación 7}$$

El incremento en los costos de energía por unidad producida se genera al dividir la "ENA" entre el "Costo de trabajo equivalente". Por lo tanto, a medida que aumenta la producción, el índice de consumo por unidad mensual disminuye, lo que refleja un mejor desempeño en el uso de la energía.

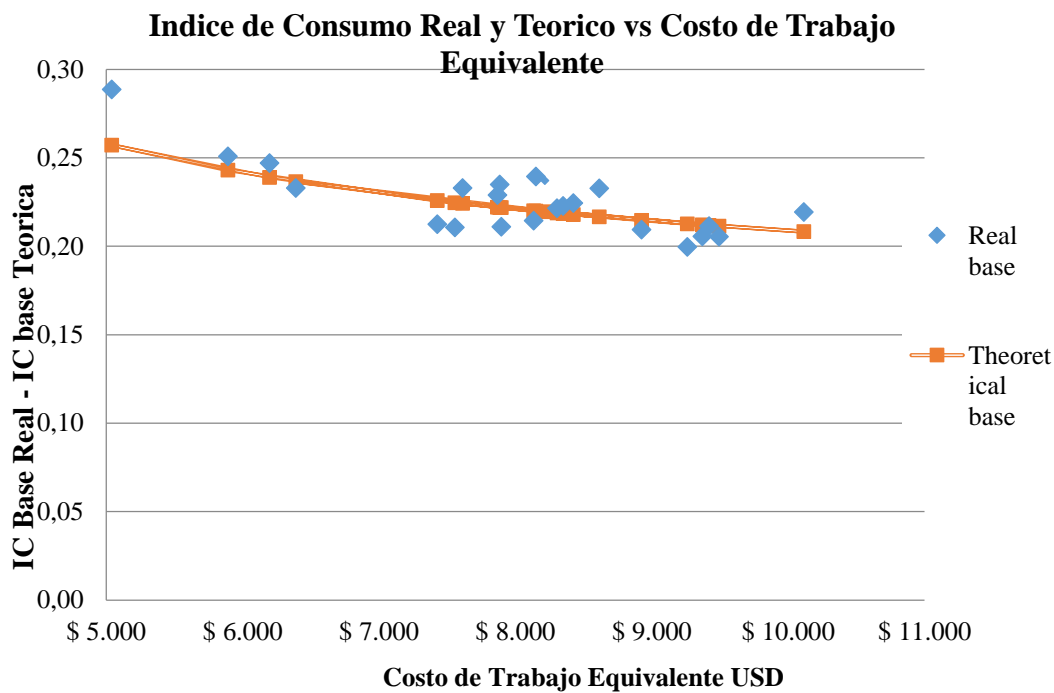
Figura 28. Índice de consumo real vs. costo de trabajo equivalente



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 28 es posible evidenciar como el índice de consumo fue menor para ciertos meses respecto al costo de trabajo equivalente. Por consiguiente, indica la eficiencia de algunos meses en comparación a otros. Siendo que el índice de consumo mínimo alcanzado es de 0.21 kWh/mes y el máximo de 0.29 kWh/mes debido al ENA.

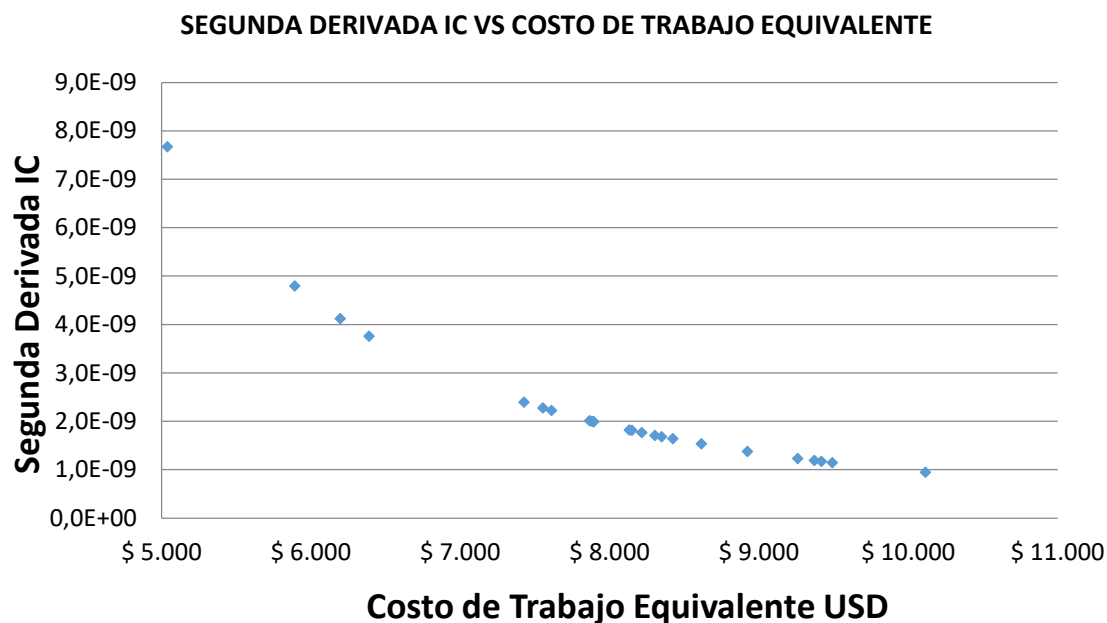
Figura 29. Índice de consumo real y teórico vs. costo de trabajo equivalente (USD).



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 29 se observa como disminuye la pendiente en los datos indicando una correlación entre el Índice de Consumo Real y el Índice Teórico para valores inferiores a \$10000 USD de costo de trabajo equivalente. Sin embargo, el realizar la segunda derivada permite establecer el “Punto de costo de trabajo equivalente crítico” y el “Potencial de Ahorro Posible”.

Figura 30. Segunda derivada Índice de consumo vs. costos de trabajo equivalente (USD)



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 30, permite observar que conforme al comportamiento de la gráfica al sobrepasar los \$10000 USD en costos de trabajo equivalente por mes, se podría alcanzar el potencial de ahorro de 110.13kWh/mes, que equivale al 6.14% del consumo mensual actual.

Tabla 8. Parámetros del costo de trabajo equivalente crítico

<b>PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN CRÍTICA</b>		
<b>PROMEDIO DE COSTOS EQUIVALENTE ACTUAL</b>	\$8.022,34	COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD/Mes
<b>TASA CRÍTICA DE COSTO EQUIVALENTE ACTUAL</b>	25,07	COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD/h.
<b>PROMEDIO DE IC REAL</b>	0,23	kWh/COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD
<b>PUNTO DE COSTO EQUIVALENTE CRÍTICA ESTIMADA</b>	\$9.370,48	COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD/Mes
<b>COSTO EQUIVALENTE CRÍTICO ESTIMADO</b>	29.28	COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD/h.
<b>POTENCIAL DE AHORRO</b>	110,13	kWh/Mes
<b>% AHORRO</b>	6,14	%

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4.3. Tendencia del Consumo Energético

Se establece el comportamiento del consumo energético de la planta en relación al costo de trabajo equivalente se observa al aplicar el costo equivalente real en la ecuación de línea base para el periodo de estudio 2023 a 2025 para determinar el Consumo teórico. Al determinar la resta entre el consumo real y el teórico se establecen los meses con mayor y menor rentabilidad.

Tabla 9. Valores de tendencia conforme al consumo mensual de energía y costo de trabajo equivalente.

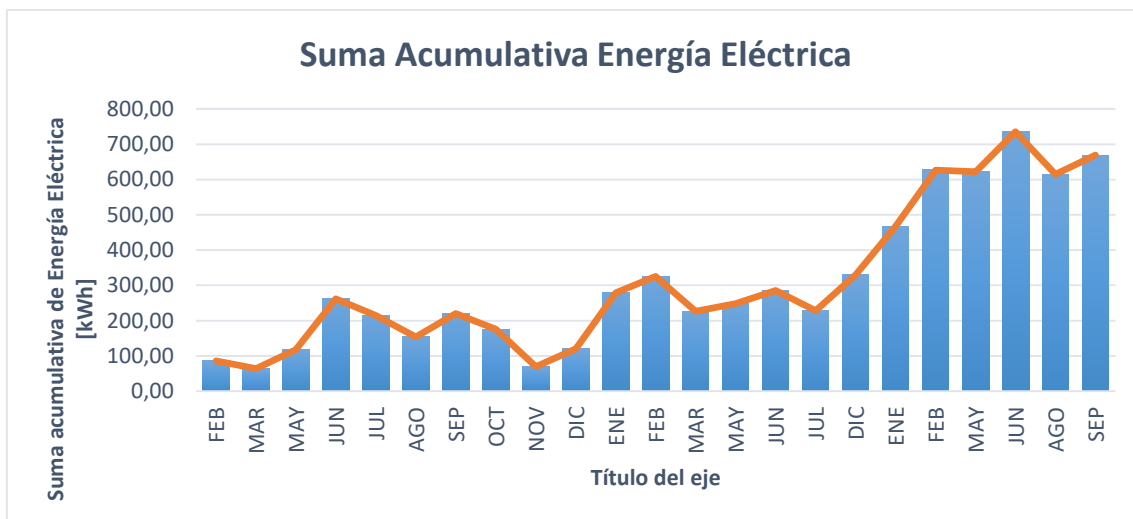
TABLA DE VALORES DE TENDENCIA						
No.	FECHA	Consumo Mensual kWh	COSTO DE TRABAJO EQUIVALENTE USD	CONSUMO TEORICO $E_t = m_l b * P + E_{o_l b}$	Ereal - Etend	SUMA ACUMULATIVA
1	Feb-23	1666	\$ 7.895	1752,19	86,29	86,29
2	Mar-23	1489	\$ 6.389	1511,46	-22,64	63,65
3	May-23	1891	\$ 8.423	1836,57	54,29	117,94
4	Jun-23	1948	\$ 8.216	1803,48	144,10	262,04
5	Jul-23	1869	\$ 8.923	1916,49	-47,01	215,02
6	Aug-23	1927	\$ 9.370	1987,97	-61,11	153,91
7	Sep-23	1773	\$ 7.611	1706,80	66,47	220,38
8	Oct-23	1745	\$ 8.132	1790,04	-45,04	175,33
9	Nov-23	1592	\$ 7.554	1697,76	-105,76	69,58
10	Dec-23	1531	\$ 6.195	1480,58	50,42	119,99
11	Jan-24	1455	\$ 5.038	1295,64	159,36	279,35
12	Feb-24	1478	\$ 5.891	1431,92	46,08	325,43
13	Mar-24	1578	\$ 7.426	1677,21	-99,21	226,22
14	May-24	1840	\$ 8.304	1817,61	22,39	248,61
15	Jun-24	1861	\$ 8.348	1824,52	36,48	285,09
16	Jul-24	1950	\$ 9.491	2007,22	-57,22	227,87

17	Dec-24	1852	\$ 7.883	1750,31	101,69	329,55
18	Jan-25	2005	\$ 8.614	1867,12	137,88	467,44
19	Feb-25	1952	\$ 8.149	1792,84	159,16	626,60
20	May-25	1991	\$ 9.419	1995,79	-4,79	621,80
21	Jun-25	2220	\$ 10.114	2106,85	113,15	734,96
22	Aug-25	1850	\$ 9.260	1970,40	-120,40	614,56
23	Sep-25	1802	\$ 7.866	1747,63	54,37	668,93

Fuente: Elaboración Propia.

La tendencia creciente y decreciente en la suma acumulativa figura 31, demuestra que el modo de operación de la planta metalmecánica no es estable, debido a que presenta picos de ineficiencia energética que demuestra que esos meses el consumo de energía fue alto con una baja o igual cantidad de unidades producidas.

Figura 31. Diferencia entre consumo real y consumo teórico - suma acumulativa energía eléctrica periodo 2023 al 2025.

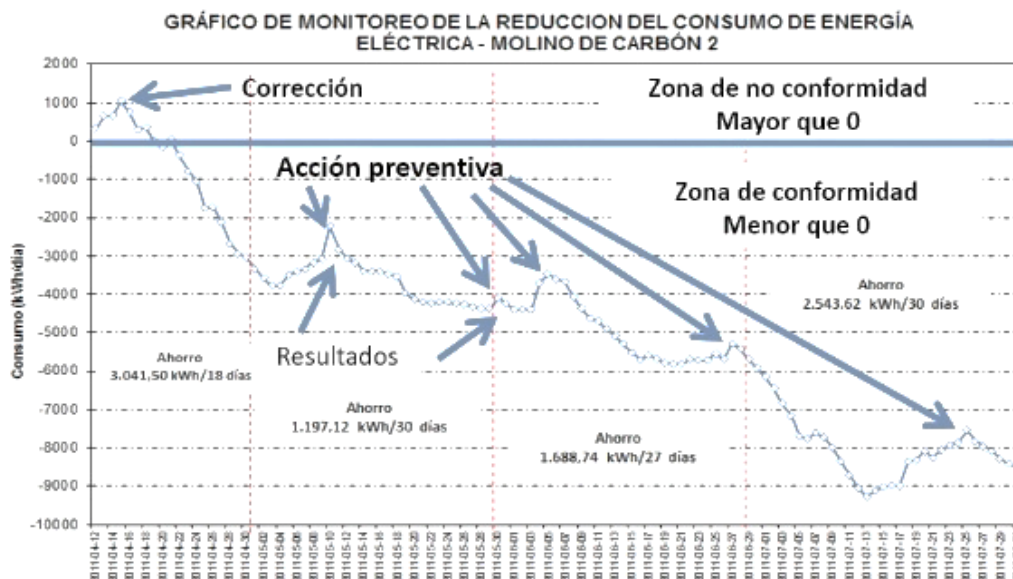


Fuente: Elaboración Propia.

En este gráfico se puede apreciar la tendencia incremental y decreciente en la suma acumulativa mostrando como la operación es fluctuante a lo largo del año, así mismo, los picos de ineficiencia describen los meses en los que los servicios prestados fueron igual o estuvieron por debajo de los costos equivalentes previos.

Si se analiza el comportamiento esperado de una empresa tras la implementación de medidas de gestión energética, se evidencian cambios progresivos en los procedimientos de producción, las prácticas operativas y la cultura organizacional de los empleados. En la Figura 32 se observa que una parte fundamental del proceso consiste en realizar un seguimiento continuo del consumo energético a lo largo del tiempo, con el propósito de efectuar los ajustes necesarios e identificar las acciones que generan un mayor impacto en el ahorro de energía. Aunque pueden presentarse incrementos ocasionales en el consumo, la detección temprana permite aplicar medidas correctivas oportunas.

Figura 32. Gráfico de control operacional según análisis de tendencia de la suma acumulativa (Consumo real – Consumo LB).



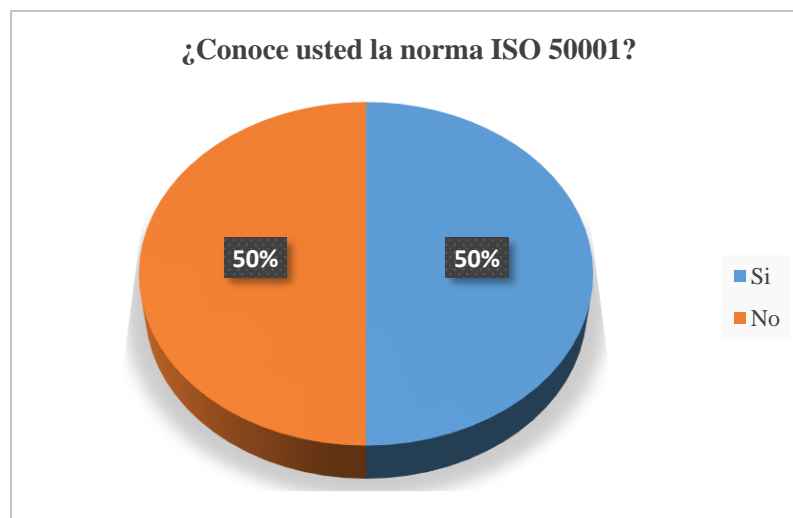
Fuente: (J. C. Campos, 2012)

Finalmente, el porcentaje promedio de ahorro alcanzado, equivalente al 6,14% mensual, representa el potencial de mejora obtenido mediante la gestión energética, y constituye una base sólida para continuar fortaleciendo esta línea de acción y explorar nuevas oportunidades de optimización.

La encuesta de práctica energética aplicada a los trabajadores de la empresa permitió recopilar información valiosa para identificar las acciones más efectivas orientadas al uso eficiente de la energía. Este instrumento facilitó conocer con mayor detalle los hábitos, prácticas y aspectos operativos dentro de cada área de trabajo, lo que constituye una base sólida para diseñar estrategias de mejora. La información obtenida (Anexo 1) no solo refleja el nivel de compromiso con la eficiencia energética, sino que también aporta insumos para la toma de decisiones fundamentadas en datos reales.

A continuación, se presentan los resultados más relevantes del proceso de evaluación:

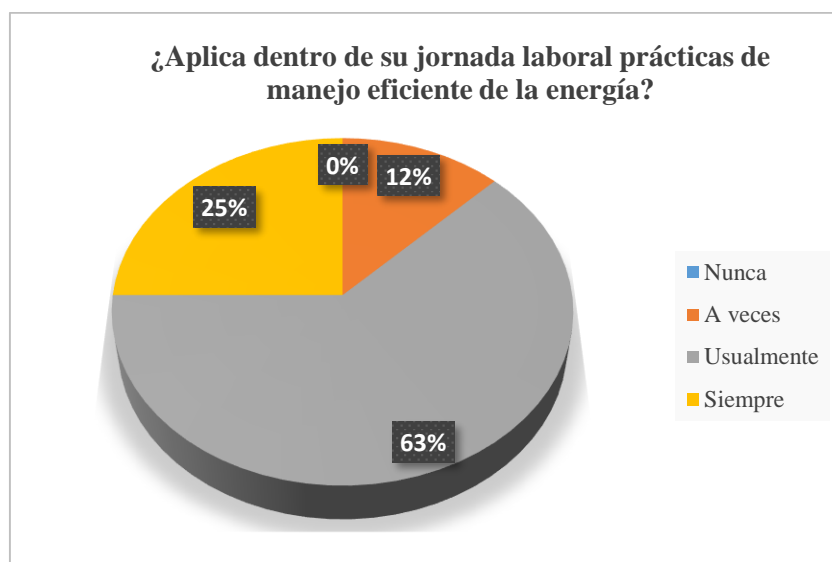
Figura 33. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: conocimiento de la norma ISO 50001.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 33 se observa que el 50 % de los encuestados conoce la norma ISO 50001, mientras que el otro 50 % la desconoce. Este resultado constituye un punto de partida para implementar acciones orientadas a difundir esta temática.

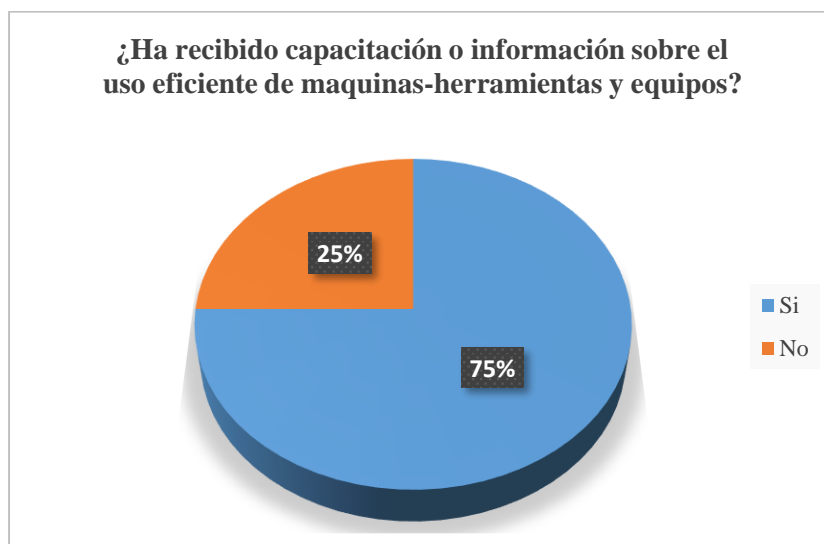
Figura 34. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: aplicación de manejo eficiente de la energía en la jornada laboral.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 34 muestra que el 12 % de los encuestados indica que solo a veces aplica prácticas de uso eficiente de la energía durante su jornada laboral, mientras que el 25 % afirma hacerlo siempre y el 63 % señala que lo hace de manera habitual. Estos resultados evidencian una tendencia positiva hacia la adopción de prácticas eficientes, aunque aún existe margen para fortalecer su implementación y garantizar su permanencia en todas las actividades.

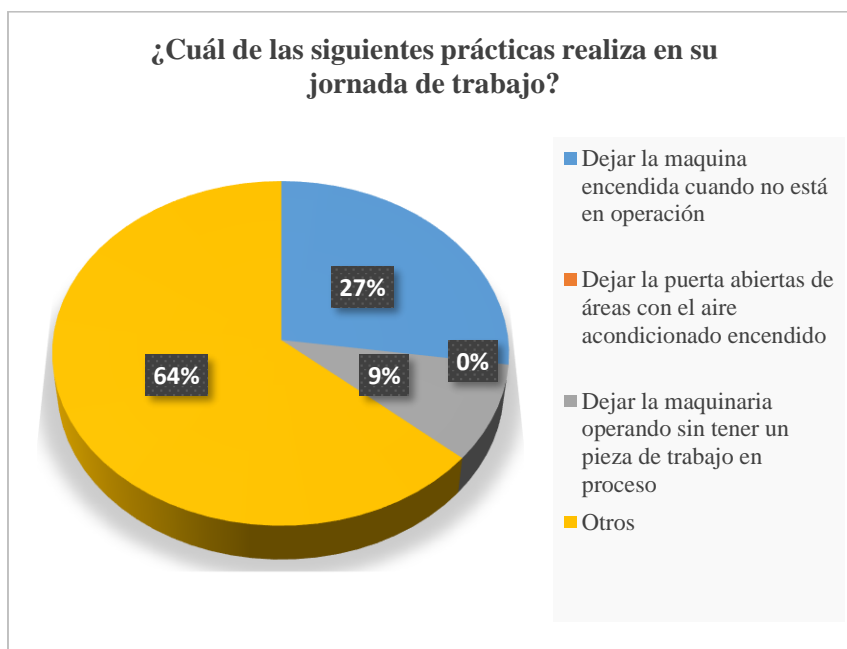
Figura 35. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: capacitación en el uso eficiente de máquinas-herramientas y equipos



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 35 muestra que el 75 % del personal encuestado ha recibido información o capacitación sobre el uso eficiente de la energía, mientras que el 25 % no cuenta con esta formación. Este hallazgo representa una oportunidad clave para fortalecer las acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética en la planta mediante programas de capacitación más inclusivos y continuos.

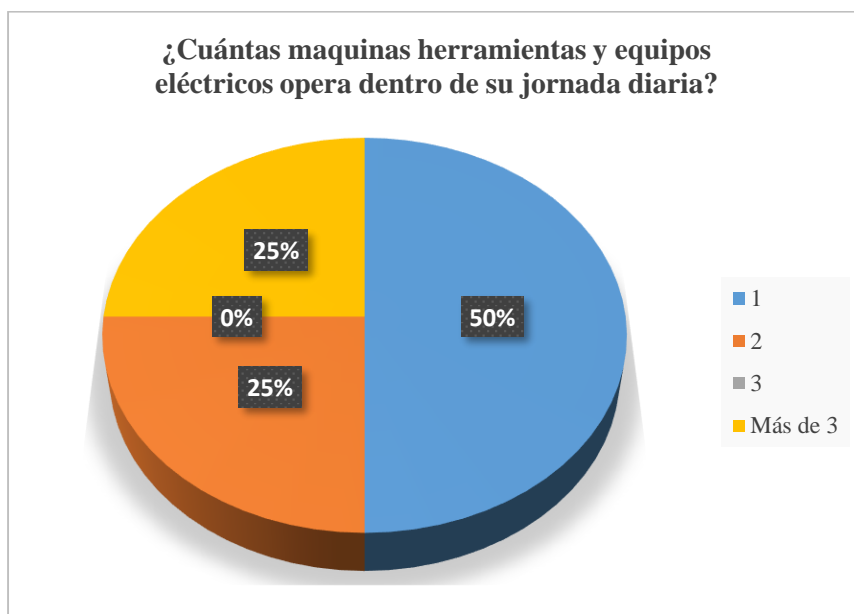
Figura 36. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: prácticas realizadas en la jornada de trabajo.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 36 evidencia que el 9 % de los operarios tienden habitualmente a dejar la máquina funcionando sin tener una pieza en proceso, el 27 % mantiene la máquina encendida cuando no está en operación y el 64 % reconoce realizar otras prácticas que implican un uso inadecuado de la energía. Este comportamiento permite identificar, durante la observación del proceso productivo, la existencia de prácticas adicionales que no son eficientes. Por otro lado, se destaca que los operarios son conscientes del cuidado en áreas climatizadas, evitando la apertura innecesaria de puertas, lo que indica que esta práctica no representa un problema

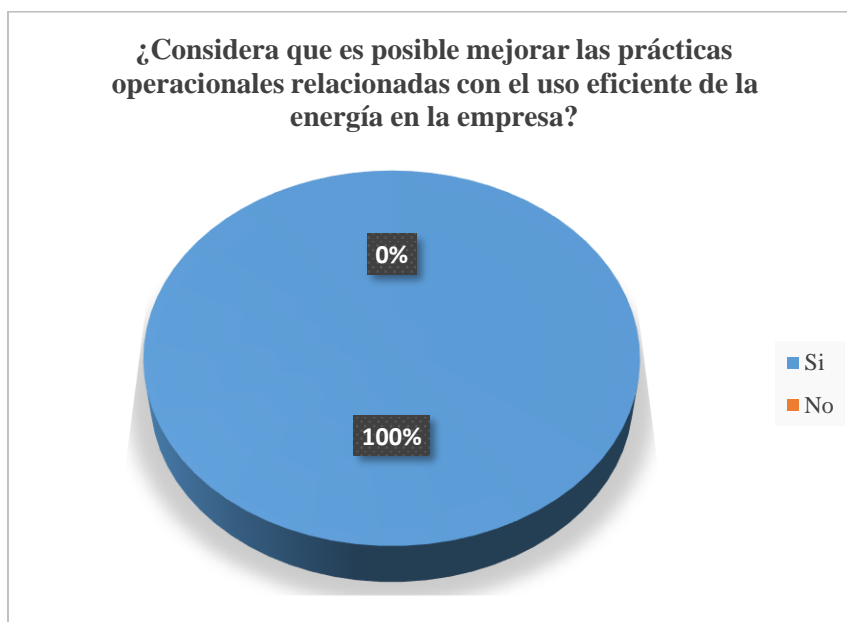
Figura 37. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: número de herramientas y equipos que opera dentro de la jornada laboral.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 37 muestra que el 25 % de los operarios encuestados utiliza habitualmente dos tipos de equipos eléctricos durante su jornada laboral, el 50 % opera principalmente un solo equipo y el 25 % restante maneja más de tres equipos. Este resultado evidencia una diversidad en la carga operativa que debe considerarse para optimizar el consumo energético y establecer estrategias diferenciadas según el número de equipos utilizados.”

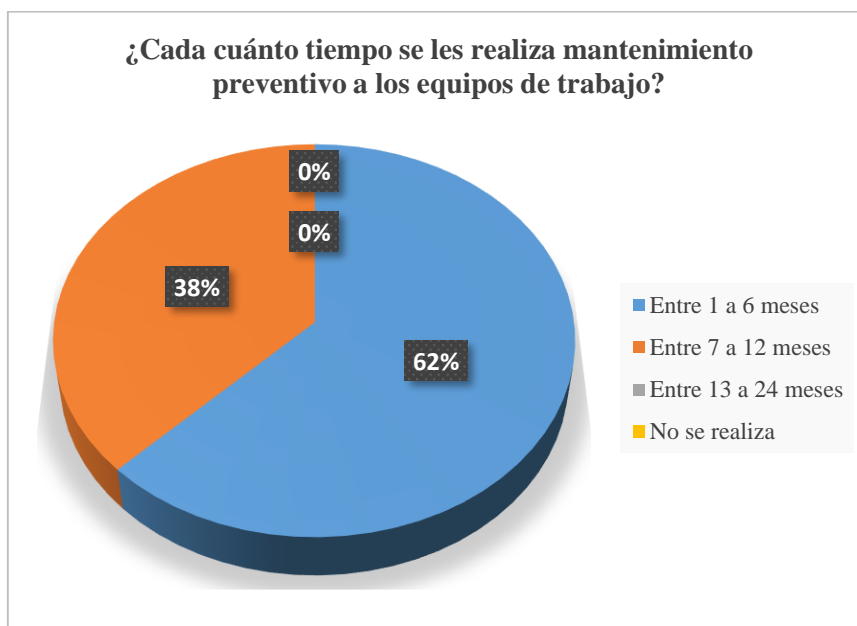
Figura 38. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: mejora de las prácticas operacionales relacionada al uso eficiente de la energía.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 38 muestra que el 100 % de los operarios encuestados considera que es posible mejorar las prácticas operativas relacionadas con el uso de la energía para hacerlas más eficientes. Este consenso refleja una disposición favorable hacia la implementación de acciones que optimicen el consumo energético en la planta

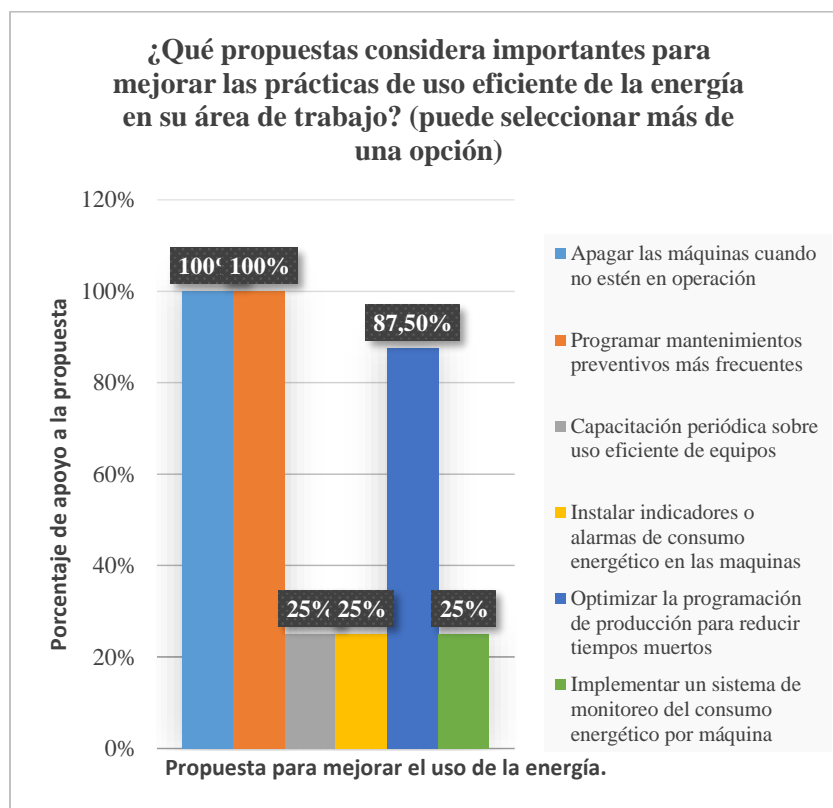
Figura 39. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: frecuencia de desarrollo de mantenimientos de los equipos.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 39 muestra que el 62 % de los operarios indica que el mantenimiento de los equipos que utiliza se realiza cada 1 a 6 meses, mientras que el 38 % señala que se efectúa entre 7 y 12 meses. Este resultado confirma que la empresa cuenta con un plan de mantenimiento, aunque se identifica la oportunidad de revisar la frecuencia y el alcance como parte de la estrategia de gestión energética para optimizar el rendimiento y reducir el consumo.

Figura 40. Resultados de la encuesta sobre prácticas energéticas: propuestas para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 40 refleja la disposición de los operarios frente a diversas medidas para mejorar la eficiencia energética. El 25 % está de acuerdo con realizar capacitaciones periódicas sobre el uso eficiente de la energía, instalar indicadores o alarmas de consumo en las máquinas e implementar un sistema de monitoreo por equipo. Por su parte, el 87,5 % coincide en la necesidad de optimizar la programación de la producción para reducir tiempos muertos, y el 100 % respalda acciones como apagar las máquinas cuando no estén operando y programar mantenimientos preventivos con mayor frecuencia.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta encuesta evidencian un alto nivel de compromiso por parte del personal, lo que constituye una base sólida para

implementar mejoras y formular recomendaciones orientadas a alcanzar el potencial de ahorro identificado por el modelo.

En el siguiente capítulo se presenta la propuesta de transformación derivada de este estudio, como el paso siguiente en el proceso de implementación.

### **3.5 Redacción de resultados y discusión**

La presente sección expone los resultados obtenidos tras realizar la implementación y validación del modelo de gestión energética propuesto, así como su discusión en relación con los objetivos planteados y la aplicabilidad en el contexto industrial.

En primer lugar, se diseñó un modelo adaptado a la dinámica de producción de la empresa del caso de estudio, constituyendo el principal aporte de la investigación al demostrar que la integración de parámetros operativos y prácticas organizacionales permite optimizar el consumo energético sin afectar la continuidad de los procesos productivos. A partir de los datos recolectados y del análisis correlacional, se establecieron una línea base y una línea objetivo que reflejan el comportamiento energético bajo diferentes escenarios, facilitando la toma de decisiones estratégicas orientadas a la eficiencia y la sostenibilidad. El objetivo principal fue construir una herramienta capaz de integrar las variaciones propias del proceso productivo y los indicadores de consumo energético, garantizando su aplicabilidad en entornos reales. Un aspecto clave en este desarrollo fue la caracterización de las máquinas herramienta, que permitió definir una variable de análisis denominada costo de trabajo equivalente, calculada conforme a la demanda energética de cada equipo y su proceso de manufactura asociado. Esta variable aporta una visión más precisa sobre la relación entre consumo energético y productividad, fortaleciendo la capacidad del modelo para generar indicadores estratégicos.

Este modelo no solo responde a las necesidades específicas de la organización, sino que también permite establecer relaciones cuantitativas entre la energía consumida y la productividad alcanzada, ofreciendo una base sólida para la toma de decisiones

estratégicas. La calibración realizada con datos operativos reales, bajo los lineamientos de la norma ISO 50001, asegura que las predicciones generadas reflejen con precisión el comportamiento energético de la planta, incluso frente a fluctuaciones en la carga de trabajo y la tasa de producción.

Adicionalmente, se presentan los hallazgos más relevantes, incluyendo el análisis del consumo energético por unidad monetaria, la estimación de la energía necesaria para la producción base y la identificación del potencial de ahorro energético. Estos resultados evidencian la capacidad del modelo para anticipar escenarios, optimizar recursos y contribuir a la sostenibilidad del proceso productivo, consolidándolo como una herramienta estratégica para la gestión energética.

El análisis confirma que la relación entre consumo energético y productividad en servicios metalmecánicos puede ser modelada de manera precisa y estratégica. Los resultados muestran que se requieren 0,1443 kWh/mes para generar un dólar por el trabajo realizado, mientras que la energía no asociada a la producción (ENA) asciende a 636,6 kWh/mes, equivalente al 35 % del consumo promedio del periodo estudiado. Este hallazgo evidencia la relevancia del indicador energético en la estructura de costos, mostrando un gran potencial para el ahorro de energía y, por tanto, su impacto en la eficiencia operativa.

Asimismo, el comportamiento observado en la gráfica de la segunda derivada del índice de consumo vs el costo de trabajo equivalente indica que, al superar una producción estimada 10.000 USD mensuales, se alcanza un potencial de ahorro de 110,13 kWh/mes, lo que representa un 6,14 % del consumo mensual actual. Aunque este porcentaje parece moderado, constituye una mejora significativa en términos de eficiencia energética y reducción de costos, especialmente en un sector donde los márgenes de optimización son críticos para la competitividad.

En segundo lugar, estas afirmaciones se sustentan en el proceso de validación del modelo, el cual se llevó a cabo mediante la calibración de las líneas base y objetivo con datos operativos reales bajo los lineamientos de la norma ISO 50001, lo que garantizó la confiabilidad de las predicciones. El ajuste de coeficientes en función de las variaciones

del indicador costo de trabajo equivalente y la tasa de producción permitió reflejar con precisión la realidad de la planta. Los análisis de sensibilidad corroboran la robustez del modelo: un incremento del 5 % en el costo de trabajo equivalente genera un aumento aproximado del 3,2 % en el consumo energético, mientras que un incremento similar en la tasa de producción produce un aumento cercano al 2,7 %. Estos resultados confirman la capacidad del modelo para anticipar escenarios y orientar la planificación operativa.

Desde una perspectiva práctica, el modelo no solo pronostica la demanda energética, sino que también identifica oportunidades reales de ahorro, consolidando su valor como herramienta estratégica para la gestión energética. Su enfoque adaptable y estructura replicable lo convierten en una propuesta viable para otras empresas del sector metalmecánico, contribuyendo a la adopción de prácticas industriales más sostenibles y competitivas. La integración de datos, metodologías robustas y estándares internacionales demuestra que la gestión energética basada en evidencia genera beneficios tangibles en términos de eficiencia, reducción de costos y sostenibilidad.

En conclusión, los resultados obtenidos validan la pertinencia del modelo y confirman que su implementación optimiza el consumo energético y fortalece la toma de decisiones estratégicas. La calibración conforme a ISO 50001 y el análisis de sensibilidad refuerzan su confiabilidad y aplicabilidad, consolidándolo como un recurso clave para impulsar la eficiencia energética en el sector metalmecánico. Esto se articula con los resultados obtenidos en la encuesta de práctica energética, donde se observa que, aunque existe conocimiento parcial sobre normas y prácticas eficientes, persisten oportunidades para fortalecer la capacitación y optimizar el uso de equipos y la programación de procesos. La disposición para implementar acciones como apagado de máquinas fuera de operación, mantenimiento preventivo más frecuente y sistemas de monitoreo confirma que la empresa cuenta con condiciones propicias para avanzar en estrategias que permitan alcanzar el potencial de ahorro energético identificado.

## **CAPÍTULO IV: Propuesta de Transformación**

Tras la validación del modelo y la identificación del potencial de ahorro energético alcanzable por la empresa, se hace evidente la necesidad de avanzar hacia una segunda fase orientada a la implementación de acciones concretas que permitan materializar dicho ahorro. Esta propuesta surge como respuesta al problema científico planteado y se fundamenta en los resultados obtenidos, que demuestran la viabilidad técnica y económica de optimizar el consumo energético mediante una gestión estratégica. El objetivo es consolidar un sistema que no solo mantenga las mejoras logradas, sino que las amplíe, incorporando prácticas operativas más eficientes y evaluando alternativas como la autogeneración, en coherencia con los lineamientos de la norma ISO 50001. De esta manera, la propuesta se proyecta como un paso decisivo para garantizar la sostenibilidad del modelo y su replicabilidad en otras empresas del sector metalmecánico.

### **4.1. Fundamentación de propuesta de transformación.**

Basado en el contexto de la creciente competencia industrial que poseen las empresas metalmecánicas las cuales enfrentan el desafío de optimizar costos operativos mientras mantienen altos estándares de calidad y productividad. El consumo de la energía, que es un recurso crítico en estas operaciones representa una proporción significativa de los costos operativos totales de producción, entonces la implementación de un sistema de gestión de la energía (SGEn) basado en la norma ISO 50001 de 2019 presenta una solución estratégica para gestionar la eficiencia energética para el consumo eléctrico reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental.

La presente tesis doctoral plantea una propuesta de transformación energética para una empresa dedicada al sector de metalmecánica mediante la implementación de la norma ISO 50001 de 2019, donde se aborda la importancia de establecer una línea base energética, al identificar el potencial de ahorro energético y alinear los consumos con los objetivos de costos de producción equivalentes.

El consumo de energía en las empresas de metalmecánica presenta una alta dispersión de consumos, referentes a las maquinarias y operaciones exclusivas de metalmecánica implementadas por demanda de servicios, estas operaciones impactan directamente en los costos de producción. Sin la implementación de métodos de seguimiento y control del uso de la energía, muchas empresas de este sector enfrentan ineficiencias operativas por el uso de la maquinaria y tiempos de mano de obra de los operarios no regularizados.

La falta de un enfoque estructurado para gestionar el uso de la energía no solo genera pérdidas económicas, sino que también incrementa las emisiones de carbono, afectando el cumplimiento de normativas ambientales y la competitividad de estas empresas.

Con la implementación adecuada de la norma ISO 50001 de 2019, las empresas establecidas en el sector de la metalmecánica pueden obtener los siguientes beneficios:

#### **4.1.1 Reducción de costos**

Este eje se orienta a la reducción de costos, entendida como la optimización del consumo energético para disminuir los gastos operativos y mejorar la predictibilidad financiera. Investigaciones recientes confirman que la implementación de metodologías de gestión energética y herramientas de optimización puede generar ahorros significativos en la industria, reduciendo entre un 10% y un 20% los costos asociados al consumo eléctrico (Kansara & Roldán Serrano, 2024; Vargas-gurrola et al., 2025). Asimismo, la integración de tecnologías inteligentes y modelos predictivos permite anticipar variaciones en la demanda, estabilizar los costos y garantizar una planificación más precisa de los recursos, reduciendo riesgos asociados a la volatilidad energética (Benti et al., 2023; Raaj et al., 2024). Este enfoque no solo contribuye a la rentabilidad, sino que también fortalece la resiliencia operativa frente a escenarios de alta incertidumbre.

#### **4.1.2 Mejora de la eficiencia energética**

Este eje se centra en la mejora de la eficiencia energética, entendida como el incremento de la productividad energética en función de las operaciones específicas de manufactura. Investigaciones recientes señalan que la aplicación de metodologías de gestión, como el ciclo PDCA, y el uso de indicadores energéticos permiten optimizar procesos y reducir el consumo sin afectar la producción (Vargas-gurrola et al., 2025). Asimismo, la integración de tecnologías emergentes, como sistemas digitales y soluciones basadas en inteligencia artificial, ha demostrado potencial para disminuir el consumo energético hasta en un 30%, incrementando la sostenibilidad y competitividad industrial (Setyadi et al., 2025). Desde una perspectiva macro, la mejora en la productividad energética se reconoce como un factor clave para alcanzar objetivos de descarbonización y eficiencia en sectores manufactureros, contribuyendo a la reducción de costos y emisiones (Oltulular, 2025; Zhang et al., 2023). Este enfoque no solo optimiza el uso de recursos, sino que también fortalece la resiliencia operativa frente a los retos energéticos actuales.

#### **4.1.3 Cumplimiento de objetivos ambientales**

Este eje se orienta al cumplimiento de objetivos ambientales, centrado en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la optimización del uso de recursos y la disminución del consumo eléctrico. Investigaciones recientes destacan que la eficiencia energética en procesos industriales es una estrategia clave para alcanzar metas de descarbonización y alinearse con los compromisos globales de sostenibilidad (Kansara & Roldán Serrano, 2024; Oltulular, 2025). La implementación de tecnologías limpias y prácticas sostenibles en manufactura permite minimizar la huella de carbono sin comprometer la productividad, contribuyendo a la transición hacia modelos industriales más responsables (Setyadi et al., 2025). Asimismo, la mejora en la productividad energética se reconoce como un factor determinante para cumplir los objetivos climáticos establecidos en acuerdos internacionales, consolidando la competitividad empresarial en entornos regulados (Zhang et al., 2023). Este enfoque no solo reduce impactos

ambientales, sino que también fortalece la imagen corporativa y la resiliencia frente a exigencias normativas crecientes.

#### **4.1.4 Mejora en la competitividad**

Este eje se enfoca en la mejora de la competitividad, entendida como la capacidad del sector metalmecánico para acceder a nuevos mercados y obtener certificaciones que valoran la gestión energética en sus operaciones. La literatura reciente señala que la integración de políticas energéticas y prácticas sostenibles fortalece la posición estratégica de las empresas, al cumplir con estándares internacionales y responder a exigencias regulatorias (Setyadi et al., 2025; Yasmin et al., 2024). Asimismo, la optimización de procesos mediante herramientas de diseño operativo y metodologías de mejora continua contribuye a la reducción de costos y al incremento de la eficiencia, factores que incrementan la competitividad frente a mercados globales (Kansara & Roldán Serrano, 2024; Szeszák et al., 2025). La propuesta de transformación energética se sustenta en tres ejes estratégicos: política y planificación, operación y control, e innovación y sostenibilidad, las cuales articulan la gestión energética con la cultura organizacional, consolidando un modelo replicable y orientado a la excelencia industrial.

#### **4.1.5 Política y Planificación Energética**

Este eje se fundamenta en el concepto de gestión energética estratégica, entendido como la incorporación de la eficiencia energética en la estructura organizacional y en la toma de decisiones corporativas. La literatura señala que la formulación de políticas energéticas y objetivos medibles es esencial para orientar el consumo responsable y garantizar la mejora continua (Fuchs et al., 2023). Estas políticas deben alinearse con los objetivos de producción y costos, integrando indicadores que permitan evaluar el desempeño energético y establecer metas realistas (Grimaccia et al., 2023).

#### **4.1.6 Operación y Control**

La operación eficiente requiere la definición de procedimientos estandarizados y la implementación de sistemas de monitoreo que aseguren el uso racional de la energía en cada etapa del proceso productivo. Este eje se apoya en la teoría de control operacional basado en indicadores, donde los EnPI (Energy Performance Indicators) actúan como herramientas para medir el impacto de las acciones implementadas y garantizar la trazabilidad de los resultados (Kanchiralla et al., 2020). La literatura enfatiza que la integración de tecnologías digitales y análisis de datos mejora la capacidad de respuesta y la optimización de procesos (Hanifi et al., 2025).

#### **4.1.7 Innovación y Sostenibilidad**

Este eje incorpora el concepto de transición energética hacia fuentes limpias, orientado a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y disminuir la huella de carbono. La evaluación del potencial de autogeneración mediante sistemas fotovoltaicos se fundamenta en estudios que demuestran la viabilidad técnica y económica de la energía solar en entornos industriales, contribuyendo a la descarbonización y a la resiliencia energética (Bernabé et al., 2025). Además, la innovación no se limita a la tecnología, sino que incluye la creación de una cultura organizacional que promueva prácticas sostenibles y fomente la participación activa del personal en la gestión energética.

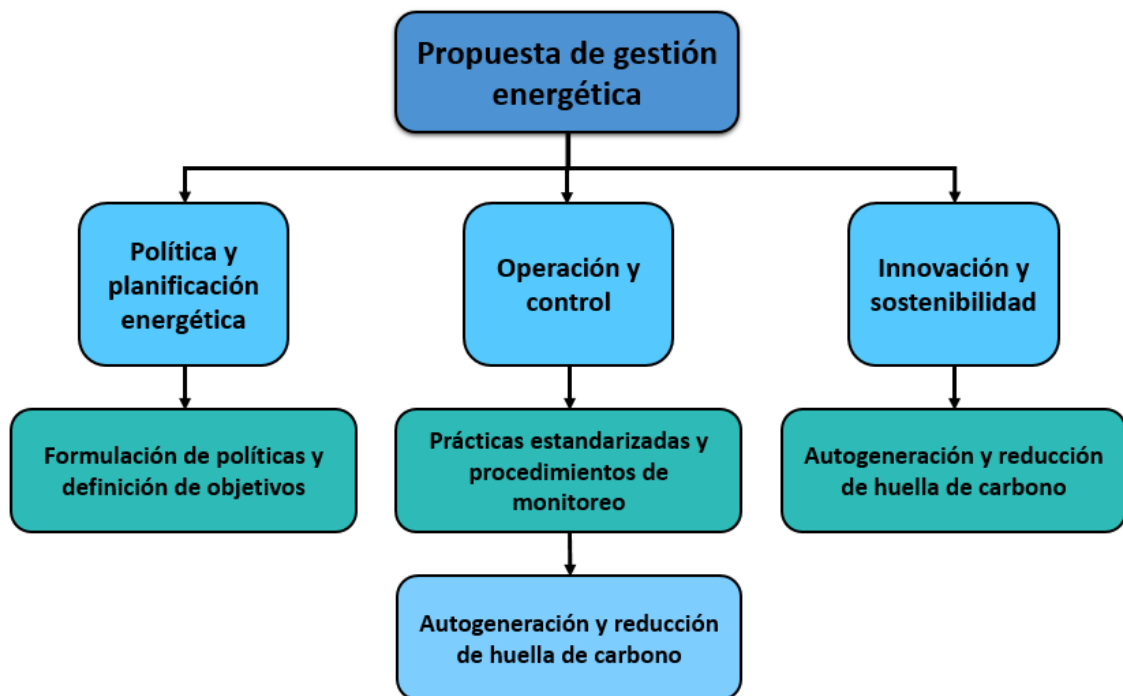
### **4.2. Descripción de la propuesta de transformación**

Tras la implementación del modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001:2019 en una empresa del sector metalmeccánico, se logró establecer una correlación precisa entre el consumo energético y la dinámica del proceso productivo, identificando los periodos de menor eficiencia y estimando el potencial real de ahorro energético. Estos hallazgos evidencian oportunidades significativas para optimizar la planificación del uso de la energía y mejorar la operación de los equipos, constituyendo

el punto de partida para la formulación de acciones estratégicas orientadas a la transformación del sistema de gestión.

Con base en estos resultados, se plantea el diseño de un plan integral de gestión energética, cuyo propósito es maximizar el aprovechamiento de los recursos energéticos y consolidar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad. Este plan se estructura en torno a tres ejes estratégicos interrelacionados como lo muestra la figura 41.

Figura 41. Cuadro sinóptico de desarrollo de la propuesta de transformación.



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1 Política y planificación energética

Este eje busca incorporar la gestión energética como parte esencial de la estrategia corporativa. Se propone la formulación de políticas institucionales que prioricen la eficiencia y la sostenibilidad, alineadas con los principios de mejora continua

establecidos en la norma ISO 50001:2019. Asimismo, se plantea la definición de objetivos medibles y verificables, tales como la reducción del consumo energético en un porcentaje anual y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. La planificación energética se integrará en la toma de decisiones operativas y financieras, garantizando que las inversiones consideren criterios de eficiencia y sostenibilidad. Con ello, se espera fortalecer la coherencia entre la estrategia empresarial y la gestión energética, reducir costos operativos y mejorar la competitividad en el mercado.

#### **4.2.2 Operación y control**

Este eje se orienta a la implementación de prácticas que aseguren el uso racional de la energía en los procesos productivos. Se propone el diseño de procedimientos estandarizados para la operación eficiente de equipos críticos, así como la adopción de sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan identificar desviaciones y actuar de manera preventiva. La definición de indicadores de desempeño energético (EnPI) será fundamental para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y generar reportes periódicos que faciliten la toma de decisiones. Estas medidas contribuirán a optimizar el consumo energético, reducir paradas no programadas y mejorar la confiabilidad del proceso productivo, consolidando una cultura organizacional orientada a la eficiencia.

#### **4.2.3 Innovación y Sostenibilidad**

Este eje promueve la incorporación de tecnologías limpias y prácticas sostenibles como parte de la estrategia empresarial. Se plantea la evaluación del potencial de autogeneración mediante fuentes renovables, especialmente la instalación de sistemas fotovoltaicos, considerando tanto la viabilidad técnica como los incentivos regulatorios disponibles. Además, se explorarán soluciones complementarias, como sistemas de almacenamiento energético y gestión inteligente de la demanda, que permitan reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Paralelamente, se fomentará la cultura de

innovación mediante programas de capacitación y participación activa del personal en proyectos de mejora continua. Con estas acciones, se busca disminuir la huella de carbono, fortalecer la resiliencia energética y posicionar a la empresa como líder en sostenibilidad dentro del sector metalmecánico.

En conjunto, esta propuesta busca transformar la gestión energética de la empresa hacia un modelo más eficiente, sostenible y competitivo, alineado con los principios de la norma ISO 50001:2019 y con los compromisos globales de desarrollo sostenible. Además, se proyecta como una iniciativa replicable en otras empresas del sector, contribuyendo a la consolidación de prácticas industriales responsables y orientadas a la excelencia.

### **4.3. Objetivos de la propuesta**

#### **4.3.1 Objetivo general**

Implementar un plan integral de gestión energética sustentado en los resultados del modelo ISO 50001:2019 previamente aplicado en la empresa del sector metalmecánico, orientado a optimizar el uso de la energía, reducir los niveles de ineficiencia y fortalecer la sostenibilidad mediante la ejecución de prácticas racionales y la incorporación de alternativas de autogeneración con fuentes limpias.

#### **4.3.2 Objetivos específicos**

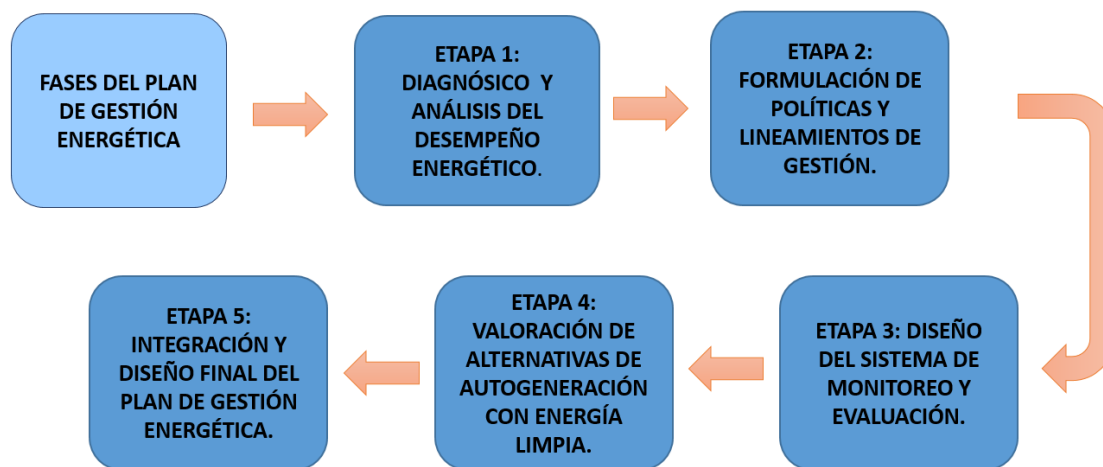
- Identificar los procesos y períodos críticos de consumo energético a partir de los resultados obtenidos en la aplicación del modelo ISO 50001:2019.
- Analizar los factores técnicos y operativos que inciden en las ineficiencias energéticas detectadas.

- Establecer políticas, objetivos y procedimientos que orienten la gestión racional y eficiente de la energía en la organización.
- Implementar indicadores de desempeño energético (EnPI) y mecanismos de seguimiento que permitan evaluar la efectividad del plan de gestión.
- Evaluar posibles fuentes de autogeneración con energía limpia, especialmente la alternativa solar

#### 4.4 Actividades, fases y/o etapas

Para alcanzar el objetivo general del proyecto y desarrollar de manera articulada los objetivos específicos, se plantea una secuencia metodológica conformada por cinco fases. Cada una de ellas responde a un nivel progresivo de análisis, formulación y diseño, lo que permite avanzar desde la identificación de los aspectos críticos del consumo energético hasta la estructuración final del plan de gestión. Este enfoque garantiza la coherencia técnica con los lineamientos de la norma ISO 50001:2019 y la pertinencia práctica para el contexto productivo de la empresa del sector metalmeccánico y los objetivos estratégicos de sostenibilidad.

Figura 42. Fases del Plan de Gestión Energética propuesta de transformación



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4.1 Primera etapa: Diagnóstico y análisis del desempeño energético**

En esta fase se busca identificar los procesos, equipos y períodos críticos de consumo energético, tomando como referencia los resultados obtenidos en la implementación del modelo ISO 50001:2019. Se realiza un análisis detallado de los factores técnicos y operativos que explican las ineficiencias detectadas, consolidando un diagnóstico que servirá como base para la toma de decisiones estratégicas orientadas a la optimización del uso de la energía.

#### **4.4.2 Segunda etapa: Formulación de políticas y lineamientos de gestión**

Esta etapa se centra en la definición de políticas institucionales, objetivos medibles y procedimientos operativos que orienten la gestión racional y eficiente de la energía. Además, contempla la asignación de responsabilidades dentro de la estructura organizacional y la alineación del sistema con la estrategia corporativa, asegurando que la gestión energética se integre como parte fundamental de la cultura empresarial.

#### **4.4.3 Tercera etapa: Diseño del sistema de monitoreo y evaluación**

En esta fase se establecen los indicadores de desempeño energético (EnPI), las líneas base de referencia y los mecanismos de seguimiento que permitirán medir la efectividad de las acciones implementadas. Asimismo, se proponen herramientas de registro y análisis que faciliten la mejora continua, garantizando que la gestión energética evolucione en función de los resultados obtenidos.

#### **4.4.4 Cuarta etapa: Valoración de alternativas de autogeneración con energía limpia**

Esta etapa considera la identificación y evaluación de fuentes potenciales de autogeneración, principalmente la energía solar fotovoltaica. Se analiza la factibilidad técnica, económica y ambiental de estas alternativas, con el propósito de reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y fortalecer la sostenibilidad y competitividad empresarial.

#### **4.4.5 Quinta etapa: Integración y diseño final del plan de gestión energética**

Finalmente, se consolidan los resultados de todas las fases previas en un documento integral que incluya políticas, procedimientos, indicadores, estrategias de autogeneración y mecanismos de seguimiento. Esta etapa culmina con la validación interna del plan y la formulación de lineamientos para su implementación progresiva, asegurando la sostenibilidad y la mejora continua en la gestión energética de la empresa.

#### **4.5. Recursos necesarios para la aplicación de la propuesta**

La implementación del plan de gestión energética integral requiere de una combinación de recursos humanos, técnicos, tecnológicos, financieros y organizacionales que garanticen su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo. Estos recursos permitirán ejecutar las actividades planteadas en cada fase, realizar el seguimiento de los indicadores y consolidar la cultura de eficiencia energética dentro de la empresa del sector metalmecánico.

#### **4.5.1 Recursos humanos**

El recurso humano calificado que incluyan un equipo multidisciplinario conformado por personal técnico, ingenieros de planta, especialistas en energía y mantenimiento, además del apoyo de la dirección administrativa. Este equipo será responsable de coordinar la aplicación de las políticas energéticas, registrar los datos de consumo, analizar resultados y proponer acciones correctivas. La capacitación continua del personal operativo también será esencial para fomentar prácticas de uso racional de la energía.

#### **4.5.2 Recurso técnico y tecnológico**

En cuanto a los recursos técnicos y tecnológicos, se necesita la disponibilidad de instrumentos de medición y monitoreo del consumo energético, tales como analizadores de redes, medidores inteligentes, sensores y software de gestión energética. Estos dispositivos permitirán recopilar información precisa para el cálculo de los indicadores de desempeño (EnPI) y la evaluación del impacto de las medidas implementadas. Asimismo, se considera el uso de herramientas informáticas para la elaboración de reportes, bases de datos y visualización de tendencias de consumo.

#### **4.5.3 Recurso financiero**

Los recursos financieros resultan fundamentales para cubrir los costos asociados con la adquisición de equipos de medición, licencias de software, capacitaciones, mantenimiento de infraestructura y posibles estudios de viabilidad de fuentes de autogeneración. La empresa deberá establecer un presupuesto anual específico para la gestión energética, garantizando la continuidad del plan y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

#### **4.5.4 Recurso organizacional y administrativo**

Por su parte, los recursos organizacionales y administrativos comprenden el respaldo institucional de la alta dirección, la definición de roles, la asignación de responsabilidades y la integración del sistema de gestión energética dentro de la estructura corporativa existente. Este soporte garantizará la articulación entre las áreas productivas, de mantenimiento y de gestión ambiental.

Finalmente, se consideran los recursos informativos y normativos, que incluyen el acceso a documentación técnica actualizada, guías de implementación de la norma ISO 50001:2019, normativas nacionales sobre eficiencia energética y estudios de mercado sobre tecnologías limpias. Estos insumos permitirán mantener la propuesta alineada con las mejores prácticas internacionales y con el marco regulatorio vigente.

En conjunto, estos recursos asegurarán que la aplicación del plan de gestión energética sea técnicamente sólida, económicamente viable y ambientalmente sostenible, favoreciendo la mejora continua y la competitividad de la empresa en el sector metalmeccánico.

#### **4.6. Resultados**

Los resultados del proyecto se orientan a ofrecer productos concretos que contribuyan a la optimización del uso energético en la industria metalmeccánica. Cada resultado se deriva de las fases de análisis, diseño y validación del modelo de gestión energética, con el propósito de generar herramientas prácticas que faciliten la toma de decisiones, la implementación de políticas de eficiencia y la evaluación del desempeño energético en las empresas del sector.

#### **4.6.1 Diagnóstico energético sectorial**

Se elaborará un documento técnico que consolide la caracterización del consumo energético en la industria metalmecánica, identificando las principales fuentes utilizadas, los patrones de demanda y las pérdidas más significativas en los procesos productivos. Este diagnóstico permitirá establecer líneas base confiables, detectar oportunidades de mejora en equipos y procesos críticos, y servir como insumo estratégico para la toma de decisiones corporativas. Además, será un recurso fundamental para orientar políticas públicas y estrategias sectoriales en materia de eficiencia energética.

#### **4.6.2 Modelo de gestión energética**

Se desarrollará una estructura metodológica validada que integre indicadores de desempeño energético (EnPI), prácticas operativas estandarizadas y estrategias de mejora continua, alineadas con la norma ISO 50001:2019. Este modelo se convertirá en un documento guía replicable para otras empresas del sector, promoviendo la homogeneización de buenas prácticas y fortaleciendo la competitividad industrial. Su aplicación permitirá garantizar la trazabilidad de las acciones y la evolución del sistema hacia estándares internacionales.

#### **4.6.3 Manual de políticas y procedimientos energéticos**

Se elaborará un compendio normativo que defina políticas institucionales claras, procedimientos operativos y lineamientos para la adopción de buenas prácticas industriales. Este manual fortalecerá la cultura organizacional, asegurando que la gestión energética se integre como parte fundamental de la estrategia corporativa y de los procesos de mejora continua. Además, servirá como herramienta para la capacitación del personal y la estandarización de procesos internos.

#### **4.6.4 Instrumento de evaluación y monitoreo**

Se diseñará un conjunto de formatos, matrices y herramientas digitales que permitan registrar indicadores clave, monitorear avances del modelo implementado y generar reportes periódicos para la toma de decisiones estratégicas. Este instrumento garantizará la trazabilidad de las acciones, la transparencia en la gestión y la posibilidad de realizar auditorías internas y externas, contribuyendo a la mejora continua y al cumplimiento normativo.

#### **4.6.5 Propuesta de autogeneración y aprovechamiento energético**

Se presentará un informe técnico que valore fuentes potenciales de autogeneración, como energía solar fotovoltaica, térmica y recuperación de calor residual. El análisis incluirá la viabilidad técnica, económica y ambiental de cada alternativa, así como escenarios de implementación progresiva que consideren incentivos regulatorios y retorno de inversión. Este resultado permitirá reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, disminuir la huella de carbono y posicionar a la empresa como líder en sostenibilidad dentro del sector metalmeccánico.

La consolidación de estos productos transformará la gestión energética hacia un modelo más eficiente, sostenible y competitivo, alineado con los principios de la norma ISO 50001:2019 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Además, la propuesta se proyecta como una iniciativa replicable en otras empresas del sector, contribuyendo a la consolidación de prácticas industriales responsables y orientadas a la excelencia.

#### **4.7. Valoración/ evaluación/ Validación de la propuesta de transformación**

En coherencia con los objetivos establecidos, se definen indicadores que permiten valorar el grado de avance y efectividad del plan de gestión energética propuesto.

Para cumplir el objetivo de identificar los factores críticos del consumo energético, se estableció como indicador principal el porcentaje de variación del consumo por proceso respecto al promedio histórico, evaluado bajo el criterio de reducción de consumos no justificados. Este análisis se complementa con el diseño del plan de gestión energética, donde se consideró como indicador la cantidad de procedimientos y políticas documentadas en el manual, valoradas por su aplicabilidad y coherencia con la norma ISO 50001:2019. Asimismo, para garantizar la adopción de prácticas operativas eficientes, se definió el número de medidas implementadas y su impacto estimado en ahorro energético, con criterios de cumplimiento basados en el porcentaje de adopción efectiva en planta. En paralelo, la capacitación del personal se midió mediante el porcentaje de trabajadores formados respecto al total del área operativa, incorporando instrumentos de retroalimentación para evaluar la apropiación de conocimientos.

Finalmente, con respecto al proceso de validación es importante destacar que esta propuesta fue presentada en el “III congreso de ciencias administrativas y contables” Anexo 6, donde contó con la evaluación de un comité especializado como lo indica el procedimiento para participación establecido en la página del evento, y posteriormente se realizó su sustentación formal. A continuación, se incluyen las evidencias correspondientes a la participación en el evento. Como resultado de la presentación, la propuesta recibió el premio a la mejor ponencia Anexo 7, en reconocimiento a su pertinencia y aporte innovador, conforme a los lineamientos establecidos por el comité organizador.

Al finalizar este capítulo, se confirma que la propuesta cumple con los seis criterios obligatorios de validación:

- Pertinencia, al responder a una necesidad real del sector metalmecánico en materia de eficiencia energética.
- Validez, por fundamentarse en la norma ISO 50001:2019 y en metodologías reconocidas internacionalmente.

- Factibilidad, dado que se apoya en recursos técnicos y humanos disponibles en la empresa objeto de estudio.
- Aplicabilidad, al ser implementable en el contexto operativo actual y adaptable a otros entornos industriales.
- Generalización, por su potencial de replicarse en empresas con procesos productivos similares.
- Novedad/Originalidad, al integrar gestión energética, cultura organizacional e innovación tecnológica en un solo plan estratégico.

Finalmente, se destaca que la propuesta tiene el potencial de transformar el estado actual del problema, pasando de una gestión energética reactiva y fragmentada a un modelo integral basado en la mejora continua, la optimización del uso de recursos y la incorporación de prácticas sostenibles. Este cambio no solo impactará en la reducción de costos y emisiones, sino que también fortalecerá la competitividad y la resiliencia de la organización frente a los desafíos energéticos y ambientales del sector.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la implementación de la norma ISO 50001 en una planta correspondiente al sector Metalmecánico lo que permitió evidenciar escenarios con ineficiencias energéticas significativas, demostrando la importancia de un sistema de gestión energética estructurado para mejorar el desempeño operativo y la sostenibilidad.

La caracterización energética de la instalación experimental del sector metalmecánico permitió cumplir el primer objetivo específico, al definir el comportamiento operacional regular y establecer una base sólida para la planificación del sistema de gestión desde la dirección de proyectos. Este análisis reveló los procesos principales y secundarios, así como los patrones de consumo energético mes a mes, identificando una variable operativa equivalente que representa los servicios prestados en escenarios de demanda fluctuante. Este hallazgo constituye un insumo estratégico para la toma de decisiones y la optimización del uso de la energía.

En relación con el segundo objetivo, se logró diseñar un sistema de gestión energética que integra las correlaciones entre parámetros operacionales, consumo energético, tecnologías utilizadas y prácticas de uso racional de la energía. La correlación sólida establecida entre el consumo energético y el costo de trabajo equivalente permitió identificar meses críticos con altos consumos y bajas producciones, evidenciando la necesidad de mejorar la planificación y el control operativo. Este análisis condujo a la determinación del “Punto de Producción Crítica”, equivalente a 6.519 USD de costo de trabajo, que define el nivel óptimo para maximizar la eficiencia energética, con un ahorro potencial del 6,52% respecto al consumo actual. Dicho indicador se convierte en una herramienta clave para la gestión estratégica del proyecto.

Finalmente, en cumplimiento del tercer objetivo, se implementó el diseño del Sistema de Gestión de la Energía conforme a las características operacionales de la planta, evaluando su aplicabilidad desde un enfoque de dirección de proyectos. La metodología utilizada y los resultados obtenidos demuestran que el modelo es replicable en otras empresas del sector metalmecánico con demanda fluctuante, lo que contribuye a la

consolidación de prácticas industriales responsables y a la mejora continua en la gestión energética a nivel regional y nacional.

En síntesis, la propuesta no solo optimiza el desempeño energético de la planta analizada, sino que también genera un marco metodológico aplicable a diferentes contextos industriales, fortaleciendo la competitividad y la sostenibilidad del sector metalmecánico.

La propuesta transformadora planteada representa un avance significativo hacia la gestión energética sostenible en el sector metalmecánico. A partir del análisis de los resultados obtenidos con la implementación del modelo ISO 50001:2019, se consolidó un plan estructurado que integra políticas, procedimientos y herramientas de control orientadas al uso racional de la energía. Esta iniciativa no solo busca optimizar la eficiencia de los procesos productivos, sino también fortalecer la cultura organizacional en torno a la sostenibilidad. Además, la valoración de fuentes de autogeneración con energía limpia, como los sistemas fotovoltaicos, proyecta a la empresa hacia un modelo de operación más resiliente, competitivo y comprometido con la transición energética y la reducción de su huella ambiental.

## **RECOMENDACIONES**

Con base en los hallazgos obtenidos durante la caracterización energética y el diseño del sistema de gestión, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la eficiencia energética, la sostenibilidad y la competitividad de la empresa. Estas sugerencias se presentan desde tres perspectivas complementarias: metodológica, académica y práctica, con el propósito de garantizar la aplicabilidad del modelo y su replicabilidad en otros contextos industriales.

### **Enfoque metodológico**

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento periódico que permita intervenir los equipos de manera programada, realizando ajustes que incrementen su desempeño y prolonguen su vida útil. Este plan debe estar documentado y alineado con los principios de mejora continua establecidos en la norma ISO 50001:2019. Asimismo, se sugiere evaluar la sustitución progresiva de equipos tradicionales por tecnologías más modernas y eficientes, considerando análisis comparativos de consumo energético, costos de inversión y retorno esperado. De igual forma, se debe diseñar un sistema de monitoreo permanente que utilice indicadores de desempeño energético (EnPI) para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y ajustar las operaciones en tiempo real.

### **Enfoque académico**

Es fundamental promover la generación de conocimiento en torno a la gestión energética en la industria metalmecánica. Se recomienda desarrollar investigaciones orientadas a la correlación entre parámetros operativos, consumo energético y eficiencia productiva, ampliando el análisis hacia diferentes escenarios y tecnologías emergentes. Además, se sugiere incorporar estos hallazgos en programas de formación profesional y posgrado, fomentando competencias en sostenibilidad, eficiencia energética y dirección de

proyectos. La publicación de artículos científicos y estudios comparativos fortalecerá la transferencia de conocimiento y la validación del modelo propuesto en contextos industriales diversos.

### **Enfoque práctico**

Desde la perspectiva operativa, se recomienda implementar un programa de capacitación continua para el personal operativo y administrativo, enfocado en el uso eficiente de los equipos y la adopción de buenas prácticas energéticas. Este programa debe promover una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad, incorporando contenidos sobre mantenimiento preventivo, planificación de la producción y uso racional de la energía en las actividades diarias. Asimismo, se aconseja diseñar e implementar un plan de producción estructurado que permita minimizar los picos de ineficiencia identificados en el estudio, optimizando la programación de procesos. Finalmente, se recomienda examinar la viabilidad de proyectos de autogeneración mediante energías renovables, priorizando la energía solar fotovoltaica. Esta iniciativa debe contemplar un análisis técnico, económico y ambiental, así como la evaluación del retorno de inversión, para garantizar su sostenibilidad y pertinencia en el contexto empresarial.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdul, A., Alhijazi, K., & Almasri, R. A. (2023). A Hybrid Renewable Energy ( Solar / Wind / Biomass ) and Multi-Use System Principles , Types , and Applications : A Review. *Sustainability*, *15*, 1–24.
- Abid, I., & Hechmi, S. (2024). Impact of Energy Intensity and CO 2 Emissions on Economic Growth in Gulf Cooperation Council Countries. *Sustainability*, *16*.
- Aller, J., Salazar, L., Bueno, A., & Peña, M. (2010). Metodología para la Implantación de un Sistema Integral de Gestión de la Energía. *In IX Congreso de Instalaciones Electricas*, 1–8.
- Alotaibi, S., Alogaili, H., Alawwad, K., & Aljarallah, S. (2025). The Environmental and Business Benefits of Implementing the ISO 50001 Energy Management System in Government Buildings : A Case Study of the Saudi Standards , Metrology and Quality Organization ( SASO ). *Sustainability*, *17*, 2–26.
- Andrei, M. (2023). *The role of industrial energy management in the transition toward sustainable energy systems: Exploring practices, knowledge dynamics and policy evaluation* (Issue 2346). Linköping University.
- Angel, L., Carrera, I., Lorenzo, A., González, Á., Rodríguez-reséndiz, J., & Álvarez-alvarado, J. M. (2023). *Selection of the Energy Performance Indicator for Hotels Based on ISO 50001 : A Case Study*. 1–19.
- Arco, J., Sánchez, J., Guerrero, M. C., Hidalgo, D., Gil, F., & Álvarez, S. (2018). A daily baseline model based on transfer functions for the verification of energy saving . A case study of the administration room at the Palacio de la Madraza , Granada. *Applied Energy*, *224*(April), 538–549. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.060>
- Avella Campos, J. C., Caicedo Prías, O. F., Oqueña Quispe, E. C., Medina Vidal, J. R., & Figueroa Lora, E. D. (2008). Modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *Prospectiva*, *6*(30), 18–31.

[https://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas\\_cientificas/prospectiva/volumen-6-no-1/](https://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-6-no-1/)

Beltrán Gallego, J. D., Quintero Ríos, M., López García, D., & Carvajal Quintero, S. X. (2022). Energy Management Systems in Latin American Industry: Case Study Colombia. *TecnoLógicas*, 25(54), e2379. <https://doi.org/10.22430/22565337.2379>

Benedetti, M., & Introna, V. (2021). Industrial Energy Management and Sustainability. *Sustainability*, 13, 2–3.

Benotsmane, R., & Kovács, G. (2023). Optimization of Energy Consumption of Industrial Robots. *Energies*, 16.

Benti, N. E., Chaka, M. D., & Semie, A. G. (2023). Forecasting Renewable Energy Generation with Machine Learning and Deep Learning : Current Advances and Future Prospects. *Sustainability*, 15.

Bernabé, M. W., Gonzales, G. R., Egúzquiza, M. J., López, R., Lujan, R. O., & Rodríguez, L. R. (2025). Energy , Efficiency and Sustainability : Carbon Footprint Reduction in Industry through the Implementation of the ISO 50001 Standard. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 117(March), 673–678. <https://doi.org/10.3303/CET25117113>

Bruni, G., Santis, A. De, Herce, C., Leto, L., Martini, C., Martini, F., Salvio, M., Tocchetti, F. A., & Toro, C. (2021). From Energy Audit to Energy Performance Indicators ( EnPI ): A Methodology to Characterize Productive Sectors . The Italian Cement Industry Case Study. *Energies*, 1–28.

Campos, J. C. (2012). *Herramientas de planificación e implementación*.

Campos, J., Lora, E., Tovar, I., Prias, O., Quispe, E., & Vidal, J. (2008). Modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. In *Prospectiva* (Vol. 6, Issue 30, pp. 18–31).

[https://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas\\_cientificas/prospectiva/volumen-6-no-1/](https://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-6-no-1/)

- Cárdenas Guerra, C. A., Ospino Castro, A. J., & Peña Gallardo, R. (2023). Analysis of the Impact of Integrating Variable Renewable Energy into the Power System in the Colombian Caribbean Region. *Energies*, *16*.
- Cardona, D., Tamayo, J. A., & Eslava-Garzón, J. S. (2024). Hacia una matriz energética sostenible en Colombia. Una revisión sistemática de la literatura. *Información Tecnológica*, *35*(5), 1–16. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000500001>
- Carretero, A., & García, J. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. AENORediciones.
- Carrillo, C., Díaz Dorado, E., Cidrás Pidre, J., Garrido Campos, J., San Facundo López, D., Lisboa Cardoso, L. A., Martínez Castañeda, C. I., & Sánchez Rúa, J. F. (2023). Detailed Energy Analysis of a Sheet-Metal-Forming Press from Electrical Measurements. *Energies*, *16*, 1–17.
- Casares San José-Martí, I. (2013). *Procesos de Gestión de riesgos y seguros en las Empresas*.
- Castillo Martín, P. (2011). Política Económica: Crecimiento Económico, Desarrollo Económico, Desarrollo Sostenible. *Revista Internacional Del Mundo Económico y Del Derecho Volumen*, *3*, 1–12.
- Castrillón, R., Rey-Hernandez, J. M., & Rey-Martinez, F. J. (2020). Industrial Decarbonization by a New Energy-Baseline Methodology. Case Study. *Sustainability*.
- CEPAL. (2003). *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe 2003*.
- Chamorro, M. V., Avella, J. C., Barrios, F. G., Mendoza, J. B., & Campis, A. C. (2025). Development and Evaluation of an Intelligent Iot-Based Monitoring System for Energy Management in a Commercial Refrigeration System in the Colombian Caribbean Coast. *EUREKA, Physics and Engineering*, *2025*(3), 12–26. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003612>

- Cheng, C.-H., Tang, B.-J., & Cheng, Y.-R. (2024). Strategies and Tools for Small- and Medium-Sized Enterprises ( SMEs ) to Move toward Green Operations : The Case of the Taiwan Metal Industry. *Sustainability*, *16*, 2–17.
- Chou, C., Ngo, S. L., & Tran, P. P. (2023). Renewable Energy Integration for Sustainable Economic Growth : Insights and Challenges via Bibliometric Analysis. *Sustainability*, *15*, 1–26.
- Díaz, J. (2019). *Diseño del sistema de gestión energética - Norma ISO 50001 para optimizar el consumo de energía en Hipermercados Tottus- Chapén 2019*. Universidad César Vallejo.
- EIA, U. E. I. A. (2016). Petroleum and other liquids data. *U.S. Energy Information Administration*.
- España Bernal, W. E. (2018). *Caracterización energética basada en el estándar ISO 50001:2011 para la gestión eficiente de energía de la PTAP CENTENARIO propiedad de EMPOPASTO S.A. E.S.P.* Universidad Nacional de Colombia.
- Fitzgerald, P., Therkelsen, P., Sheaffer, P., & Rao, P. (2023). Deeper and persistent energy savings and carbon dioxide reductions achieved through ISO 50001 in the manufacturing sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *57*(July 2022), 103280. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103280>
- Fletcher, A. (2018). *ISO 50001: Energy management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/69426.html>
- Fuchs, H., Aghajanzadeh, A., & Therkelsen, P. (2020). Identification of drivers , benefits , and challenges of ISO 50001 through case study content analysis. *Energy Policy*, *142*, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111443>
- Fuchs, H., Therkelsen, P., Miller, W. C., Siciliano, G., & Sheaffer, P. (2023). *ISO 50001- Based Energy Management Systems as a Practical Path for Decarbonization : Initial Findings from a Survey of Technical Assistance Cohort Participants*.

- Fuinhas, A., & Koengkan, M. (2023). Renewable Energy Consumption and Economic Growth — Special Issue. *Sustainability*, *15*, 1–2.
- Gabric, A. J. (2023). *The Climate Change Crisis : A Review of Its Causes and Possible Responses*.
- García Arbelaez, C., Vallejo, G., Higgins, M. L., & Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París: Así actuará Colombia frente al cambio climático* (WWF Colomb).
- Gennitsaris, S., Oliveira, M. C., Vris, G., Bofilios, A., Ntinou, T., Frutuoso, A. R., Queiroga, C., Giannatsis, J., Sofianopoulou, S., & Dedoussis, V. (2023). Energy Efficiency Management in Small and Medium-Sized Enterprises : Current Situation , Case Studies and Best Practices. *Sustainability*, *15*, 1–26.
- Gitelman, L., Kozhevnikov, M., & Vosotskaya, Y. (2023). Diversification as a Method of Ensuring the Sustainability of Energy Supply within the Energy Transition. *Resources*, *12*.
- Grimaccia, F., Nicolai, A., Mussetta, M., & Alessandro, G. D. (2023). *applied sciences ISO 50001 Data Driven Methods for Energy Efficiency Analysis of Thermal Power Plants*.
- Guidi, G., Violante, A. C., & Iuliis, S. De. (2023). Environmental Impact of Electricity Generation Technologies : A Comparison between Conventional, Nuclear and Renewable Technologies. *Energies*, *16*.
- Hafner, S., Gottschamer, L., Kubli, M., & Pasqualino, R. (2024). Building the Bridge : How System Dynamics Models Operationalise Energy Transitions and Contribute towards Creating an Energy Policy Toolbox. *Sustainability*, *16*.
- Hanifi, S., Alkali, B., & Lindsay, G. (2025). *Optimizing Energy and Air Consumption in Smart Manufacturing : An Industrial Internet of Things-Based Monitoring and Efficiency Enhancement Solution*. 1–19.
- Hernández, D. M. (2021). *DEMAND FORECASTING MODEL FOR LOAD SHIFTING*

*STRATEGY IN BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM*. University of Valladolid and the Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

Hernández Palma, H., J. Novoa, D., & Mendoza Cásseres, D. (2023). Recibido: 23 de noviembre 2022 Aceptado 15 febrero de 2023: *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(41), 123–132.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Mc Graw Hill* (Vol. 87, Issue 1,2).

iea. (2020). *Key World Energy Statistics 2020*.

International Energy Agency, E. (2025). *Total energy supply by source*. [https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource)

Introna, V., Santolamazza, A., & Cesarotti, V. (2024). Integrating Industry 4.0 and 5.0 Innovations for Enhanced Energy Management Systems "2279. *Energies*, 17.

Ioshchikhes, B., Zink, R., Ozen, O., & Weigold, M. (2025). A Holistic Framework for Developing Expert Systems to Improve Energy Efficiency in Manufacturing. *Preprints.Org*, 0–18. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.2088.v1>

ISO 50001. (2011). *Sistemas de gestión de la energía*.

ISOTools. (2020). *ISO 50001: sistema de gestión energética (estructura, requisitos y ciclo PHVA)*. ISOTools. <https://isotools.org/isotools/normas/sistemas-de-gestion-ambiental-y-energia/iso-50001/>

Izquierdo-monge, O., Peña-carro, P., Hern, A., Zorita-lamadrid, A., & Hern, L. (2024). *applied sciences Methodology for Energy Management in a Smart Microgrid Based on the Efficiency of Dispatchable Renewable Generation Sources and Distributed Storage Systems*.

- Kanchiralla, F. M., Jalo, N., Johnsson, S., Thollander, P., & Andersson, M. (2020). *Energy End-Use Categorization and Performance*.
- Kansara, R., & Roldán Serrano, M. I. (2024). Coupled Design and Operation Optimization for Decarbonization of Industrial Energy Systems Using an Open-Source In-House Tool. *Eng*, 3033–3048.
- Kouaho, E. S., N'Guessan, Y., & Marvillet, C. (2024). Comparative Study of an Energy Information System and Energy. *Energies*, 17, 1–16.
- Lemence, A. L. G., & Cravioto, J. (2024). Review of Social Sustainability Assessments of Electricity Generating Systems. *Energies*, 17, 1–37.
- Li, J., Hao, H., Xiong, X., Chai, J., Cui, H., Li, H., & Cheng, Z. (2025). Sustainable Energy Systems Through Fair Carbon Pricing: A Shapley Value-Based Optimization Framework. *Sustainability*, 17, 1–38.
- Mirandola, I., Berti, G. A., Caracciolo, R., Lee, S., Kim, N., & Quagliato, L. (2021). Machine Learning-Based Models for the Estimation of the Energy Consumption in Metal Forming Processes. *Metals*, 11.
- Mišljenovi, N., Šljivac, D., & Sumper, A. (2023). A Review of Energy Management Systems and Organizational Structures of Prosumers. *Energies*, 16, 1–32.
- Molina Medina, B. V., Valencia Ochoa, G. E., & Espinel Blanco, E. (2024). Implementación de la etapa de decisión estratégica de un sistema de gestión energética: Norma ISO 50001. *Revista de Ciencias Sociales*, XXX(3), 258–271. <https://doi.org/10.31876/rcs.v30i3.42663>
- Na, H., Sun, J., Yuan, Y., Qiu, Z., Zhang, L., & Du, T. (2024). Theoretical Energy Consumption Analysis for Sustainable Practices in Iron and Steel Industry. *Metals*, 14, 1–17.
- Nguyen, M. P., & Ponomarenko, T. (2024). Energy Transition in Vietnam: A Strategic Analysis and Forecast. *Sustainability*, 16, 2–20.

- Niño Villamizar, Y. A., Nieves Plata, M. E., & Cortés Jiménez, C. A. (2023). *Desafíos de la transición energética sostenible : perspectivas para la investigación y la gestión Challenges of Sustainable Energy Transition : Perspectives for Research*. 31(2), 137–158.
- Oltulular, S. (2025). Energy Efficiency and Environmental Technologies in Carbon Emissions Reduction Strategies for a Sustainable Future : Estimation Through Simultaneous Equation Systems. *Energies*, 18, 1–28.
- Prias Caicedo, O. F., Campos Avella, J. C., Rojas Rodríguez, D. B., & Palencia Salas, A. (2019). *Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO*.
- Pushpo, F. H. (2024). Sustainable Energy Transitions : Assessing the Alignment of ISO 50001 with SDGs and Industry 4 . 0. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 13(4), 363–375.
- Raaj, M. A. T., Balaji, B., R, S. A. P. R., Naidu, R. C., M, R. K., Ramachandran, P., Rajkumar, S., Kumar, V. N., Aggarwal, G., & Sddiqui, A. M. (2024). Intelligent Energy Management across Smart Grids Deploying. *Iot*, 5, 560–591.
- Raman, R., Gunasekar, S., & Kaliyaperumal, D. (2024). Navigating the Nexus of Artificial Intelligence and Renewable Energy for the Advancement of Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 16, 1–25.
- RECIEE, R. C. D. C. E. E. E.-. (2011). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA GUIA CON BASE EN LA NORMA ISO 50001*.
- RECIEE, R. C. D. C. E. E. E.-. (2019). *Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001*.
- Reyes, N., & Boente, A. (2019). Metodología de la Investigacion Compilación Total. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Riedy, J. (1997). *The Kyoto Protocol*. UNFCCC Convención Marco de Las Naciones

Unidas Sobre El Cambio Climático. <https://unfccc.int>

- Safari, A., Daneshvar, M., & Anvari-moghaddam, A. (2024). *Energy Intelligence : A Systematic Review of Artificial Intelligence for Energy Management*.
- Saher, A., Kim, G., Ahn, J., Chae, N., & Chung, H. (2025). Factors Affecting CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O Fluxes in Temperate Forest Soils. *Forests*, 1–30.
- Salimnezhadgharehzaedini, A. (2016). *Politecnico di Milano Department of Management, Economics and Industrial Engineering*. University Politecnico di Milano.
- Šebo, J., Prester, J., & Šebová, M. (2023). The Role of Environmental Management Systems and Energy Management Systems in the Adoption of Energy Recuperation Technologies in Central European Manufacturing Companies. *Sustainability*, 15.
- Seminario-c, R., & Rojas-ortega, R. (2023). Renewable Energy Sources and Energy Production : A Bibliometric Analysis of the Last Five Years. *Sustainability*, 15, 2–22.
- Sepúlveda Amar, A. P., Angulo, G., Quintero, J. D., & Ortega Buelvas, M. (2021). Estudio Prospectivo del Sector Metalmecánico en la Región Caribe Colombiana. *XI Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica*, 1–17.
- Setyadi, A., Soekotjo, S., Lestari, S. D., Pawirosumarto, S., & Damaris, A. (2025). Trends and Opportunities in Sustainable Manufacturing : A Systematic Review of Key Dimensions from 2019 to 2024. *Sustainability*, 17, 1–34.
- Singer, L. E., & Peterson, D. (2016). *International Energy Outlook 2016* (Vol. 0484, Issue May).
- Sukhu, A., & Bilgihan, A. (2025). Service recovery strategies : mitigating negative word-of-mouth in the hotel industry through enhanced customer engagement. *International Hospitality Review*, 39(2), 210–229. <https://doi.org/10.1108/IHR-05-2023-0025>

- Sundaramoorthy, S., Kamath, D., Nimbalkar, S., Price, C., Wenning, T., & Cresko, J. (2023). Energy Efficiency as a Foundational Technology Pillar for Industrial Decarbonization. *Sustainability*, *15*, 1–24.
- Szeszák, B. M., Kerékjártó, I. G., Soltész, L., & Galambos, P. (2025). Industrial Revolutions and Automation: Tracing Economic and Social Transformations of Manufacturing. *Societies*, *15*, 1–29.
- Torres, Y. (2020). Eficiencia energética y ahorro de energía residencial. *South Sustainability*, *1*(1), 1–4. <https://doi.org/10.21142/ss-0101-2020-011>
- Vance, D., Jin, M., Wenning, T., Nimbalkar, S., & Price, C. (2025). Next-Level Energy Management in Manufacturing: Facility-Level Energy Digital Twin Framework Based on Machine Learning and Automated Data Collection. *Energies*, *18*, 1–28.
- Vargas-gurrola, L., Aguilar-virgen, Q., & Balderas-lópez, S. (2025). PDCA-Based Methodology for the Evaluation of Energy Efficiency in the Industrial Sector. *Applied Science*, *15*, 1–16.
- Wang, R. (2022). *Energy saving technologies and optimisation of energy use for decarbonised iron and steel industry* Energy saving technologies and optimisation of energy use for decarbonised iron and steel industry. Durham University.
- Wen, J., Wan, C., Ye, Q., Yan, J., & Li, W. (2023). Disaster Risk Reduction , Climate Change Adaptation and Their Linkages with Sustainable Development over the Past 30 Years : A Review. *International Journal of Disaster Risk Science*, *14*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00472-3>
- Wright, C. (2023). *Kyoto Protocol greenhouse gases and the Canadian Environmental Protection Act*. Government of Canada.
- Xu, P., Chen, L., & Dai, H. (2023). Pathways to Sustainable Development : Corporate Digital Transformation and Environmental Performance in China. *Sustainability*, *15*.
- Yao, S., Fan, K., Qi, Z., Feng, R., & Zhou, B. (2025). *Current Estimates on Greenhouse*

*Gas Emissions in China Between 1970 and 2023.* 1–24.

Yasmin, R., Amin, B. M. R., Shah, R., & Barton, A. (2024). *A Survey of Commercial and Industrial Demand Response Flexibility with Energy Storage Systems and Renewable Energy.*

Zhang, X., Shi, X., Khan, Y., & Hassan, T. (2023). Carbon Neutrality Challenge : Analyse the Role of Energy Productivity , Renewable Energy , and Collaboration in Climate Mitigation Technology in OECD Economies. *Sustainability*, 15, 1–20.

## ANEXOS

### Anexo 1. Encuesta aplicada a los trabajadores de la empresa en relación a la práctica Energética.

#### Encuesta sobre prácticas de uso eficiente de la energía



El objetivo de esta encuesta es conocer las prácticas de uso de la energía en las operaciones diarias dentro de la empresa. La información recopilada permitirá identificar oportunidades de mejora y diseñar estrategias para optimizar el consumo energético. Sus respuestas son confidenciales y se utilizarán únicamente con fines de análisis interno.

\* Obligatoria

\* Este formulario registrará su nombre, escriba su nombre.

1. Nombre Completo \*

2. Fecha \*

3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

Sí

No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

- Nunca
- A veces
- Usualmente
- Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

- Si
- No

8. ¿A qué área de trabajo pertenece? \*

- Producción - Zona Torneado
- Producción - Zona Fresado
- Producción - Zona Soldadura
- Producción - Zona Taladrado

9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan) \*

Seleccione 3 opciones.

- Dejar la maquina encendida cuando no está en operación
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso
- Otros

10. ¿Cuántas maquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? \*

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Si
- No

12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? \*

- Entre 1 a 6 meses
- Entre 7 a 12 meses
- Entre 13 a 24 meses
- No se realiza

13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción) \*

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las máquinas
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina

Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 2. Formulario diseñado para la evaluación por expertos de la encuesta de práctica energética.

### Formulario de evaluación de encuesta sobre prácticas de uso de la energía

Este formulario tiene como objetivo valorar la calidad del instrumento diseñado para recopilar información sobre las prácticas energéticas en la empresa. La evaluación se realizará con base en cinco criterios: **Pertinencia, Viabilidad, Funcionalidad, Innovación y Comunicación**. Por favor, seleccione el nivel que considere adecuado para cada criterio según la descripción proporcionada. Sus respuestas permitirán identificar fortalezas y oportunidades de mejora en el diseño del instrumento.

Escala de valoración:

- Excelente (4)
- Bueno (3)
- Básico (2)
- Insuficiente (1)

1. Nombre Completo \*

2. Correo electrónico institucional \*

3. Último grado académico \*

- Maestría
- Doctorado
- Otro

4. Escriba su último grado de formación \*

5. Pertinencia (20%) ¿En qué nivel considera que el formulario responde al objetivo de conocer las prácticas de uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Excelente (4): Todas las preguntas están alineadas con el objetivo y cubren aspectos clave (hábitos, normas, mejoras).
- Bueno (3): La mayoría de las preguntas son relevantes, pero falta cubrir algún aspecto importante.
- Básico (2): Algunas preguntas no se relacionan directamente con el objetivo.
- Insuficiente (1): El formulario no responde al objetivo planteado.

6. Viabilidad (20%) ¿Qué tan aplicable es el instrumento en el contexto de la empresa, considerando tiempo, lenguaje y facilidad de respuesta? \*

- Excelente (4): Fácil de aplicar, lenguaje claro, tiempo adecuado.
- Bueno (3): Aplicable, pero con pequeños ajustes en lenguaje o tiempo.
- Básico (2): Presenta dificultades para aplicarse (tiempo excesivo o lenguaje poco claro).
- Insuficiente (1): No es viable en el contexto operativo.

7. Funcionalidad (20%) ¿Las preguntas permiten obtener información clara y útil para diagnosticar prácticas y condiciones energéticas? \*

- Excelente (4): Permite diagnóstico completo y útil para la toma de decisiones.
- Bueno (3): Permite diagnóstico parcial, falta profundidad en algunos aspectos.
- Básico (2): Información limitada, no permite análisis completo.
- Insuficiente (1): No aporta información útil para el diagnóstico.

8. Contribución (20%) ¿El formulario incluye elementos que aportan al desarrollo de mejoras o propuestas para optimizar las prácticas energéticas? \*

- Excelente (4): Incluye preguntas que generan propuestas y reflexión sobre mejoras.
- Bueno (3): Incluye alguna pregunta sobre mejoras, pero poco desarrollada.
- Básico (2): No incluye preguntas sobre propuestas, solo diagnóstico básico.
- Insuficiente (1): No aporta innovación ni fomenta mejoras.

9. Comunicación del Instrumento (20%) ¿El formulario está redactado con claridad, lenguaje comprensible y estructura lógica? \*

- Excelente (4): Lenguaje claro, orden lógico, sin ambigüedades.
- Bueno (3): Lenguaje claro, pero con pequeños ajustes necesarios.
- Básico (2): Presenta ambigüedades o falta de orden en la estructura.
- Insuficiente (1): Lenguaje confuso, dificulta la comprensión.

### Anexo 3. Resultados de la evaluación de expertos de la encuesta de práctica energética.

5. Pertinencia (20%) ¿En qué nivel considera que el formulario responde al objetivo de conocer las prácticas de uso eficiente de la energía en la empresa? (0 punto) [Más detalles](#)

- Excelente (4): Todas las preguntas están alineadas con el objetivo y cubren aspectos clave (hábitos,...
- Bueno (3): La mayoría de las preguntas son relevantes, pero falta cubrir algún aspecto...
- Básico (2): Algunas preguntas no se relacionan directamente con el objetivo.
- Insuficiente (1): El formulario no responde al objetivo planteado.



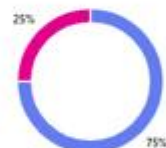
6. Viabilidad (20%) ¿Qué tan aplicable es el instrumento en el contexto de la empresa, considerando tiempo, lenguaje y facilidad de respuesta? (0 punto) [Más detalles](#)

- Excelente (4): Fácil de aplicar, lenguaje claro, tiempo adecuado.
- Bueno (3): Aplicable, pero con pequeños ajustes en lenguaje o tiempo.
- Básico (2): Presenta dificultades para aplicarse (tiempo excesivo o lenguaje poco claro).
- Insuficiente (1): No es viable en el contexto operativo.



7. Funcionalidad (20%) ¿Las preguntas permiten obtener información clara y útil para diagnosticar prácticas y condiciones energéticas? (0 punto) [Más detalles](#)

- Excelente (4): Permite diagnóstico completo y útil para la toma de decisiones.
- Bueno (3): Permite diagnóstico parcial, falta profundidad en algunos aspectos.
- Básico (2): Información limitada, no permite análisis completo.
- Insuficiente (1): No aporta información útil para el diagnóstico.



8. Contribución (20%) ¿El formulario incluye elementos que aportan al desarrollo de mejoras o propuestas para optimizar las prácticas energéticas? (0 punto) [Más detalles](#)

- Excelente (4): Incluye preguntas que generan propuestas y reflexión sobre mejoras.
- Bueno (3): Incluye alguna pregunta sobre mejoras, pero poco desarrollada.
- Básico (2): No incluye preguntas sobre propuestas, solo diagnóstico básico.
- Insuficiente (1): No aporta innovación ni fomenta mejoras.



9. Comunicación del instrumento (20%) ¿El formulario está redactado con claridad, lenguaje comprensible y estructura lógica? (0 punto) [Más detalles](#)

- Excelente (4): Lenguaje claro, orden lógico, sin ambigüedades.
- Bueno (3): Lenguaje claro, pero con pequeños ajustes necesarios.
- Básico (2): Presenta ambigüedades o falta de orden en la estructura.
- Insuficiente (1): Lenguaje confuso, dificulta la comprensión.



## Anexo 4. Tabla de registro de práctica operacional.

Formato de Registro de Práctica Operacional Energética						
Empresa:				Operador:		
Jornada Laboral:			Departamento o área de trabajo:		Periodo de investigación:	
Item	Equipo (Tipo - Modelo)	Fecha y Hora de Inicio de la Operación. (DD/MM/AA) – (HR/MIN)	Fecha y Hora de Finalización de la Operación. (DD/MM/AA) – (HR/MIN)	Modo de operación: Manual (M) Automático (A) Semiautomático (SA)	Medición de parámetros de operación: Voltaje (Volts) Corriente (Amp)	Responsable :
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5. Resultados de la encuesta de práctica energética. Muestra de encuestas desarrolladas por un soldador, un tornero, un fresador y un ayudante.

### Encuesta No. 1

1. Nombre Completo \*

Trabajador 1

2. Fecha \*

22/9/2025

3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

Ayudante

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

2

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

Si

No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

Nunca

A veces

Usualmente

Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

Si

No

8. ¿A qué área de trabajo pertenece? \*

- Producción - Zona Torneado
- Producción - Zona Fresado
- Producción - Zona Soldadura
- Producción - Zona Taladrado

9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan)

- Dejar la maquina encendida cuando no está en operación
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso
- Otros

10. ¿Cuántas maquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? \*

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Si
- No

12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? \*

- Entre 1 a 6 meses
- Entre 7 a 12 meses
- Entre 13 a 24 meses
- No se realiza

13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción)

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las maquinas
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina

## Encuesta No. 2

1. Nombre Completo \*

Trabajador 4

2. Fecha \*

23/9/2025



3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

Tornero

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

5

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

 Sí No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

 Nunca A veces Usualmente Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

 Sí No

8. ¿A qué área de trabajo pertenece? \*

- Producción - Zona Torneado
- Producción - Zona Fresado
- Producción - Zona Soldadura
- Producción - Zona Taladrado

9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan)

- Dejar la maquina encendida cuando no está en operación
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso
- Otros

10. ¿Cuántas maquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? \*

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Si
- No

12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? \*

- Entre 1 a 6 meses
- Entre 7 a 12 meses
- Entre 13 a 24 meses
- No se realiza

13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción)

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las maquinas
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina

## Encuesta No. 3

1. Nombre Completo \*

Trabajador 6

2. Fecha \*

24/9/2025



3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

Fresador

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

9

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

 Sí No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

 Nunca A veces Usualmente Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

 Sí No

8. ¿A qué área de trabajo pertenece? \*

- Producción - Zona Torneado
- Producción - Zona Fresado
- Producción - Zona Soldadura
- Producción - Zona Taladrado

9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan)

- Dejar la maquina encendida cuando no está en operación
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso
- Otros

10. ¿Cuántas maquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? \*

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Si
- No

12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? \*

- Entre 1 a 6 meses
- Entre 7 a 12 meses
- Entre 13 a 24 meses
- No se realiza

13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción)

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las maquinas
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina

## Encuesta No. 4

1. Nombre Completo \*

Trabajador 8

2. Fecha \*

25/9/2025



3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

Soldador

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

6

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

 Sí No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

 Nunca A veces Usualmente Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

 Sí No

8. ¿A qué área de trabajo pertenece? \*

- Producción - Zona Torneado
- Producción - Zona Fresado
- Producción - Zona Soldadura
- Producción - Zona Taladrado

9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan)

- Dejar la maquina encendida cuando no está en operación
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso
- Otros

10. ¿Cuántas maquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? \*

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? \*

- Si
- No

12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? \*

- Entre 1 a 6 meses
- Entre 7 a 12 meses
- Entre 13 a 24 meses
- No se realiza

13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción)

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las máquinas
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina

1. Nombre Completo \*

Trabajador 4

2. Fecha \*

23/9/2025



3. Cargo que desempeña en la Empresa \*

Tornero

4. Tiempo laborando en la empresa (años) \*

5

5. ¿Conoce usted la norma ISO 50001? \*

Si

No

6. ¿Aplica dentro de su jornada laboral prácticas de manejo eficiente de la energía? \*

Nunca

A veces

Usualmente

Siempre

7. ¿Ha recibido capacitación o información sobre el uso eficiente de maquinas-herramientas y equipos? \*

Si

No

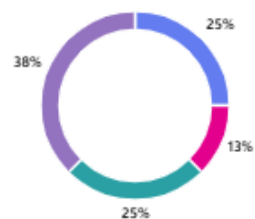
## Anexo 6. Resultados totales de la encuesta de práctica energética.



8. ¿A qué área de trabajo pertenece? (0 punto)

[Más detalles](#)

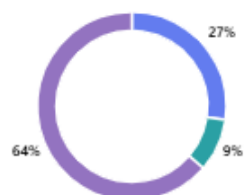
- Producción - Zona Torneado 2
- Producción - Zona Fresado 1
- Producción - Zona Soldadura 2
- Producción - Zona Taladrado 3



9. ¿Cuál de las siguientes prácticas realiza en su jornada de trabajo? (Marque todas las que correspondan) (0 punto)

[Más detalles](#)

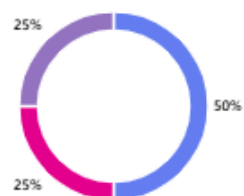
- Dejar la máquina encendida cuando no está en operación 3
- Dejar la puerta abiertas de áreas con el aire acondicionado encendido 0
- Dejar la maquinaria operando sin tener un pieza de trabajo en proceso 1
- Otros 7



10. ¿Cuántas máquinas herramientas y equipos eléctricos opera dentro de su jornada diaria? (0 punto)

[Más detalles](#)

- 1 4
- 2 2
- 3 0
- Más de 3 2



11. ¿Considera que es posible mejorar las prácticas operacionales relacionadas con el uso eficiente de la energía en la empresa? (0 punto) [Más detalles](#)

- Si 8
- No 0



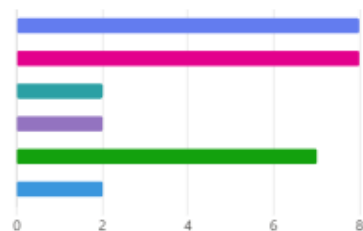
12. ¿Cada cuánto tiempo se les realiza mantenimiento preventivo a los equipos de trabajo? (0 punto) [Más detalles](#)

- Entre 1 a 6 meses 5
- Entre 7 a 12 meses 3
- Entre 13 a 24 meses 0
- No se realiza 0



13. ¿Qué propuestas considera importantes para mejorar las prácticas de uso eficiente de la energía en su área de trabajo? (puede seleccionar más de una opción) (0 punto) [Más detalles](#)

- Apagar las máquinas cuando no estén en operación 8
- Programar mantenimientos preventivos más frecuentes 8
- Capacitación periódica sobre uso eficiente de equipos 2
- Instalar indicadores o alarmas de consumo energético en las máquinas 2
- Optimizar la programación de producción para reducir tiempos muertos 7
- Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético por máquina 2



## Anexo 7. Certificación de ponencia en congreso CICAC 2025



## Anexo 8. Reconocimiento mejor ponencia en congreso CICAC 2025

