IDEOs
Centro de Investigación
y Producción Científica

EL FUTURO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

GEMELOS DIGITALES, SIMULACIÓN PREDICTIVA Y EL CICLO PHVA EN ISO 50001

AUTOR

MIGUEL WILFREDO BERNABE CUSTODIO

CO-AUTORES

JORGE LUÍS ZAVALA SOLÓRZANO
ESTEBAN CRISTOBAL CASTELLANOS BORRERO
CARLOS ALFREDO PALOMINO ARANA
KARLA PALOMINO MUNARRIZ

El Futuro de la Eficiencia Energética Industrial

Gemelos Digitales, Simulación Predictiva y el Ciclo PHVA en ISO 50001

Editor

IDEOs
Centro de Investigación
y Producción Científica

El Futuro de la Eficiencia Energética Industrial

Gemelos Digitales, Simulación Predictiva y el Ciclo PHVA en ISO 50001

Miguel Wilfredo Bernabe Custodio, Jorge Luis Zavala Solórzano, Esteban Cristobal Castellanos Borrero, Carlos Alfredo Palomino Arana, Karla Elia Palomino Munarriz

Editado por

CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN CIENTÍFICA IDEOS E.I.R.L

Dirección: Calle Teruel N° 292, Urb. Las Américas - Miraflores-Perú

RUC: 20606452153

Primera edición digital, Agosto 2026

Libro electrónico disponible en www.tecnohumanismo.online

ISBN: 978-612-5241-39-9

Depósito Legal N°: 2026-10134

9 786125 241399

CC BY

Miguel Wilfredo Bernabe Custodio

ing.mwbernabe@ieee.org
https://orcid.org/0000-0002- 2494-3236
Institute of Electrical and Electronics Engineers. (IEEE- PERU) - IEEE R9 - Industrial Engagement

Jorge Luís Zavala Solórzano

jzavala@unaat.edu.pe
https://orcid.org/0000-001-9147-2799
Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma – UNAAT, Junín – Perú

Esteban Cristobal Castellanos Borrero

eccastell@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9958-4485
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima –Perú

Carlos Alfredo Palomino Arana

21416533@g.udea.edu.pe
https://orcid.org/0009-0009-9013-8153
Universidad para el desarrollo Andino, Huancavelica - Perú

Karla Elia Palomino Munarriz

kpalominom@usil.edu.pe
https://orcid.org/0000-0001-8081-2911
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima - Perú

PRÓLOGO

La energía ha dejado de ser únicamente un recurso indispensable para la producción industrial para convertirse en uno de los principales factores estratégicos de competitividad, sostenibilidad e innovación. En un contexto caracterizado por el incremento de los costos energéticos, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la acelerada transformación tecnológica impulsada por la Industria 4.0 y la Industria 5.0, las organizaciones enfrentan el desafío de producir más utilizando menos recursos, sin comprometer la calidad, la rentabilidad ni la responsabilidad ambiental.

Durante las últimas décadas, la norma **ISO 50001** se ha consolidado como el principal referente internacional para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, proporcionando una metodología estructurada que permite a las organizaciones mejorar continuamente su desempeño energético mediante la aplicación del ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. Miles de empresas alrededor del mundo han demostrado que una adecuada gestión energética genera beneficios económicos, operacionales y ambientales que trascienden la simple reducción del consumo eléctrico.

Sin embargo, la velocidad con la que evolucionan las tecnologías digitales plantea un nuevo escenario. Hoy, herramientas como los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva**, el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, el análisis masivo de datos y la **inteligencia artificial** están transformando la forma en que las organizaciones monitorean, analizan y optimizan sus procesos. Estas tecnologías permiten pasar de una gestión basada en la reacción frente a los problemas a una gestión fundamentada en la anticipación, la predicción y la toma de decisiones inteligentes en tiempo real.

Este libro surge precisamente de esa convergencia entre la gestión energética tradicional y la transformación digital. Su punto de partida es una investigación aplicada desarrollada en una empresa del sector industrial, donde la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50001 permitió obtener una reducción significativa del consumo eléctrico y demostrar la eficacia del ciclo PHVA como herramienta de mejora continua. A partir de esa experiencia práctica, la obra amplía la discusión hacia un horizonte más ambicioso: la evolución de los sistemas de gestión energética mediante la incorporación de tecnologías digitales avanzadas.

Más que presentar un caso de éxito, esta obra propone una visión prospectiva sobre el futuro de la eficiencia energética industrial. Se plantea que la integración de los principios de la ISO 50001 con los gemelos digitales y la simulación predictiva puede dar origen a una nueva generación de sistemas de gestión energética, capaces de optimizar continuamente el desempeño de las organizaciones mediante modelos virtuales sincronizados con la operación real y apoyados por algoritmos inteligentes para la toma de decisiones.

El contenido ha sido desarrollado con un enfoque técnico y científico, pero procurando mantener una estructura didáctica que facilite su comprensión y aplicación. Está dirigido a ingenieros, investigadores, estudiantes de posgrado, consultores, auditores, responsables de mantenimiento, gerentes de operaciones y a todos aquellos profesionales interesados en liderar procesos de transformación energética dentro de sus organizaciones.

Finalmente, esta obra invita al lector a reflexionar sobre una idea fundamental: la eficiencia energética del futuro no dependerá únicamente de equipos más eficientes o de políticas mejor estructuradas, sino de la capacidad de integrar el conocimiento ingenieril con las tecnologías digitales emergentes para construir organizaciones más inteligentes, competitivas y sostenibles. Ese es el desafío que inspira este libro y la contribución que aspira a ofrecer al desarrollo de la ingeniería y la gestión energética del siglo XXI.

ÍNDICE

PRÓLOGO **3**
PRESENTACIÓN **9**
INTRODUCCIÓN **11**
CAPÍTULO I **14**
1.1 Referentes teóricos **15**
1.1.1 De las medidas de ahorro a la gestión sistemática de la energía 16
1.1.2 La eficiencia energética como factor de competitividad 17
1.1.3 Sistemas de gestión y mejora continua 18
1.1.4 La revisión energética, la línea base y los indicadores 19
1.1.5 La auditoría energética como herramienta de diagnóstico 20
1.1.6 Calidad de energía y desempeño industrial 21
1.1.7 Experiencias de implementación en distintos sectores 22
1.1.8 El caso de Ladrillera como referente aplicado 23
1.1.9 Síntesis de los referentes teóricos 24
1.2 Fundamentos de la eficiencia energética **24**
1.2.1 Gestión de la eficiencia energética 25
1.2.2 Eficiencia energética 26
1.2.3 Uso de la energía 26
1.2.4 Consumo energético 27
1.2.5 Desempeño energético 28
1.2.6 Indicadores de desempeño energético (EnPI) 28
1.2.7 Línea base energética 29
1.2.8 Línea meta energética 29
1.2.9 Auditoría energética 30
1.2.10 Mejora continua en la gestión energética 30
1.3 Indicadores y desempeño energético **31**
1.3.1 El desempeño energético 32
1.3.2 Importancia de los indicadores energéticos 32
1.3.3 Características de un buen indicador energético 33
1.3.4 Tipos de indicadores energéticos 34

1.3.5 Indicadores de desempeño energético (EnPI) 36
1.3.6 La línea base energética 36
1.3.7 La línea meta energética 37
1.3.8 Indicadores utilizados en la empresa Ladrillera Sagitario 37
1.3.9 Indicadores energéticos en la Industria 4.0 38
1.4 Beneficios de la gestión de la eficiencia energética 38
1.4.1 Beneficios económicos 39
1.4.2 Beneficios operacionales 40
1.4.3 Beneficios ambientales 41
1.4.4 Beneficios organizacionales 42
1.4.5 Beneficios tecnológicos 42
1.4.6 Beneficios estratégicos 43
1.4.7 Beneficios para la transformación digital 44
1.4.8 Síntesis de los beneficios de la gestión energética 44
1.5. La fábrica que no puede seguir decidiendo tarde 45
1.5.1 Las cinco decisiones que importan 47
CAPÍTULO II 48
2.1 Referentes teóricos 51
2.1.1 Antecedentes de los Sistemas de Gestión de la Energía 51
2.1.2 Surgimiento y evolución de la ISO 50001 53
2.1.3 El Sistema de Gestión de la Energía como enfoque organizacional 54
2.1.4 La planificación energética como fundamento del sistema 55
2.1.5 Liderazgo y política energética 56
2.1.6 Objetivos, metas y planes de acción 56
2.1.7 Medición y verificación del desempeño 57
2.1.8 Auditorías internas y revisión por la dirección 58
2.1.9 Integración de la ISO 50001 con otros sistemas de gestión 58
2.1.10 Experiencias nacionales de implementación 59
2.1.11 Experiencias internacionales 60
2.1.12 El caso de la Industria Ladrillera como aplicación integral 61
2.1.13 Limitaciones del modelo convencional 62
2.1.14 Síntesis de los referentes teóricos 62

2.2 Fundamentos del Sistema de Gestión de la Energía 63
2.2.1 Sistema de Gestión de la Energía: concepto y principios 63
2.2.2 Política energética 67
2.2.3 Planificación energética 72
2.2.4 Revisión energética 76
2.2.5 Línea base energética e indicadores energéticos 81
2.2.6 Objetivos, metas y planes de acción 85
2.2.7 Implementación y operación 90
2.2.8 Evaluación del desempeño energético 94
2.2.9 Mejora continua 100
2.2.10 Integración del Sistema de Gestión de la Energía con otros sistemas de gestión 104
2.3 El ciclo PHVA y la mejora continua 108
2.3.1 Planificar (Plan) 109
2.3.2 Hacer (Do) 110
2.3.3 Verificar (Check) 110
2.3.4 Actuar (Act) 111
CAPÍTULO III 116
3.1 Contexto de la organización 118
3.2 Metodología 121
3.3 Implementación del Sistema de Gestión de la Energía 124
3.4 Resultados y discusión 128
3.4.1 Resultados del desempeño energético 129
3.4.2 Resultados del consumo eléctrico 129
3.4.3 Evaluación económica 130
3.4.4 Validación estadística 130
3.5 Discusión 143
CAPÍTULO IV 147
4.1 Transformación digital de la gestión energética 150
4.2 Gemelos digitales aplicados a la eficiencia energética 154
4.3 Simulación predictiva e inteligencia artificial 160
4.4 El ciclo PHVA inteligente 165

4.4.1 Planificar mediante simulación predictiva 166
4.4.2 Hacer mediante sincronización físico-digital 167
4.4.3 Verificar mediante monitoreo inteligente 168
4.4.4 Actuar mediante inteligencia prescriptiva 169
4.5 Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM) 171
REFLEXIONES FINALES 194
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA 201

PRESENTACIÓN

La eficiencia energética ha dejado de ser una alternativa para convertirse en una necesidad estratégica para las organizaciones que buscan incrementar su competitividad, reducir costos operativos y contribuir al desarrollo sostenible. En un entorno donde los recursos energéticos son cada vez más valiosos y las exigencias ambientales más rigurosas, gestionar adecuadamente la energía representa uno de los mayores desafíos para la industria moderna.

La presente obra nace con el propósito de ofrecer una visión integral sobre la gestión de la eficiencia energética, combinando los fundamentos teóricos de la norma **ISO 50001** con la experiencia práctica obtenida a partir de la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en una organización industrial. A diferencia de otros textos centrados únicamente en los aspectos normativos, este libro busca establecer un puente entre la teoría, la aplicación práctica y las tecnologías emergentes que están redefiniendo el futuro de la gestión energética.

Los dos primeros capítulos desarrollan los principios que sustentan la eficiencia energética y el Sistema de Gestión de la Energía, abordando conceptos, metodologías, indicadores y herramientas que permiten comprender el funcionamiento de la norma ISO 50001 desde una perspectiva técnica y de gestión. Posteriormente, se presenta un caso de estudio basado en una experiencia real de implementación, donde se analiza el proceso metodológico, las acciones desarrolladas y los resultados obtenidos mediante la aplicación del ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**.

Finalmente, la obra incorpora una perspectiva prospectiva al explorar la convergencia entre la gestión energética y las tecnologías propias de la Industria 4.0 y la Industria 5.0. En este contexto, se plantea una propuesta orientada a integrar los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva** y la **inteligencia artificial** como herramientas capaces de fortalecer el ciclo PHVA y potenciar los Sistemas de Gestión de la Energía hacia un nuevo nivel de desempeño y toma de decisiones.

Este libro está dirigido a ingenieros, investigadores, docentes, estudiantes de pregrado y posgrado, consultores, responsables de mantenimiento, auditores y directivos que

participan en la planificación, operación y mejora de los procesos energéticos dentro de organizaciones públicas y privadas. Asimismo, constituye una fuente de consulta para quienes buscan comprender las tendencias actuales de la gestión energética y su evolución hacia modelos inteligentes basados en datos.

El propósito de esta publicación no es únicamente describir una metodología de gestión, sino promover una nueva forma de comprender la eficiencia energética como un proceso dinámico, sustentado en la mejora continua, la innovación tecnológica y la transformación digital. Se espera que las ideas desarrolladas en estas páginas sirvan como referencia para futuras investigaciones y como punto de partida para el diseño de sistemas energéticos más eficientes, sostenibles e inteligentes, capaces de responder a los desafíos de la industria del siglo XXI.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la actividad industrial durante las últimas décadas ha incrementado significativamente la demanda mundial de energía, convirtiéndola en uno de los recursos más estratégicos para el desarrollo económico y social. No obstante, este crecimiento también ha intensificado la preocupación por el uso ineficiente de los recursos energéticos, el aumento de los costos de producción y los efectos ambientales derivados del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la eficiencia energética ha dejado de ser una práctica complementaria para convertirse en un componente esencial de la gestión empresarial, al permitir que las organizaciones mejoren su competitividad mediante la optimización del consumo energético sin afectar la productividad ni la calidad de sus procesos (ISO, 2011; Ministerio de Energía y Minas, 2019).

La gestión eficiente de la energía constituye actualmente uno de los principales desafíos para el sector industrial. Diversos estudios internacionales coinciden en que una parte importante del consumo energético de las organizaciones puede reducirse mediante la implementación de sistemas de gestión, la incorporación de indicadores de desempeño energético, el monitoreo permanente de los procesos y la aplicación de programas de mejora continua, sin necesidad de realizar grandes inversiones en infraestructura (Carretero Peña & García Sánchez, 2012; Energy Star, 2008; CONUEE, 2014). Desde esta perspectiva, la energía deja de entenderse únicamente como un insumo de producción para convertirse en una variable estratégica cuya administración influye directamente sobre la rentabilidad, la sostenibilidad y la capacidad competitiva de las organizaciones.

Con el propósito de proporcionar un marco internacional para la administración sistemática de la energía, la **Organización Internacional de Normalización (ISO)** publicó la norma **ISO 50001**, la cual establece los requisitos para diseñar, implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de la Energía basado en el principio de mejora continua. Su estructura, sustentada en el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, permite que las organizaciones identifiquen oportunidades de mejora, establezcan indicadores energéticos, definan líneas base, evalúen el desempeño y desarrollen procesos permanentes de optimización orientados al uso racional de la energía (ISO, 2011; NTP-ISO 50001, 2012).

La implementación de la ISO 50001 ha demostrado resultados favorables en diferentes sectores productivos. Investigaciones desarrolladas en empresas industriales, instituciones educativas, organizaciones mineras y edificaciones comerciales evidencian reducciones significativas en el consumo energético, mejoras en los indicadores de desempeño, disminución de costos operativos y fortalecimiento de la cultura organizacional orientada al uso eficiente de la energía (Howk Prinsel & Ríos Gálvez, 2019; Zuloeta Vigo, 2018; Echeandía Diez, 2016; Plata Durán, 2019). Estos antecedentes confirman que la gestión energética representa una herramienta eficaz para incrementar la competitividad empresarial y contribuir simultáneamente al desarrollo sostenible.

Sobre esta base, el presente libro analiza los fundamentos conceptuales y metodológicos de la gestión de la eficiencia energética y del Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50001, complementándolos con un caso de estudio desarrollado en una organización industrial donde la aplicación del ciclo PHVA permitió mejorar el desempeño energético y reducir el consumo eléctrico mediante la implementación de acciones de gestión y optimización operacional. Este caso práctico constituye una evidencia de la aplicabilidad de la norma y de los beneficios que puede generar cuando es implementada de manera sistemática.

Sin embargo, la transformación digital está modificando profundamente la manera en que las organizaciones administran sus procesos. Tecnologías como el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, el análisis masivo de datos, la inteligencia artificial, la computación en la nube y los **gemelos digitales** están redefiniendo los sistemas tradicionales de monitoreo y control, permitiendo que la gestión energética evolucione desde modelos reactivos hacia esquemas predictivos e inteligentes. Estas herramientas posibilitan la simulación de escenarios futuros, el análisis continuo del comportamiento energético y la recomendación automática de acciones de mejora antes de que se produzcan desviaciones significativas, ampliando considerablemente el alcance del ciclo PHVA tradicional (CONUEE, 2014; DOE, 2012).

En este escenario, la presente obra no solo desarrolla los principios de la eficiencia energética y la implementación de la ISO 50001, sino que también propone una visión prospectiva de la gestión energética industrial. A partir de los fundamentos científicos existentes y de la experiencia obtenida en el caso de estudio, se plantea la integración entre

los Sistemas de Gestión de la Energía, los gemelos digitales y la simulación predictiva como una evolución natural de la mejora continua hacia modelos inteligentes de toma de decisiones. Esta propuesta busca contribuir al desarrollo de nuevas estrategias para la gestión energética en el contexto de la Industria 4.0 y la Industria 5.0, ofreciendo un marco conceptual que sirva de referencia para futuras investigaciones y para organizaciones interesadas en liderar los procesos de transformación energética mediante el uso de tecnologías digitales avanzadas.

Finalmente, este libro pretende constituirse en una obra de consulta para investigadores, ingenieros, consultores, docentes, estudiantes y profesionales vinculados con la gestión energética, proporcionando una visión integrada que combina fundamentos teóricos, evidencia práctica y proyección científica sobre el futuro de la eficiencia energética industrial.

Este libro nace de una convicción y de una evidencia. La convicción: que el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar no ha llegado a su límite, sino a su próxima versión. La evidencia: un caso real, medido y contrastado estadísticamente, donde ese ciclo todavía sin gemelos digitales, ya demostró resultados significativos. A partir de esa base se construye una pregunta que todo gerente de planta, todo auditor energético y todo estudiante de ingeniería deberá responder antes de que termine esta década: ¿seguirá gestionando la energía de su organización mirando por el espejo retrovisor, o aprenderá a conducirla mirando el camino que la simulación predictiva ya puede mostrarle?

Ese es el viaje que propone este libro. No es una promesa: es una hoja de ruta con datos, con normas internacionales vigentes, con un caso probado y con un modelo propio**, el 5GEM, que se atreve a imaginar la siguiente frontera de la eficiencia energética industrial.**

CAPÍTULO I

GESTIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

La eficiencia energética se ha consolidado como uno de los pilares fundamentales para el desarrollo sostenible y la competitividad de las organizaciones, surge una pregunta rectora: ¿cómo convertir datos energéticos en decisiones industriales verificables, seguras y económicamente defendibles? La obra integra el sistema de gestión de la energía de ISO 50001:2018 y su Enmienda 1:2024 con indicadores y líneas base, medición y verificación, auditoría energética, gemelos digitales y gobernanza de inteligencia artificial. El incremento de la demanda mundial de energía, la volatilidad de los mercados energéticos, el endurecimiento de las regulaciones ambientales y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado a las industrias a replantear la forma en que gestionan sus recursos energéticos. En este contexto, la energía deja de ser considerada únicamente como un insumo indispensable para la producción y pasa a convertirse en un factor estratégico cuya adecuada administración influye directamente en la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad empresarial (AEC, 2017; Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

Fundamentos de la eficiencia energética industrial

La gestión de la eficiencia energética comprende el conjunto de políticas, estrategias, procedimientos y herramientas orientadas a optimizar el uso de la energía sin afectar el desempeño de los procesos productivos. Su propósito no consiste únicamente en disminuir el consumo energético, sino en mejorar el desempeño global de las organizaciones mediante la eliminación de desperdicios, la incorporación de tecnologías más eficientes, el monitoreo permanente de los indicadores energéticos y la implementación de procesos de mejora continua (Carretero Peña & García Sánchez, 2012; Borroto et al., 2006).

Diversos organismos internacionales coinciden en que la eficiencia energética constituye una de las alternativas más rentables para enfrentar los desafíos energéticos y ambientales del presente siglo. Programas como **Energy Star**, el **Energy Management**

Action Programme (Energy MAP), las iniciativas del **Department of Energy (DOE)** de los Estados Unidos y las estrategias promovidas por organismos europeos demuestran que una adecuada gestión de la energía permite reducir significativamente los costos operativos, incrementar la confiabilidad de los procesos industriales y fortalecer la competitividad empresarial (Energy Star, 2008; DOE, 2012; SEAI, 2012).

En América Latina, la gestión energética ha adquirido una creciente relevancia debido a la necesidad de modernizar los procesos industriales y optimizar el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles. Diversas investigaciones desarrolladas en Perú, Ecuador, Colombia y Cuba evidencian que la implementación de metodologías de gestión energética genera mejoras sostenidas en el desempeño energético, incrementa la eficiencia de los sistemas productivos y produce importantes beneficios económicos y ambientales (Howk Prinsel & Ríos Gálvez, 2019; Zuloeta Vigo, 2018; Plata Durán, 2019; Martínez Marrero, 2016).

El presente capítulo desarrolla los fundamentos científicos de la gestión de la eficiencia energética industrial, revisando su evolución conceptual, los principales aportes de la literatura especializada y las herramientas que permiten evaluar y mejorar el desempeño energético de las organizaciones. Asimismo, se analizan los indicadores, metodologías y principios que constituyen la base para la implementación de sistemas de gestión de la energía, proporcionando el sustento teórico necesario para comprender los capítulos posteriores y, especialmente, la aplicación de la norma ISO 50001 en entornos industriales y su evolución hacia modelos inteligentes apoyados en tecnologías digitales.

1.1 REFERENTES TEÓRICOS

La gestión de la eficiencia energética industrial se ha desarrollado a partir de la convergencia de tres campos principales: la ingeniería energética, la gestión organizacional y la mejora continua. Inicialmente, las acciones orientadas al ahorro se concentraban en la sustitución de equipos, la reducción de pérdidas eléctricas y el control de los costos de suministro. Con el paso del tiempo, este enfoque predominantemente técnico evolucionó hacia una visión sistémica, en la cual la energía comenzó a gestionarse como una variable estratégica vinculada con la productividad, la competitividad, la sostenibilidad y la toma de decisiones empresariales.

Desde esta perspectiva, la eficiencia energética no se limita a consumir menos energía. Implica obtener un nivel igual o superior de producción, servicio o desempeño utilizando una menor cantidad de recursos energéticos. Esta idea supone analizar la relación entre la energía consumida y el resultado productivo alcanzado, identificando desviaciones, desperdicios y oportunidades de mejora. Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que la gestión de la eficiencia energética debe integrar el cálculo del consumo, la construcción de indicadores y la aplicación sistemática de acciones de mejora. Por tanto, el ahorro energético no puede depender de intervenciones aisladas, sino de un proceso permanente de planificación, medición, evaluación y corrección.

Borroto et al. (2006) amplían esta concepción al relacionar la gestión energética con la economía de la empresa. Para estos autores, el comportamiento energético de una organización debe evaluarse no solo desde el punto de vista físico —kilovatios-hora consumidos, demanda máxima o pérdidas eléctricas—, sino también considerando sus repercusiones económicas. La energía representa un costo directo de producción y, por ello, toda reducción sostenible del consumo puede traducirse en menores costos operativos, mejores márgenes y mayor capacidad competitiva. Esta relación entre energía, producción y economía constituye uno de los fundamentos del enfoque moderno de gestión energética.

1.1.1 De las medidas de ahorro a la gestión sistemática de la energía

Las primeras aproximaciones a la eficiencia energética industrial se apoyaron principalmente en medidas correctivas. Entre ellas destacaban la sustitución de luminarias, el mantenimiento de motores, la compensación de energía reactiva, el aislamiento térmico y la reducción de fugas. Aunque estas acciones podían generar ahorros inmediatos, generalmente se ejecutaban sin una metodología común y sin mecanismos permanentes de seguimiento.

La evolución conceptual de la eficiencia energética permitió comprender que las mejoras técnicas pierden efectividad cuando no se encuentran acompañadas por políticas, responsabilidades, indicadores y procesos de verificación. La Asociación Española para la Calidad considera que los sistemas de gestión energética proporcionan una estructura organizacional para controlar el uso y el consumo de energía, establecer objetivos y asegurar la continuidad de las mejoras (AEC, 2017). Esta visión introduce un cambio sustancial: la

eficiencia energética deja de ser responsabilidad exclusiva del área de mantenimiento y se convierte en una tarea transversal que involucra a la dirección, las áreas productivas, compras, ingeniería, logística y al personal operativo.

La Agencia Andaluza de la Energía (2011) señala que el análisis energético debe partir de información confiable sobre el comportamiento histórico y actual de los consumos. La identificación de patrones permite reconocer las áreas de mayor demanda, establecer tendencias y diferenciar el consumo necesario para la producción de aquel que corresponde a pérdidas, ineficiencias o cargas no asociadas directamente al proceso. En consecuencia, la calidad de los datos constituye una condición esencial para gestionar adecuadamente la energía.

Este enfoque sistemático también aparece en las directrices de Energy Star (2008), donde la gestión energética se presenta como un proceso continuo que requiere compromiso organizacional, evaluación del desempeño, fijación de metas, elaboración de planes de acción, implementación, revisión y reconocimiento de resultados. De manera semejante, el programa Energy MAP de la Sustainable Energy Authority of Ireland propone una secuencia orientada a convertir la eficiencia energética en una práctica regular dentro de las organizaciones, evitando que dependa exclusivamente de iniciativas temporales o de la disponibilidad ocasional de recursos (SEAI, 2012).

1.1.2 La eficiencia energética como factor de competitividad

La literatura especializada coincide en que la energía debe ser tratada como una variable de gestión y no únicamente como un servicio adquirido. En numerosas industrias, el costo energético representa una parte significativa del costo total de producción. Por ello, pequeñas variaciones en el consumo específico pueden afectar la rentabilidad, especialmente en procesos intensivos en electricidad, calor o combustibles.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) destacan que el indicador energético adquiere mayor utilidad cuando relaciona el consumo con una unidad física de producción. Expresar únicamente el consumo total mensual puede conducir a interpretaciones equivocadas, debido a que una mayor producción suele requerir más energía. En cambio, indicadores como kWh por tonelada, kWh por unidad producida o energía consumida por

hora efectiva de operación permiten evaluar si el proceso está utilizando la energía con mayor o menor eficiencia.

La importancia de esta relación también se observa en la investigación desarrollada por Howk Prinsel y Ríos Gálvez, quienes analizaron la viabilidad de implementar un sistema de gestión de la energía en un taller de mantenimiento de una empresa minera. Sus resultados mostraron que la gestión sistemática podía generar ahorros económicos considerables y contribuir a una operación más sostenible. El estudio sostiene que una de las principales barreras para la mejora energética es el desconocimiento de las oportunidades existentes por parte de directivos y técnicos, situación que retrasa la asignación de recursos y la adopción de medidas de optimización (Howk Prinsel & Ríos Gálvez, 2019).

En el estudio de Zuloeta Vigo (2018), la implementación de un sistema de gestión basado en ISO 50001 se vinculó con el análisis de equipos productivos, áreas administrativas e iluminación. El uso de analizadores de redes permitió evaluar variables como voltaje, corriente, frecuencia y potencias activa y reactiva. A partir de esta información se diseñaron indicadores y acciones de mejora, demostrando que la eficiencia energética requiere combinar medición técnica, gestión organizacional y evaluación económica.

De manera similar, la investigación de Asto Mendoza (2016) incorporó indicadores financieros como la relación beneficio-costo, el valor actual neto y la tasa interna de retorno. Este enfoque demuestra que los proyectos energéticos deben ser evaluados con los mismos criterios de inversión utilizados en otras decisiones empresariales. Una intervención técnicamente conveniente puede no ser viable si requiere una inversión desproporcionada o un periodo excesivo de recuperación. Por el contrario, las medidas con ahorros verificables y retornos razonables pueden convertirse en decisiones estratégicas para la organización.

1.1.3 Sistemas de gestión y mejora continua

La consolidación del enfoque sistémico se produjo con la formulación de estándares y guías orientadas a organizar la gestión de la energía. La norma ISO 50001:2011 estableció requisitos para que una organización pudiera implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de la Energía. Su propósito fundamental consistió en proporcionar un marco para mejorar de manera continua el desempeño energético, incluyendo la eficiencia, el uso y el consumo de energía (ISO, 2011).

La Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001 adoptó estos lineamientos para el contexto nacional, destacando que el sistema debe permitir a la organización desarrollar un enfoque sistemático y verificable (NTP-ISO 50001, 2012). La aplicación de este estándar supone definir el alcance del sistema, establecer una política energética, asignar responsabilidades, realizar una revisión energética, identificar usos significativos, construir una línea base y seleccionar indicadores de desempeño.

El principio organizador de la norma es el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar. En la fase de planificación se analiza la situación energética, se identifican variables relevantes y se establecen objetivos. En la fase de ejecución se implementan las acciones previstas. La verificación comprende el seguimiento, la medición, las auditorías y la evaluación de los resultados. Finalmente, la actuación implica corregir desviaciones, actualizar los planes y consolidar las mejoras.

El Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía destaca que el éxito del sistema depende tanto de los componentes técnicos como del compromiso de la dirección. La alta gerencia debe proporcionar recursos, designar responsables y asegurar que la política energética se integre en la estrategia de la organización (CONUEE, 2014). Sin este respaldo, las acciones pueden quedar reducidas a esfuerzos aislados sin continuidad.

El DOE Guide for ISO 50001 también resalta la necesidad de incorporar la gestión energética a los procesos regulares de la organización. El sistema debe operar como parte de la gestión empresarial y no como un proyecto paralelo. Esto implica integrar criterios energéticos en las compras, el diseño de instalaciones, la operación, el mantenimiento y la evaluación de inversiones (DOE, 2012).

1.1.4 La revisión energética, la línea base y los indicadores

La revisión energética constituye uno de los principales componentes de un sistema de gestión. Su finalidad es comprender cómo se utiliza la energía, cuáles son los equipos o procesos de mayor consumo y qué variables explican sus cambios. No se trata únicamente de reunir facturas eléctricas, sino de interpretar el comportamiento energético en relación con la producción, los horarios, la carga de los equipos y las condiciones operativas.

La Guía de gestión energética municipal basada en ISO 50001 señala que el diagnóstico inicial debe permitir establecer el punto de partida del sistema, identificar los usos significativos y definir los indicadores que posteriormente serán empleados para evaluar las mejoras. La línea base energética funciona como una referencia cuantitativa frente a la cual se comparan los resultados futuros (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

Una línea base puede construirse a partir de valores históricos o mediante modelos que relacionan el consumo con variables relevantes. En un entorno industrial, la producción suele ser una de las variables principales. Sin embargo, también pueden influir las horas de operación, la temperatura, el tipo de producto, el estado de los equipos y los turnos de trabajo. Cuando estas variables no son consideradas, la evaluación del desempeño puede conducir a conclusiones imprecisas.

El Ministerio de Energía y Minas señala que los indicadores deben ser pertinentes para el tipo de organización y suficientemente sensibles para mostrar cambios en el desempeño. Entre los indicadores más frecuentes se encuentran la energía consumida por unidad producida, por tonelada procesada, por área construida o por hora de operación (Ministerio de Energía y Minas, 2019). La utilidad del indicador radica en que permite detectar desviaciones que podrían permanecer ocultas dentro del consumo total.

La investigación de Echeandía Diez (2016) evidencia esta importancia al utilizar datos históricos para construir una línea base y proyectar una línea meta. La línea base permitió representar el comportamiento energético inicial, mientras que la línea meta mostró el nivel de consumo que podría alcanzarse mediante la implementación de medidas de gestión y mejora. Aunque los resultados de una línea meta son inicialmente prospectivos, constituyen una herramienta útil para fijar objetivos cuantificables y evaluar la factibilidad de las intervenciones.

1.1.5 La auditoría energética como herramienta de diagnóstico

La auditoría energética constituye una herramienta técnica orientada a identificar cómo, dónde y en qué cantidad se utiliza la energía. Su alcance puede incluir instalaciones eléctricas, motores, iluminación, sistemas térmicos, aire comprimido, refrigeración,

ventilación y procesos productivos. La auditoría permite reconocer ineficiencias, estimar pérdidas y proponer medidas correctivas.

Delgado Rojas (2016) aplicó una auditoría energética para reducir el consumo eléctrico en una empresa industrial, considerando el análisis de la facturación y el inventario de equipos ineficientes. El estudio propuso la modernización de los sistemas de iluminación y la intervención en puntos críticos. Este trabajo muestra que la auditoría no debe limitarse a describir el estado de las instalaciones; debe culminar con propuestas técnicamente justificadas y económicamente evaluadas.

Nachimba Sánchez y Peña Pérez (2017), en un diagnóstico desarrollado bajo los lineamientos de ISO 50001, analizaron el comportamiento energético de una instalación hotelera. Esta investigación demuestra que la metodología de gestión energética puede aplicarse fuera de los procesos manufactureros, siempre que se adapten los indicadores y criterios de evaluación a las características del servicio analizado.

En el ámbito industrial, la auditoría suele incluir la medición de potencia activa, potencia reactiva, demanda máxima, factor de potencia, armónicos, corriente y tensión. Estas variables permiten determinar si existen sobrecargas, pérdidas por efecto Joule, penalizaciones por energía reactiva o perturbaciones que afecten la vida útil de los equipos.

1.1.6 Calidad de energía y desempeño industrial

La eficiencia energética se encuentra estrechamente relacionada con la calidad de la energía. Una instalación puede registrar un consumo elevado no solo por el tiempo de operación de sus equipos, sino también por desequilibrios de carga, bajo factor de potencia, distorsión armónica, arranques inadecuados o transformadores operando fuera de sus condiciones nominales.

La potencia reactiva, aunque necesaria para el funcionamiento de determinados equipos inductivos, incrementa la corriente que circula por conductores y transformadores. Esto produce pérdidas adicionales y puede generar penalizaciones económicas. La instalación y regulación adecuada de bancos de condensadores permite compensar parte de esta potencia y mejorar el aprovechamiento de la infraestructura eléctrica.

La distorsión armónica constituye otra fuente de ineficiencia. Las cargas no lineales pueden alterar la forma de onda de la corriente y la tensión, generando calentamiento, vibraciones, pérdidas y fallas en equipos sensibles. Por ello, la gestión energética debe integrar mediciones de calidad eléctrica y no limitarse al consumo acumulado.

El caso de la empresa Ladrillera Sagitario mostró la relevancia de este análisis. El diagnóstico identificó sobrecargas, potencia reactiva, distorsión armónica y una distribución de cargas que afectaba el desempeño de los transformadores. La investigación planteó medidas como la repotenciación y automatización de bancos de condensadores, el balance de cargas y la incorporación de un arrancador suave para un motor de elevada potencia.

1.1.7 Experiencias de implementación en distintos sectores

Las investigaciones revisadas evidencian que los sistemas de gestión energética pueden implementarse en organizaciones de diferentes características. García Silva y Vinza Carvajal desarrollaron una propuesta para una empresa del sector alimentario, mientras que Panchi Guamangallo diseñó un sistema para una industria metálica. Estos estudios muestran que la metodología puede adaptarse a distintos procesos siempre que se identifiquen correctamente los usos significativos de la energía.

Plata Durán (2019) propuso un sistema integral de gestión energética para un edificio administrativo. El estudio proyectó ahorros mediante medidas de gestión y cambio tecnológico, incorporando un análisis de inversión y recuperación. Esta experiencia demuestra que la eficiencia energética no es exclusiva de procesos productivos intensivos, sino que también puede aplicarse en edificios, oficinas y sistemas de servicios.

Martínez Marrero (2016), por su parte, evaluó el desempeño energético de una red minorista conforme con los requisitos de ISO 50001. Esta investigación amplía el campo de aplicación hacia organizaciones con múltiples instalaciones, donde la comparación de indicadores entre sedes puede convertirse en una herramienta para identificar mejores prácticas.

Los estudios analizados coinciden en varios elementos: necesidad de datos confiables, identificación de usos significativos, construcción de indicadores, compromiso de la dirección, evaluación económica y seguimiento continuo. También muestran que las

barreras más frecuentes no son exclusivamente tecnológicas. La falta de cultura energética, la ausencia de responsabilidades definidas y la discontinuidad en el monitoreo pueden limitar el éxito de las intervenciones.

1.1.8 El caso de Ladrillera como referente aplicado

La investigación desarrollada en la Industrial ldrillera, constituye un antecedente relevante porque no se limitó a proyectar ahorros, sino que comparó el comportamiento energético antes y después de la implementación de las mejoras. El estudio utilizó una metodología aplicada, cuantitativa y cuasi experimental, con mediciones efectuadas en tres transformadores que alimentaban el proceso productivo.

El diagnóstico identificó la ausencia de indicadores, deficiencias en el monitoreo, problemas de potencia reactiva, sobrecarga de uno de los transformadores y distorsión armónica. A partir de estos hallazgos se implementaron tres líneas de intervención: establecimiento de un Sistema de Gestión de la Energía basado en el ciclo PHVA, corrección de desperdicios eléctricos mediante bancos de condensadores y balance de cargas, e incorporación de un arrancador electrónico suave.

Los indicadores mostraron una reducción del desempeño específico promedio de 19,09 a 15,54 kWh por tonelada, equivalente a una mejora del 18,59 %. Asimismo, el consumo medido en la muestra disminuyó de 30 187,03 a 24 584,32 kWh.

En términos mensuales, la investigación reportó una reducción aproximada de 43 504 kWh, equivalente a un ahorro de S/18 067,21. El análisis financiero estimó una relación beneficio-costo de 4,29, un valor actual neto positivo y una tasa interna de retorno del 35 %.

Estos resultados permiten considerar el caso como una evidencia de que la combinación de gestión, medición y mejora técnica puede generar beneficios superiores a los obtenidos mediante acciones aisladas. Sin embargo, también revela una limitación propia de los sistemas convencionales: la verificación depende de periodos de medición y análisis posteriores a la ejecución. Esta condición abre la posibilidad de evolucionar hacia esquemas de monitoreo continuo, simulación predictiva y toma de decisiones automatizada, planteamiento que se desarrollará en los capítulos posteriores.

1.1.9 Síntesis de los referentes teóricos

Los referentes examinados permiten establecer que la gestión de la eficiencia energética industrial se sostiene sobre cinco principios esenciales.

En primer lugar, la energía debe administrarse como una variable estratégica relacionada con la productividad y la rentabilidad. En segundo lugar, el desempeño debe evaluarse mediante indicadores normalizados que consideren las condiciones reales de producción. En tercer lugar, las acciones de mejora requieren una metodología sistemática basada en planificación, ejecución, verificación y corrección. En cuarto lugar, las decisiones deben integrar criterios técnicos y económicos. Finalmente, la continuidad de los resultados depende del liderazgo, la cultura organizacional y la disponibilidad de información confiable.

La literatura y las experiencias revisadas demuestran que la mejora energética puede alcanzarse mediante una combinación de prácticas de gestión, ajustes operativos y cambios tecnológicos. No obstante, el mayor potencial se obtiene cuando estas medidas forman parte de un sistema permanente y verificable. Sobre estos fundamentos se construyen las nociones básicas de la eficiencia energética industrial que se desarrollarán en el siguiente apartado.

1.2 FUNDAMENTOS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética constituye uno de los principios fundamentales para alcanzar un desarrollo industrial sostenible. Su importancia radica en la capacidad de producir bienes y servicios utilizando la menor cantidad posible de energía, sin afectar la calidad, la seguridad ni la productividad de los procesos. En la actualidad, este concepto trasciende el ámbito técnico para convertirse en un componente estratégico de la gestión organizacional, ya que influye directamente sobre la competitividad, la rentabilidad empresarial y la reducción del impacto ambiental (ISO, 2011; Carretero Peña & García Sánchez, 2012).

El crecimiento de la demanda energética mundial, acompañado por la volatilidad de los precios de la energía y los compromisos internacionales para disminuir las emisiones de carbono, ha motivado que gobiernos, organismos internacionales y empresas impulsen políticas orientadas al uso racional de la energía. En este escenario, la eficiencia energética representa una de las alternativas más rentables para enfrentar estos desafíos, debido a que

permite obtener resultados inmediatos mediante la optimización de los procesos existentes, sin requerir necesariamente grandes inversiones en infraestructura (Energy Star, 2008; Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

Desde el punto de vista de la ingeniería, la eficiencia energética no debe entenderse únicamente como la reducción del consumo eléctrico. Su verdadero objetivo consiste en optimizar la relación entre la energía utilizada y el resultado obtenido. Esto implica analizar permanentemente los procesos productivos, identificar pérdidas, controlar variables críticas y desarrollar mecanismos que permitan mejorar continuamente el desempeño energético de la organización.

1.2.1 Gestión de la eficiencia energética

La gestión de la eficiencia energética puede definirse como el conjunto de políticas, procedimientos, metodologías y herramientas orientadas a planificar, controlar, evaluar y mejorar el uso de la energía dentro de una organización. Su finalidad consiste en garantizar que cada unidad de energía consumida aporte el mayor valor posible al proceso productivo, reduciendo desperdicios y aumentando la productividad.

La norma **ISO 50001** establece que un sistema de gestión de la energía debe proporcionar un enfoque sistemático para mejorar continuamente el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía (ISO, 2011). Esta definición incorpora un elemento diferenciador respecto de las prácticas tradicionales de ahorro energético: la mejora continua. En lugar de ejecutar acciones aisladas, la organización desarrolla un proceso permanente de planificación, implementación, evaluación y retroalimentación.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que la gestión energética integra cuatro componentes fundamentales: el conocimiento del consumo, la medición mediante indicadores, la evaluación del desempeño y la implementación de acciones de mejora. Estos elementos permiten transformar la información energética en un instrumento para la toma de decisiones.

Borroto et al. (2006) complementan este enfoque al señalar que la gestión energética constituye un proceso de administración de recursos similar al aplicado en calidad,

producción o mantenimiento. La diferencia radica en que la variable principal es la energía, cuyo comportamiento debe ser monitoreado continuamente para asegurar la máxima eficiencia del sistema productivo.

1.2.2 Eficiencia energética

La eficiencia energética hace referencia a la capacidad de obtener el mismo nivel de producción o de prestación de un servicio utilizando una menor cantidad de energía. No implica disminuir la actividad industrial, sino optimizar el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles.

De acuerdo con la Agencia Andaluza de la Energía (2011), la eficiencia energética comprende todas aquellas medidas técnicas, tecnológicas y organizacionales que permiten reducir el consumo manteniendo iguales o mejores niveles de productividad. Esta definición enfatiza que la eficiencia no depende exclusivamente del reemplazo de equipos, sino también de una adecuada gestión operativa.

En el ámbito industrial, mejorar la eficiencia energética puede lograrse mediante diversas acciones, entre ellas:

- Optimización de procesos.
- Automatización de operaciones.
- Modernización tecnológica.
- Corrección del factor de potencia.
- Eliminación de pérdidas eléctricas.
- Mantenimiento preventivo y predictivo.
- Capacitación del personal.
- Monitoreo permanente del desempeño energético.

Estas medidas generan beneficios económicos al disminuir los costos de operación y, simultáneamente, reducen el impacto ambiental asociado al consumo energético.

1.2.3 Uso de la energía

La norma ISO 50001 diferencia claramente el **uso de la energía** del **consumo energético**. El uso de la energía hace referencia a la forma específica en que esta se emplea

dentro de una organización. Por ejemplo, la energía puede destinarse al funcionamiento de motores eléctricos, sistemas de iluminación, climatización, bombeo, hornos industriales, procesos de trituración o transporte interno.

Comprender el uso de la energía permite identificar cuáles procesos representan los mayores consumidores y cuáles ofrecen mayores oportunidades de mejora. Según el Ministerio de Energía y Minas (2019), esta identificación constituye uno de los primeros pasos para establecer los usos significativos de energía (USE), sobre los cuales deben concentrarse las acciones de optimización.

1.2.4 Consumo energético

El consumo energético representa la cantidad total de energía utilizada durante un período determinado. En instalaciones industriales normalmente se expresa en kilovatios-hora (kWh), aunque también pueden emplearse otras unidades según la fuente energética utilizada.

Sin embargo, el consumo absoluto no siempre constituye un indicador adecuado para evaluar la eficiencia. Una empresa puede consumir más energía simplemente porque incrementó su producción. Por ello, la literatura especializada recomienda relacionar el consumo con variables de producción, obteniendo indicadores específicos que permitan comparar diferentes periodos de operación (Carretero Peña & García Sánchez, 2012).

En consecuencia, el análisis del consumo energético debe considerar factores como:

- Nivel de producción.
- Horas efectivas de operación.
- Condiciones ambientales.
- Tipo de producto.
- Carga de los equipos.
- Variaciones en la demanda.

Solo mediante esta contextualización es posible determinar si un incremento del consumo representa una mejora productiva o una pérdida de eficiencia.

1.2.5 Desempeño energético

El desempeño energético constituye uno de los conceptos centrales de la ISO 50001. Comprende los resultados obtenidos por una organización en relación con su eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo energético (ISO, 2011).

El Ministerio de Energía y Minas (2019) explica que el desempeño energético debe evaluarse mediante indicadores cuantificables que permitan medir el comportamiento del sistema antes y después de la implementación de acciones de mejora.

En procesos industriales, algunos de los indicadores más utilizados son:

- kWh por tonelada producida.
- kWh por unidad fabricada.
- kWh por hora efectiva de operación.
- Consumo específico por proceso.
- Factor de potencia.
- Demanda máxima.
- Índices de carga de transformadores.

Estos indicadores permiten monitorear continuamente la evolución del sistema y detectar oportunamente desviaciones respecto de la línea base.

1.2.6 Indicadores de desempeño energético (EnPI)

Los indicadores de desempeño energético, conocidos internacionalmente como **Energy Performance Indicators (EnPI)**, constituyen herramientas cuantitativas para medir la eficiencia con que una organización utiliza la energía.

Según la ISO 50001, un EnPI debe representar de forma objetiva el comportamiento energético de un proceso y facilitar la comparación entre diferentes periodos de operación (ISO, 2011).

Carretero Peña y García Sánchez (2012) señalan que un buen indicador debe cumplir varias características:

- Ser fácilmente calculable.

- Representar adecuadamente el proceso.
- Permitir comparaciones históricas.
- Detectar desviaciones rápidamente.
- Facilitar la toma de decisiones.

En industrias manufactureras, el indicador más difundido corresponde al consumo específico de energía:

Consumo específico = Energía consumida / Producción obtenida

Este indicador elimina el efecto del volumen de producción y permite evaluar la verdadera eficiencia del proceso.

1.2.7 Línea base energética

La línea base energética representa el comportamiento histórico del consumo bajo condiciones normales de operación. Funciona como punto de referencia para medir las mejoras obtenidas después de implementar acciones de eficiencia energética.

La Guía de Gestión Energética Municipal basada en ISO 50001 indica que la línea base debe construirse utilizando información histórica suficientemente representativa y considerando las variables que afectan el consumo energético (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

Su importancia radica en que permite:

- Comparar resultados.
- Medir mejoras.
- Evaluar proyectos.
- Construir escenarios futuros.
- Verificar el cumplimiento de objetivos energéticos.

1.2.8 Línea meta energética

Mientras la línea base representa la situación inicial, la línea meta corresponde al comportamiento energético esperado después de implementar las mejoras.

Echeandía Diez (2016) señala que la línea meta constituye un escenario de referencia que orienta los esfuerzos de optimización y permite establecer objetivos cuantificables para el sistema de gestión.

La diferencia entre ambas líneas permite estimar el potencial de ahorro energético y evaluar el grado de cumplimiento de las acciones implementadas.

1.2.9 Auditoría energética

La auditoría energética constituye el proceso sistemático mediante el cual se recopila y analiza información sobre el uso y consumo de la energía con el propósito de identificar oportunidades de mejora.

Según Delgado Rojas (2016), una auditoría energética debe incluir:

- Levantamiento de información.
- Inventario de equipos.
- Medición de variables eléctricas.
- Identificación de pérdidas.
- Evaluación técnica.
- Análisis económico.
- Formulación de propuestas de mejora.

La auditoría representa el punto de partida para cualquier Sistema de Gestión de la Energía, ya que proporciona la información necesaria para establecer la línea base y definir las prioridades de intervención.

1.2.10 Mejora continua en la gestión energética

Uno de los principios fundamentales de la eficiencia energética consiste en asumir que siempre existen oportunidades para optimizar el desempeño de un sistema.

La mejora continua implica desarrollar un proceso permanente de evaluación y aprendizaje que permita reducir progresivamente el consumo energético, incrementar la productividad y fortalecer la sostenibilidad organizacional.

Este principio se encuentra presente en la mayoría de los modelos internacionales de gestión energética, particularmente en la ISO 50001, donde el ciclo PHVA constituye el mecanismo mediante el cual la organización revisa continuamente sus resultados y adapta sus estrategias para alcanzar niveles superiores de desempeño (ISO, 2011).

Desde esta perspectiva, la eficiencia energética deja de ser un proyecto con fecha de inicio y fin para convertirse en una cultura organizacional orientada a la innovación permanente. Precisamente sobre este fundamento se construyen los Sistemas de Gestión de la Energía modernos y, como se analizará en los capítulos posteriores, se abre la posibilidad de evolucionar hacia modelos inteligentes apoyados en gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial, capaces de potenciar significativamente los resultados obtenidos mediante la gestión energética tradicional.

1.3 INDICADORES Y DESEMPEÑO ENERGÉTICO

La evaluación del desempeño energético constituye uno de los componentes más importantes de la gestión de la eficiencia energética. Ninguna organización puede mejorar aquello que no mide; por ello, la medición sistemática del comportamiento energético representa la base para identificar oportunidades de optimización, establecer objetivos, evaluar resultados y verificar la efectividad de las acciones implementadas. En este contexto, los indicadores energéticos permiten transformar grandes volúmenes de datos operacionales en información útil para la toma de decisiones estratégicas (ISO, 2011; Ministerio de Energía y Minas, 2019).

Los Sistemas de Gestión de la Energía basados en la norma ISO 50001 consideran que el desempeño energético debe evaluarse de manera objetiva mediante indicadores cuantificables, conocidos como **Indicadores de Desempeño Energético (Energy Performance Indicators – EnPI)**. Estos indicadores permiten conocer el comportamiento de los procesos, identificar desviaciones respecto a la línea base y verificar si las acciones de mejora producen los resultados esperados. En consecuencia, el desempeño energético no se limita a conocer cuánto consume una organización, sino a determinar **qué tan eficientemente utiliza la energía para generar valor** (ISO, 2011).

La importancia de estos indicadores ha sido ampliamente documentada por organismos internacionales. El **Department of Energy (DOE)** señala que los indicadores

energéticos constituyen la principal herramienta para monitorear la evolución de un Sistema de Gestión de la Energía, permitiendo comparar el comportamiento energético antes y después de implementar acciones correctivas o preventivas (DOE, 2012). De manera similar, la **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** sostiene que un indicador correctamente diseñado facilita la identificación de tendencias, el establecimiento de metas y la evaluación permanente del desempeño organizacional (CONUEE, 2014).

1.3.1 El desempeño energético

La norma ISO 50001 define el desempeño energético como los **resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo energético** obtenidos por una organización (ISO, 2011). Esta definición incorpora tres conceptos que, aunque relacionados, poseen significados diferentes.

El primero corresponde a la **eficiencia energética**, entendida como la relación entre la energía utilizada y el resultado obtenido. El segundo es el **uso de la energía**, que hace referencia a la forma en que la energía es empleada dentro de un proceso o instalación. Finalmente, el **consumo energético** representa la cantidad de energía utilizada durante un periodo determinado.

Esta diferenciación resulta fundamental, ya que una empresa puede incrementar su consumo energético debido a un aumento de la producción y, aun así, mejorar su desempeño energético si logra reducir el consumo específico por unidad producida. En consecuencia, evaluar únicamente el consumo total puede conducir a interpretaciones erróneas sobre la eficiencia real del proceso.

El Ministerio de Energía y Minas (2019) señala que el desempeño energético debe analizarse considerando las condiciones operativas de la organización, el nivel de producción, la tecnología instalada, la calidad del suministro eléctrico y otras variables que influyen directamente sobre el comportamiento energético de los procesos.

1.3.2 Importancia de los indicadores energéticos

Los indicadores energéticos constituyen herramientas de gestión que permiten convertir los datos de consumo en información útil para la administración de la energía. Su

principal función consiste en mostrar la evolución del comportamiento energético mediante parámetros comparables a lo largo del tiempo.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que un indicador energético debe cumplir tres objetivos fundamentales:

- Medir el comportamiento energético del proceso.
- Detectar desviaciones respecto al desempeño esperado.
- Facilitar la toma de decisiones para la mejora continua.

En ausencia de indicadores adecuados, las organizaciones únicamente conocen el valor total de la factura eléctrica, pero desconocen qué procesos generan los mayores consumos, cuáles presentan pérdidas energéticas o qué acciones producen mejores resultados.

La utilización de indicadores permite responder preguntas fundamentales como:

- ¿Está disminuyendo el consumo específico?
- ¿Qué proceso consume mayor cantidad de energía?
- ¿La inversión realizada produjo el ahorro esperado?
- ¿Cuál es la tendencia del desempeño energético?
- ¿Qué equipos presentan menor eficiencia?

Responder estas interrogantes constituye el punto de partida para cualquier estrategia de optimización energética.

1.3.3 Características de un buen indicador energético

La literatura especializada coincide en que un indicador energético debe reunir determinadas características para representar adecuadamente el comportamiento de un sistema.

De acuerdo con la Guía de Gestión Energética Municipal basada en ISO 50001 (2013), un indicador debe ser:

- Representativo del proceso.

- Fácil de calcular.
- Objetivo.
- Comparable en el tiempo.
- Sensible a los cambios operacionales.
- Comprensible para los responsables de la gestión energética.

Adicionalmente, el indicador debe construirse utilizando información confiable y obtenida mediante instrumentos correctamente calibrados, ya que decisiones basadas en datos erróneos pueden conducir a diagnósticos equivocados y pérdidas económicas.

1.3.4 Tipos de indicadores energéticos

Los indicadores pueden clasificarse según el tipo de proceso o la variable utilizada para relacionar el consumo energético.

Entre los más utilizados se encuentran:

Indicadores específicos de producción

Relacionan el consumo energético con la cantidad producida.

Ejemplos:

- kWh por tonelada producida.
- kWh por unidad fabricada.
- kWh por kilogramo procesado.

Estos indicadores son ampliamente utilizados en industrias manufactureras porque permiten comparar diferentes periodos de producción independientemente del volumen fabricado.

Indicadores de operación

Relacionan el consumo con el tiempo de funcionamiento.

Ejemplos:

- kWh por hora de operación.

- kWh por turno de trabajo.
- kWh por día de producción.

Resultan especialmente útiles cuando existen variaciones importantes en los horarios o turnos de producción.

Indicadores económicos

Relacionan el consumo energético con variables financieras.

Ejemplos:

- Costo energético por tonelada producida.
- Costo energético por unidad vendida.
- Ahorro económico mensual.
- Retorno de la inversión energética.

Estos indicadores facilitan la evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética.

Indicadores eléctricos

Evalúan el comportamiento del sistema eléctrico.

Entre ellos destacan:

- Factor de potencia.
- Demanda máxima.
- Potencia reactiva.
- Distorsión armónica.
- Carga de transformadores.
- Rendimiento de motores eléctricos.

Su monitoreo permite detectar pérdidas y problemas que afectan directamente el desempeño energético.

1.3.5 Indicadores de desempeño energético (EnPI)

La ISO 50001 incorpora el concepto de **Energy Performance Indicators (EnPI)** como herramienta fundamental para medir la evolución del Sistema de Gestión de la Energía.

Los EnPI permiten comparar el comportamiento energético antes y después de implementar acciones de mejora, verificando objetivamente la efectividad del sistema.

Según la norma, un EnPI puede construirse mediante relaciones entre:

- Energía consumida y producción.
- Energía consumida y horas de operación.
- Energía consumida y superficie.
- Energía consumida y número de usuarios.
- Energía consumida y temperatura ambiental.

La selección del indicador dependerá de las características del proceso y de las variables que influyen significativamente sobre el consumo energético.

1.3.6 La línea base energética

La línea base energética constituye la referencia cuantitativa contra la cual se evalúan las mejoras del desempeño energético.

ISO 50001 establece que esta línea debe construirse utilizando información histórica representativa del comportamiento normal de la organización (ISO, 2011).

La línea base permite:

- Comparar resultados.
- Evaluar tendencias.
- Medir ahorros.
- Construir líneas meta.
- Validar proyectos de eficiencia energética.

Sin una línea base correctamente definida resulta imposible determinar si las acciones implementadas producen mejoras reales o simplemente responden a variaciones normales del proceso.

1.3.7 La línea meta energética

Mientras la línea base representa el estado inicial del sistema, la línea meta corresponde al nivel de desempeño que la organización espera alcanzar mediante la implementación de acciones de mejora.

Echeandía Diez (2016) señala que la línea meta constituye un escenario proyectado de mayor eficiencia y sirve como referencia para establecer objetivos energéticos cuantificables.

La comparación entre ambas líneas permite estimar el potencial de ahorro y verificar el grado de cumplimiento de los objetivos definidos dentro del Sistema de Gestión de la Energía.

1.3.8 Indicadores utilizados en la empresa Ladrillera Sagitario

En el caso de estudio desarrollado en la empresa Ladrillera Sagitario, el principal indicador utilizado fue el **consumo específico de energía**, expresado como la relación entre los kilovatios-hora consumidos y las toneladas producidas (kWh/Ton). Este indicador permitió evaluar el desempeño energético de los procesos productivos con independencia de las variaciones en el volumen de producción.

El análisis de los registros históricos permitió construir la línea base energética y posteriormente establecer una línea meta para evaluar el efecto de las acciones de mejora implementadas. Asimismo, se realizó el seguimiento mediante mediciones efectuadas en los tres transformadores principales de la planta, registrando variables como corriente, tensión y energía activa consumida.

Como resultado de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, el indicador promedio de desempeño energético disminuyó de **19,09 kWh/Ton** a **15,54 kWh/Ton**, representando una mejora cercana al **18,59 %** en el desempeño energético del proceso. Paralelamente, el consumo energético registrado durante el periodo de evaluación

pasó de **30 187,03 kWh** a **24 584,32 kWh**, evidenciando la efectividad de las acciones implementadas.

Estos resultados demuestran que la utilización de indicadores energéticos permitió cuantificar objetivamente las mejoras obtenidas y validar la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía.

1.3.9 Indicadores energéticos en la Industria 4.0

La transformación digital está modificando profundamente la forma en que los indicadores energéticos son obtenidos y analizados. Tradicionalmente, estos indicadores se calculaban utilizando información mensual proveniente de facturación eléctrica o registros manuales. Actualmente, gracias a sensores inteligentes, sistemas SCADA, Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y plataformas de análisis de datos, es posible obtener indicadores en tiempo real.

Esta evolución permite pasar de una evaluación retrospectiva a una gestión predictiva, donde los indicadores dejan de mostrar únicamente lo ocurrido para anticipar el comportamiento futuro del sistema energético.

En este contexto, tecnologías como los gemelos digitales y la inteligencia artificial permiten construir indicadores dinámicos capaces de actualizarse continuamente, detectar desviaciones de manera automática y recomendar acciones correctivas antes de que las pérdidas energéticas afecten el desempeño del proceso.

Esta nueva generación de indicadores constituye uno de los principales fundamentos sobre los cuales evolucionará la gestión energética industrial en los próximos años y servirá como base para el modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM), desarrollado en el capítulo final de esta obra.

1.4 BENEFICIOS DE LA GESTIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La gestión de la eficiencia energética constituye una estrategia que trasciende la simple reducción del consumo de energía. Su implementación genera beneficios técnicos, económicos, operacionales, ambientales y organizacionales que fortalecen la competitividad

de las empresas y contribuyen al desarrollo sostenible. En la actualidad, numerosas organizaciones consideran la gestión energética como un elemento estratégico dentro de sus sistemas de administración, debido a que permite optimizar recursos, mejorar la productividad y responder a las crecientes exigencias regulatorias y ambientales (ISO, 2011; AEC, 2017).

Diversos organismos internacionales coinciden en que la eficiencia energética representa una de las inversiones con mayor retorno para la industria. A diferencia de otros proyectos que requieren elevados niveles de inversión, muchas acciones de gestión energética pueden implementarse mediante mejoras organizacionales, monitoreo permanente, capacitación del personal y optimización de los procesos existentes, generando resultados económicos desde las primeras etapas de implementación (Energy Star, 2008; DOE, 2012).

La literatura especializada identifica múltiples beneficios derivados de la gestión energética, los cuales pueden agruparse en cinco dimensiones principales: económica, operacional, ambiental, organizacional y tecnológica.

1.4.1 Beneficios económicos

Uno de los principales beneficios de la gestión de la eficiencia energética es la reducción de los costos operativos asociados al consumo de energía. En muchas industrias, la energía representa uno de los componentes más importantes dentro de la estructura de costos de producción; por ello, cualquier disminución sostenida del consumo específico tiene un impacto directo sobre la rentabilidad empresarial.

Borroto et al. (2006) sostienen que la eficiencia energética constituye una herramienta de gestión económica porque permite producir la misma cantidad de bienes utilizando menos recursos energéticos, incrementando la productividad y mejorando la competitividad de la organización.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) indican que la reducción del consumo energético produce beneficios financieros que pueden observarse en:

- Disminución del costo de producción.

- Reducción de la facturación eléctrica.
- Recuperación acelerada de inversiones.
- Mayor margen de utilidad.
- Incremento de la competitividad empresarial.

Diversas investigaciones respaldan esta afirmación. Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019) demostraron que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía permitió obtener importantes ahorros económicos en una empresa minera, mientras que Plata Durán (2019) concluyó que las inversiones destinadas a mejorar el desempeño energético pueden recuperarse en periodos relativamente cortos cuando las acciones son correctamente planificadas.

En el caso desarrollado en la empresa Ladrillera Sagitario, la implementación del Sistema de Gestión de la Energía permitió reducir aproximadamente **43 504 kWh mensuales**, lo que representó un ahorro cercano a **S/18 067,21 por mes** y aproximadamente **S/216 806,52 al año**. Asimismo, el análisis financiero evidenció una relación beneficio-costo de **4,29**, un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del **35 %**, demostrando la viabilidad económica del proyecto.

Estos resultados confirman que la eficiencia energética debe entenderse como una inversión estratégica y no como un gasto adicional para la organización.

1.4.2 Beneficios operacionales

La gestión energética también contribuye significativamente al mejoramiento del desempeño operativo de las instalaciones industriales.

El monitoreo continuo de variables como corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, demanda máxima, factor de potencia y distorsión armónica permite identificar anomalías antes de que afecten el funcionamiento de los equipos.

La Agencia Andaluza de la Energía (2011) señala que una adecuada gestión energética facilita la detección temprana de pérdidas eléctricas, sobrecargas, ineficiencias operativas y fallas potenciales, mejorando la confiabilidad de los procesos industriales.

Entre los principales beneficios operacionales destacan:

- Mayor disponibilidad de equipos.
- Reducción de paradas no programadas.
- Incremento de la confiabilidad operacional.
- Disminución de pérdidas eléctricas.
- Mejor utilización de la capacidad instalada.
- Optimización del mantenimiento preventivo y predictivo.

La investigación realizada en la Ladrillera Sagitario identificó sobrecargas en uno de los transformadores, presencia de energía reactiva y elevados niveles de distorsión armónica. La implementación de medidas como el balance de cargas, la repotenciación de bancos de condensadores y la instalación de un arrancador electrónico suave permitió mejorar las condiciones de operación del sistema eléctrico y reducir las pérdidas energéticas.

1.4.3 Beneficios ambientales

La eficiencia energética constituye uno de los instrumentos más importantes para reducir el impacto ambiental de las actividades industriales.

Cada kilovatio-hora que deja de consumirse representa una menor demanda sobre los sistemas de generación eléctrica y, dependiendo de la matriz energética del país, una reducción de las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes asociados a la producción de energía.

La norma ISO 50001 reconoce que una adecuada gestión de la energía contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y favorece el cumplimiento de las políticas internacionales relacionadas con el cambio climático (ISO, 2011).

Asimismo, el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) destaca que la eficiencia energética constituye una herramienta fundamental para promover un desarrollo económico compatible con la protección del medio ambiente, incentivando el uso racional de los recursos disponibles (FENOGE, 2019).

Entre los principales beneficios ambientales pueden mencionarse:

- Reducción de emisiones de CO_2.
- Disminución de la huella de carbono.

- Menor utilización de combustibles fósiles.
- Aprovechamiento racional de los recursos energéticos.
- Contribución al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La investigación desarrollada en la Ladrillera Sagitario concluye que la reducción del consumo energético contribuye directamente a disminuir las emisiones asociadas al proceso productivo y fortalece el compromiso de la organización con el desarrollo sostenible.

1.4.4 Beneficios organizacionales

La gestión energética también transforma la cultura organizacional.

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía implica definir responsabilidades, establecer políticas, crear indicadores, desarrollar programas de capacitación y fomentar la participación activa del personal en la mejora continua.

El Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía elaborado por la CONUEE señala que el compromiso de la alta dirección constituye uno de los factores críticos para el éxito del sistema. Cuando la gestión energética forma parte de la estrategia institucional, las acciones dejan de depender exclusivamente de iniciativas individuales y pasan a integrarse en la cultura organizacional (CONUEE, 2014).

Entre los beneficios organizacionales destacan:

- Mayor compromiso del personal.
- Fortalecimiento de la cultura energética.
- Mejor comunicación entre áreas.
- Integración de la gestión energética con la estrategia empresarial.
- Mayor capacidad para la toma de decisiones.

En el caso de estudio, la creación de un comité energético y la definición de responsabilidades permitieron institucionalizar las acciones de mejora y establecer mecanismos permanentes de seguimiento del desempeño energético.

1.4.5 Beneficios tecnológicos

La gestión energética impulsa la modernización tecnológica de las organizaciones.

La evaluación permanente del desempeño permite identificar equipos obsoletos, tecnologías ineficientes y oportunidades de innovación.

Diversas investigaciones muestran que la sustitución de motores, la incorporación de variadores de velocidad, arrancadores suaves, sistemas de monitoreo inteligente y plataformas de análisis energético incrementan significativamente la eficiencia de los procesos (Echeandía Diez, 2016; García Silva & Vinza Carvajal, 2015).

Sin embargo, la literatura especializada coincide en que la tecnología por sí sola no garantiza mejoras sostenibles. Estas deben integrarse dentro de un sistema de gestión que asegure el seguimiento permanente de los resultados.

1.4.6 Beneficios estratégicos

Desde una perspectiva empresarial, la eficiencia energética fortalece la posición competitiva de la organización.

Una empresa que consume menos energía para producir la misma cantidad de bienes posee mayores posibilidades de competir en mercados nacionales e internacionales.

Adicionalmente, la implementación de la ISO 50001 facilita el cumplimiento de requisitos exigidos por clientes, organismos certificadores y entidades reguladoras.

La Asociación Española para la Calidad (AEC, 2017) señala que los sistemas de gestión energética incrementan la credibilidad institucional y fortalecen la imagen corporativa frente a inversionistas, proveedores y consumidores.

Entre los beneficios estratégicos más importantes se encuentran:

- Mayor competitividad.
- Fortalecimiento de la reputación empresarial.
- Cumplimiento de estándares internacionales.
- Acceso a certificaciones.
- Mejor posicionamiento frente a clientes e inversionistas.

1.4.7 Beneficios para la transformación digital

La evolución hacia la Industria 4.0 y la Industria 5.0 amplía considerablemente los beneficios de la gestión energética.

Actualmente, sensores inteligentes, plataformas SCADA, sistemas IoT, inteligencia artificial y gemelos digitales permiten obtener información energética en tiempo real, facilitando decisiones mucho más rápidas y precisas que las obtenidas mediante los sistemas tradicionales.

La incorporación de estas tecnologías transforma la gestión energética desde un enfoque reactivo hacia uno predictivo, donde el sistema no solo identifica desviaciones, sino que anticipa comportamientos futuros y recomienda acciones óptimas antes de que ocurran pérdidas energéticas.

Esta evolución tecnológica constituye la base sobre la cual se desarrollará el modelo de **Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)** presentado en el último capítulo de esta obra.

1.4.8 Síntesis de los beneficios de la gestión energética

La evidencia científica revisada demuestra que la gestión de la eficiencia energética produce beneficios que trascienden la reducción del consumo eléctrico. Su implementación mejora la rentabilidad empresarial, fortalece la confiabilidad operacional, disminuye el impacto ambiental, impulsa la innovación tecnológica y consolida una cultura organizacional orientada a la mejora continua.

En consecuencia, la eficiencia energética debe entenderse como una estrategia integral de gestión que genera valor económico, técnico y ambiental para las organizaciones. Este enfoque explica por qué la ISO 50001 se ha convertido en el principal estándar internacional para la administración de la energía y por qué, en los próximos años, su integración con tecnologías digitales permitirá evolucionar hacia sistemas inteligentes capaces de optimizar continuamente el desempeño energético industrial.

La gestión de la eficiencia energética ha evolucionado desde un conjunto de acciones orientadas al ahorro de energía hacia un modelo integral de gestión que incorpora principios

técnicos, económicos, organizacionales y ambientales. Como se ha desarrollado a lo largo de este capítulo, la eficiencia energética no consiste únicamente en reducir el consumo, sino en optimizar el aprovechamiento de los recursos energéticos mediante una administración sistemática sustentada en información confiable, indicadores de desempeño y procesos permanentes de mejora.

Los referentes teóricos revisados evidencian que las organizaciones que incorporan la gestión energética como parte de su estrategia empresarial logran beneficios que trascienden la disminución de los costos operativos. La mejora del desempeño energético fortalece la productividad, incrementa la competitividad, favorece la sostenibilidad ambiental y contribuye a consolidar una cultura organizacional orientada al uso responsable de la energía. Asimismo, la implementación de indicadores energéticos, líneas base y auditorías especializadas permite evaluar objetivamente el comportamiento de los procesos y fundamentar la toma de decisiones sobre bases técnicas y científicas.

En este contexto, la gestión de la eficiencia energética constituye el fundamento sobre el cual se desarrollan los modernos Sistemas de Gestión de la Energía. Sin embargo, para que estas herramientas produzcan resultados sostenibles, es indispensable que se integren dentro de una metodología estructurada que articule la planificación, la ejecución, el seguimiento y la mejora continua de los procesos energéticos.

Precisamente, esa metodología es desarrollada por la **Norma ISO 50001**, la cual establece un marco internacional para implementar, mantener y mejorar los Sistemas de Gestión de la Energía mediante el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. Por ello, el siguiente capítulo profundiza en los fundamentos de este estándar internacional, analizando sus principios, requisitos y mecanismos de implementación, que constituyen la base para la aplicación práctica presentada posteriormente en el caso de estudio y para la evolución hacia modelos inteligentes de gestión energética sustentados en gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial.

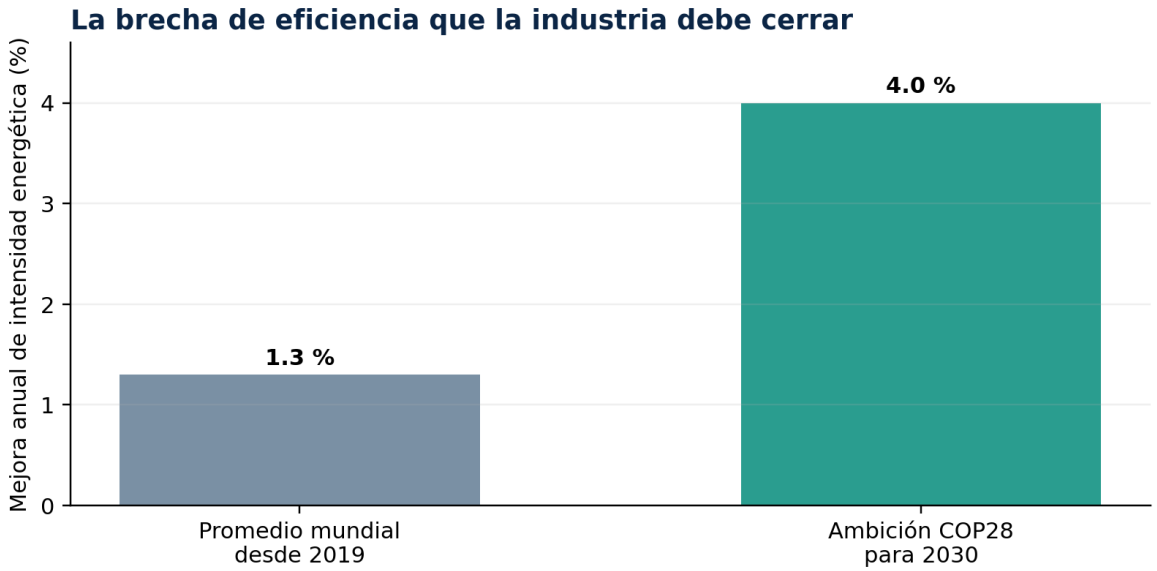
1.5. LA FÁBRICA QUE NO PUEDE SEGUIR DECIDIENDO TARDE

La energía industrial ya no es una línea pasiva de la factura. Es una variable que conecta margen, capacidad, continuidad, carbono y resiliencia. Cuando una organización detecta el desperdicio al final del mes, el costo ya ocurrió; cuando una alarma carece de

contexto productivo, el operador recibe ruido; cuando un modelo recomienda sin cuantificar incertidumbre, la digitalización añade riesgo en lugar de inteligencia.

La Agencia Internacional de Energía informa que la industria representó cerca del 40 % del consumo final mundial en 2024 y concentró dos tercios del incremento de la demanda desde 2019. Al mismo tiempo, el progreso medio de intensidad energética mundial desde 2019 fue aproximadamente 1,3 % anual, lejos de la ambición del 4 % hacia 2030 acordada en COP28. El desafío no es solamente instalar tecnología: es acelerar decisiones eficaces y sostener sus resultados (IEA, 2025a, 2025b).

Figura 1. Brecha mundial de mejora de intensidad energética



Fuente: elaboración propia con datos de IEA (2025a).

La eficiencia energética digital crea valor cuando el ciclo PHVA gobierna una cadena trazable que va desde el activo y el dato hasta el modelo, la decisión, la verificación del resultado y el aprendizaje organizacional.

Un gemelo digital no reemplaza al sistema de gestión. ISO 50001 define la gobernanza, la revisión, los objetivos y la mejora; el gemelo aporta capacidad de observar, simular y anticipar. La medición y verificación impide confundir menor producción con ahorro. La gobernanza de IA y la ciberseguridad impiden convertir una recomendación energética en una amenaza operacional.

1.5.1 Las cinco decisiones que importan

1. Qué frontera y qué usos significativos merecen gestión prioritaria.
2. Qué indicadores separan desempeño de volumen productivo.
3. Qué calidad de datos permite confiar en una predicción.
4. Qué nivel de autonomía puede recibir el modelo sin exceder el riesgo aceptable.
5. Qué evidencia demuestra que el valor persistió después de la intervención.

CAPÍTULO II

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA BASADO EN LA ISO 50001

El acelerado crecimiento de la demanda energética mundial, acompañado por la necesidad de incrementar la competitividad industrial y reducir el impacto ambiental de las actividades productivas, ha impulsado el desarrollo de modelos de gestión que permitan administrar la energía de manera sistemática y sostenible. En este contexto, los Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) han adquirido una importancia estratégica al proporcionar un conjunto de principios, metodologías y herramientas orientadas a mejorar continuamente el desempeño energético de las organizaciones, independientemente de su tamaño o sector económico (ISO, 2011).

Durante muchos años, las acciones destinadas al ahorro energético estuvieron centradas principalmente en la incorporación de tecnologías más eficientes o en la ejecución de auditorías técnicas orientadas a identificar pérdidas de energía. Si bien estas iniciativas generaban resultados positivos, con frecuencia se desarrollaban de forma aislada, sin una metodología que garantizara su continuidad en el tiempo. La ausencia de políticas energéticas, indicadores de desempeño, mecanismos de seguimiento y responsabilidades claramente definidas limitaba el alcance de las mejoras y dificultaba su sostenibilidad dentro de las organizaciones (AEC, 2017; Carretero Peña & García Sánchez, 2012).

ISO 50001:2018 y el ecosistema normativo

ISO 50001:2018 establece los requisitos del sistema de gestión de la energía. La Enmienda 1:2024 incorpora la consideración del cambio climático en el contexto de la organización. La norma no prescribe una tecnología ni garantiza un porcentaje de ahorro; exige un sistema capaz de demostrar mejora del desempeño energético mediante procesos, información y decisiones controladas.

Norma	Papel en la arquitectura
ISO 50001:2018 + Amd 1:2024	Requisitos del SGE, contexto, liderazgo, planificación, evaluación y mejora.
ISO 50004:2020 / ISO 50005:2021	Guía de implementación y despliegue por fases.
ISO 50006:2023	Diseño y mantenimiento de EnPI y líneas de base energéticas.
ISO 50015:2014	Principios de medición y verificación del desempeño.
ISO 50002-1/-2/-3:2025	Requisitos generales y guías de auditoría para edificios y procesos.
ISO 50003:2021	Competencia, consistencia e imparcialidad en auditoría y certificación.
ISO 23247-1 a -4:2021; -5 y -6:2026	Marco, arquitectura, atributos, intercambio, hilo digital y composición de gemelos.
ISO/IEC 42001:2023 e ISO/IEC 23894:2023	Gestión responsable y riesgo de sistemas de IA.
IEC 62443, serie	Ciberseguridad del ciclo de vida de automatización y control industrial.

En el Perú, la edición nacional aplicable debe verificarse en el catálogo oficial de INACAL antes de la publicación definitiva o de cualquier declaración de conformidad. La equivalencia entre una ISO y una NTP no debe presumirse por similitud de título.

Cumplimiento a la capacidad de decisión

Una implementación madura evita convertir la norma en archivo documental. Cada requisito debe traducirse en una capacidad observable: identificar un uso significativo, explicar un desvío, aprobar una acción, verificar el resultado y aprender. La certificación puede aportar confianza, pero la prueba de valor es la mejora energética normalizada y persistente.

Con el propósito de superar estas limitaciones, la **Organización Internacional de Normalización (ISO)** publicó en el año 2011 la norma **ISO 50001**, estableciendo por primera vez un estándar internacional para el diseño, implementación, mantenimiento y mejora de los Sistemas de Gestión de la Energía. La norma incorpora una estructura basada en el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, ampliamente utilizado en otros

sistemas de gestión, permitiendo que las organizaciones integren la gestión energética dentro de sus procesos estratégicos y operacionales (ISO, 2011; NTP-ISO 50001, 2012).

La adopción de la ISO 50001 ha demostrado importantes beneficios en organizaciones de diversos sectores productivos. Investigaciones desarrolladas en empresas industriales, instituciones académicas, organizaciones mineras y edificios administrativos evidencian que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía favorece la reducción del consumo energético, optimiza los costos operativos, fortalece la cultura organizacional y mejora la capacidad de toma de decisiones mediante el uso de indicadores de desempeño energético (Howk Prinsel & Ríos Gálvez, 2019; Zuloeta Vigo, 2018; Echeandía Diez, 2016; Plata Durán, 2019).

Más allá de constituir un conjunto de requisitos normativos, la ISO 50001 representa una filosofía de gestión basada en la mejora continua. Su aplicación promueve una visión integral de la energía como un recurso estratégico, impulsando a las organizaciones a identificar usos significativos, establecer líneas base, formular objetivos energéticos, implementar planes de acción y evaluar sistemáticamente los resultados obtenidos. Este enfoque convierte a la gestión energética en un proceso dinámico, capaz de adaptarse a los cambios tecnológicos, operacionales y ambientales que enfrentan las organizaciones modernas (CONUEE, 2014; Ministerio de Energía y Minas, 2019).

En los últimos años, la transformación digital ha abierto nuevas posibilidades para fortalecer los Sistemas de Gestión de la Energía. Tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la analítica de datos, la inteligencia artificial y los gemelos digitales permiten ampliar significativamente las capacidades del modelo tradicional propuesto por la ISO 50001, facilitando el monitoreo en tiempo real, la simulación predictiva y la toma de decisiones automatizada. Aunque estas herramientas no sustituyen los principios establecidos por la norma, sí potencian su alcance y crean las bases para una nueva generación de sistemas de gestión energética orientados a la Industria 4.0 y la Industria 5.0.

En este capítulo se desarrollan los fundamentos teóricos y metodológicos del Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50001. Se analizan su evolución, principios, estructura, requisitos y mecanismos de implementación, así como el papel del ciclo PHVA como eje articulador de la mejora continua. Estos elementos constituyen el marco conceptual

indispensable para comprender el caso de estudio presentado en el capítulo siguiente y la propuesta de evolución hacia modelos inteligentes de gestión energética que se desarrollará en la parte final de esta obra.

2.1 REFERENTES TEÓRICOS

Los Sistemas de Gestión de la Energía representan la evolución de las acciones aisladas de ahorro hacia un modelo organizado, permanente y verificable de administración del desempeño energético. Su desarrollo responde a la necesidad de superar una limitación frecuente en las organizaciones industriales: la ejecución de mejoras técnicas sin una estructura institucional que asegure su continuidad, seguimiento y actualización. La sustitución de equipos, la corrección del factor de potencia o la optimización de procesos pueden generar reducciones importantes del consumo; sin embargo, sus beneficios tienden a disminuir cuando no existen políticas, responsabilidades, indicadores y mecanismos sistemáticos de evaluación.

Desde esta perspectiva, un Sistema de Gestión de la Energía —en adelante, SGEn— puede entenderse como el conjunto de elementos interrelacionados mediante los cuales una organización establece su política energética, define objetivos, analiza sus usos y consumos, implementa acciones y evalúa los resultados alcanzados. La gestión energética deja así de depender exclusivamente de decisiones técnicas adoptadas por las áreas de mantenimiento o producción y pasa a integrarse en la conducción estratégica de la empresa.

La norma ISO 50001 proporcionó un marco internacional para ordenar estos componentes bajo una metodología de mejora continua. Su primera edición, publicada en 2011, estableció requisitos para diseñar, implementar, mantener y mejorar un SGEn orientado a incrementar el desempeño energético, comprendido en términos de eficiencia, uso y consumo de la energía (ISO, 2011). La adopción peruana de estos principios mediante la NTP-ISO 50001 reforzó la posibilidad de aplicar este estándar en organizaciones nacionales de diferentes dimensiones y sectores productivos (NTP-ISO 50001, 2012).

2.1.1 Antecedentes de los Sistemas de Gestión de la Energía

Antes de la normalización internacional de la gestión energética, las empresas aplicaban principalmente auditorías, programas de conservación y proyectos puntuales de

modernización tecnológica. Estas iniciativas permitían identificar pérdidas y oportunidades de ahorro, pero no siempre garantizaban la permanencia de los resultados. La gestión dependía muchas veces de la experiencia de determinados profesionales, de coyunturas económicas o de la disponibilidad de financiamiento.

Borroto et al. (2006) plantearon que la energía debía administrarse con criterios semejantes a los utilizados en la gestión de la producción, los costos o el mantenimiento. Para estos autores, la evaluación del comportamiento energético requería integrar información técnica y económica, pues el consumo no solo expresa una magnitud física, sino también un costo que influye en la competitividad de la organización. Esta visión contribuyó a superar la idea de que la eficiencia energética era únicamente un problema de equipos y condujo hacia un enfoque de administración permanente.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) profundizaron esta perspectiva al vincular la gestión energética con el cálculo del consumo, los indicadores y la mejora. Su propuesta resalta que la medición debe acompañarse de criterios de interpretación capaces de relacionar la energía consumida con la producción, las horas de funcionamiento y otras variables relevantes. De lo contrario, la organización puede disponer de numerosos registros sin convertirlos en conocimiento útil para la toma de decisiones.

Las directrices de Energy Star también contribuyeron a consolidar una visión sistemática. Su modelo de gestión propone una secuencia que comprende el compromiso institucional, la evaluación del desempeño, el establecimiento de metas, la elaboración de planes de acción, la implementación, la verificación y el reconocimiento de los resultados (Energy Star, 2008). Aunque no constituye una norma certificable equivalente a la ISO 50001, este enfoque anticipó varios de los principios que posteriormente serían integrados en los sistemas modernos de gestión de la energía.

El Energy Management Action Programme de la Sustainable Energy Authority of Ireland plantea igualmente que la eficiencia debe incorporarse en las prácticas habituales de la organización y no limitarse a campañas temporales. El programa promueve la revisión periódica del consumo, la asignación de responsabilidades y la formulación de acciones progresivas orientadas a consolidar una cultura energética institucional (SEAI, 2012).

Estos antecedentes muestran que la ISO 50001 no surgió de manera aislada. Su formulación fue consecuencia de una evolución internacional que reconoció la necesidad de integrar tecnología, gestión, medición, liderazgo y mejora continua dentro de un mismo sistema.

2.1.2 Surgimiento y evolución de la ISO 50001

La publicación de la ISO 50001 en 2011 constituyó un punto de inflexión en la administración de la energía. Por primera vez, las organizaciones contaron con un estándar internacional capaz de proporcionar un lenguaje común, requisitos verificables y una metodología aplicable a distintos sectores económicos.

La norma fue diseñada para que cualquier organización pudiera establecer un enfoque sistemático orientado a mejorar su desempeño energético. Su aplicación no depende del tipo de energía utilizada ni de la cantidad consumida, lo que permite implementarla en industrias manufactureras, empresas mineras, universidades, hoteles, edificios administrativos, redes comerciales y entidades públicas.

La ISO 50001 adoptó como base el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar. Esta decisión permitió integrar la gestión energética con otros sistemas normalizados y facilitó su incorporación en organizaciones que ya contaban con estructuras de gestión de calidad, ambiente o seguridad. El ciclo PHVA organiza la mejora como un proceso continuo: primero se analiza la situación energética; luego se implementan acciones; posteriormente se verifican los resultados; y, finalmente, se adoptan decisiones para corregir desviaciones y elevar el nivel de desempeño.

La Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001:2012 trasladó estos principios al ámbito nacional y definió los requisitos para que las organizaciones peruanas pudieran desarrollar un enfoque estructurado de gestión energética. Entre sus componentes centrales se encuentran la política energética, la planificación, la revisión de usos y consumos, la identificación de usos significativos, el establecimiento de indicadores, la línea base, los planes de acción y la evaluación periódica del desempeño (NTP-ISO 50001, 2012).

La importancia de la norma radica en que no prescribe una tecnología específica ni fija un porcentaje obligatorio de ahorro. En lugar de ello, exige que cada organización

establezca sus propios objetivos a partir de su contexto, sus procesos y sus oportunidades de mejora. Esta flexibilidad facilita su aplicación, pero también requiere que la empresa disponga de criterios técnicos sólidos para seleccionar indicadores y evaluar los resultados.

2.1.3 El Sistema de Gestión de la Energía como enfoque organizacional

Un SGEn no debe interpretarse como un conjunto de documentos elaborados únicamente para obtener una certificación. Su finalidad esencial consiste en modificar la manera en que la organización toma decisiones relacionadas con la energía.

La Asociación Española para la Calidad sostiene que un sistema de gestión energética permite establecer responsabilidades, procedimientos y controles para incorporar la variable energía en el funcionamiento habitual de una organización (AEC, 2017). Esto significa que la eficiencia debe considerarse en la operación de los equipos, el mantenimiento, las compras, el diseño de instalaciones, la selección de proveedores y la planificación de inversiones.

El Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía destaca que el desempeño energético depende de la articulación entre la alta dirección, los responsables técnicos y el personal operativo. La dirección debe definir la política, proporcionar recursos y asegurar que la gestión energética sea compatible con la estrategia institucional. Los responsables técnicos deben realizar la revisión energética, construir indicadores y formular planes. Finalmente, los trabajadores deben aplicar buenas prácticas y comunicar las desviaciones observadas durante la operación (CONUEE, 2014).

El DOE Guide for ISO 50001 resalta igualmente que la gestión energética debe integrarse en los procesos ordinarios de la empresa. Cuando el SGEn funciona como un proyecto independiente, existe el riesgo de que pierda prioridad frente a otras exigencias operativas. En cambio, cuando se incorpora en los mecanismos de planificación, presupuesto, diseño y mantenimiento, la mejora energética adquiere continuidad y capacidad de adaptación (DOE, 2012).

Este enfoque organizacional también permite distribuir responsabilidades. La energía deja de ser un problema exclusivo del especialista eléctrico o del área de mantenimiento.

Producción influye mediante la programación de turnos y cargas; compras mediante la selección de equipos; finanzas mediante la evaluación de inversiones; recursos humanos mediante la capacitación; y la dirección mediante la asignación de prioridades y recursos.

2.1.4 La planificación energética como fundamento del sistema

La planificación constituye una de las etapas más importantes de la ISO 50001 porque establece el punto de partida del SGEn. Su desarrollo exige analizar el uso y consumo de energía, identificar los procesos de mayor relevancia, determinar las variables que afectan su comportamiento y estimar las oportunidades de mejora.

La revisión energética organiza esta información y permite responder preguntas esenciales: qué energía consume la organización, dónde se utiliza, cuáles son los equipos o procesos de mayor demanda, qué factores explican las variaciones y qué mejoras resultan técnica y económicamente viables.

La Guía de gestión energética municipal basada en ISO 50001 señala que la evaluación inicial debe conducir al establecimiento de una línea base, indicadores de desempeño, objetivos y planes de acción. La línea base representa el comportamiento energético de referencia, mientras que los indicadores permiten observar la evolución del sistema y verificar si las acciones implementadas generan mejoras reales (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

El Ministerio de Energía y Minas destaca que la revisión energética debe apoyarse en datos históricos y mediciones representativas. La calidad de esta información condiciona todo el sistema, pues una línea base construida con registros incompletos o inconsistentes puede distorsionar la evaluación posterior del desempeño (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

La planificación también requiere identificar los usos significativos de energía. Estos corresponden a instalaciones, equipos, procesos o sistemas que presentan un consumo elevado o un potencial importante de mejora. La identificación de estos usos permite concentrar recursos en los puntos donde las intervenciones pueden generar mayores beneficios.

2.1.5 Liderazgo y política energética

La literatura especializada coincide en que el compromiso de la alta dirección constituye una condición indispensable para el funcionamiento del SGEn. La mejora energética puede requerir inversiones, modificaciones de procedimientos, capacitación, acceso a datos y coordinación entre diferentes áreas. Sin respaldo directivo, estas medidas suelen quedar subordinadas a las urgencias operativas.

La política energética expresa formalmente el compromiso de la organización con la mejora continua del desempeño. Debe ser coherente con la naturaleza y magnitud de los usos energéticos, proporcionar un marco para establecer objetivos y promover la disponibilidad de recursos e información.

CONUEE (2014) señala que la política no debe ser un documento meramente declarativo. Su contenido debe reflejarse en las decisiones de compra, operación, mantenimiento y diseño. Si una organización declara su compromiso con la eficiencia, pero continúa adquiriendo equipos únicamente por su menor costo inicial, sin considerar su consumo durante el ciclo de vida, la política pierde coherencia práctica.

El liderazgo también se manifiesta mediante la designación de responsables y la creación de equipos o comités energéticos. Estas estructuras facilitan la coordinación entre áreas y permiten que los resultados sean revisados periódicamente por la dirección.

En la investigación desarrollada en la Ladrillera Sagitario se designó como representante de la dirección al gerente de producción y se constituyó un comité integrado por la gerencia general, producción, mantenimiento y el responsable de la investigación. Asimismo, se establecieron políticas energéticas como parte de los requisitos iniciales del sistema.

2.1.6 Objetivos, metas y planes de acción

Los objetivos energéticos traducen la política en propósitos concretos, mientras que las metas expresan resultados cuantificables y verificables. Su formulación debe considerar la revisión energética, los usos significativos, las oportunidades identificadas y los recursos disponibles.

Un objetivo puede consistir en mejorar el desempeño energético de una línea de producción. La meta correspondiente debería precisar el porcentaje de reducción, el periodo de cumplimiento y el indicador utilizado para verificarla. Esta relación evita formulaciones ambiguas y facilita el seguimiento.

Los planes de acción convierten los objetivos en actividades operativas. Deben definir responsables, recursos, plazos, mecanismos de verificación y resultados esperados. Entre las acciones posibles se encuentran la capacitación, la optimización de horarios, el balance de cargas, la corrección del factor de potencia, la automatización, el reemplazo de motores y la instalación de sistemas de medición.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) advierten que la selección de medidas debe considerar tanto el ahorro potencial como la viabilidad económica. Por ello, los proyectos energéticos deben evaluarse mediante indicadores financieros tales como periodo de recuperación, relación beneficio-costo, valor actual neto y tasa interna de retorno.

2.1.7 Medición y verificación del desempeño

La medición permite determinar si el SGEn está produciendo los resultados esperados. No basta con implementar acciones; es necesario comparar el comportamiento posterior con la línea base y analizar si las variaciones corresponden realmente a la intervención.

Energy Star (2008) plantea que la evaluación debe ser periódica y basarse en indicadores representativos. De manera semejante, el DOE (2012) enfatiza que los datos deben normalizarse cuando existen variables relevantes que afectan el consumo, como producción, temperatura, horarios o tipo de producto.

La verificación incluye el seguimiento de los indicadores, la revisión del cumplimiento de objetivos, las auditorías internas y el análisis de las desviaciones. Cuando los resultados no coinciden con lo esperado, la organización debe identificar las causas y adoptar acciones correctivas.

La importancia de este proceso se observa en el caso de la Ladrillera Sagitario, donde se realizaron mediciones antes y después de la implementación de las mejoras. Los registros permitieron comparar el consumo de los tres transformadores y el indicador de energía por

tonelada producida. Esta metodología evidenció que el indicador promedio disminuyó de 19,09 a 15,54 kWh por tonelada.

2.1.8 Auditorías internas y revisión por la dirección

Las auditorías internas permiten evaluar si el SGEn se encuentra implementado y si sus actividades se desarrollan conforme con los procedimientos establecidos. Su finalidad no consiste únicamente en detectar incumplimientos documentales, sino en identificar debilidades que puedan afectar el desempeño energético.

Una auditoría eficaz debe revisar la aplicación de la política, el cumplimiento de los objetivos, la calidad de los registros, el funcionamiento de los controles operacionales y la confiabilidad de los indicadores. También debe verificar si las acciones correctivas adoptadas en evaluaciones anteriores fueron implementadas y resultaron efectivas.

La revisión por la dirección constituye el nivel superior de evaluación. En ella se analizan los resultados de las auditorías, el comportamiento de los indicadores, el cumplimiento de metas, las no conformidades, los cambios organizacionales y las oportunidades de mejora. A partir de esta revisión pueden modificarse la política, los objetivos, los recursos o el alcance del sistema.

En el caso de Sagitario, la etapa de verificación comprendió el seguimiento de los procesos intervenidos y la comunicación de los resultados. Posteriormente, la fase de actuación incluyó la revisión periódica de la política, los objetivos, las metas y los planes de acción por parte del comité energético.

2.1.9 Integración de la ISO 50001 con otros sistemas de gestión

La ISO 50001 comparte principios con otros estándares internacionales, particularmente con aquellos orientados a la calidad, la gestión ambiental y la seguridad. Esta compatibilidad facilita la integración de procedimientos, auditorías, control documental y revisión por la dirección.

La gestión de la calidad busca asegurar que los procesos produzcan resultados conformes; la gestión ambiental procura controlar los impactos; y la gestión energética se orienta a mejorar el uso y consumo de la energía. Aunque sus objetivos específicos son

diferentes, los tres sistemas comparten la necesidad de planificar, ejecutar, verificar y mejorar.

La integración puede reducir duplicidades administrativas. Por ejemplo, un mismo procedimiento de formación puede incluir competencias de calidad, ambiente y energía; una auditoría interna puede evaluar varios sistemas; y la revisión por la dirección puede analizar conjuntamente los resultados estratégicos.

Sin embargo, la integración no debe diluir la especificidad energética. El SGEn requiere conocimientos técnicos, indicadores y métodos de normalización propios. Por ello, la organización debe asegurar que los aspectos energéticos mantengan suficiente profundidad dentro del sistema integrado.

2.1.10 Experiencias nacionales de implementación

Las investigaciones desarrolladas en el Perú muestran que la ISO 50001 puede aplicarse en distintos contextos y generar beneficios verificables.

Howk Prinsel y Ríos Gálvez analizaron la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en el taller de mantenimiento mecánico de una empresa minera. El estudio concluyó que una gestión estructurada podía reducir costos y contribuir a la excelencia operacional. También identificó que el desconocimiento de las oportunidades energéticas por parte de directivos y técnicos constituía una barrera para la adopción de mejoras (Howk Prinsel & Ríos Gálvez, 2019).

Zuloeta Vigo (2018) desarrolló una propuesta para la empresa Atlántica S.R.L. basada en auditorías de planta, medición de parámetros eléctricos y formulación de indicadores. La investigación evidenció que la combinación entre análisis técnico y gestión permitía diseñar acciones económicamente viables y mejorar el control operacional.

Echeandía Diez (2016) diseñó un SGEn para un campus universitario, construyendo una línea base histórica y una línea meta orientada a reducir el consumo. Aunque el estudio tuvo un carácter principalmente proyectivo, demostró la utilidad de los indicadores y de la planificación para establecer escenarios de mejora.

Asto Mendoza (2016) evaluó la factibilidad de implementar ISO 50001 en una institución educativa y utilizó indicadores financieros para demostrar la rentabilidad de las medidas propuestas. Su trabajo refuerza la necesidad de justificar económicamente los proyectos energéticos.

Delgado Rojas (2016), mediante una auditoría energética en una empresa industrial, destacó la importancia de identificar equipos ineficientes y formular acciones específicas de modernización. Aunque su trabajo no abarcó todos los requisitos de un SGEn, aporta evidencia sobre el valor del diagnóstico como punto de partida para la mejora.

2.1.11 Experiencias internacionales

Las experiencias internacionales muestran la adaptabilidad del modelo a diferentes sectores y escalas organizacionales.

García Silva y Vinza Carvajal desarrollaron un sistema de gestión energética para una empresa alimentaria en Ecuador, integrando el análisis del consumo con los requisitos de ISO 50001. Su estudio mostró la necesidad de adaptar los indicadores a las características específicas del proceso productivo.

Panchi Guamangallo (2015) diseñó un SGEn para una industria metálica, destacando la importancia de identificar las cargas significativas y establecer controles operacionales adecuados. El estudio evidencia que el comportamiento energético debe analizarse en relación con la tecnología y las condiciones de operación.

Nachimba Sánchez y Peña Pérez (2017) aplicaron un diagnóstico basado en ISO 50001 en una instalación hotelera. La investigación demuestra que el sistema no se restringe al sector manufacturero, sino que puede adaptarse a organizaciones de servicios mediante indicadores relacionados con ocupación, climatización y demanda térmica.

Plata Durán (2019) formuló una propuesta de gestión energética para un edificio administrativo en Colombia y proyectó ahorros mediante acciones de gestión y cambio tecnológico. Su trabajo destaca la importancia de combinar medidas de bajo costo con inversiones estructurales.

Martínez Marrero (2016) evaluó el desempeño energético de una red minorista en Cuba de acuerdo con los requisitos de la ISO 50001. Este antecedente muestra la posibilidad de utilizar indicadores comparativos entre instalaciones y de identificar buenas prácticas transferibles dentro de una misma organización.

Las investigaciones revisadas coinciden en la necesidad de contar con información confiable, liderazgo, indicadores representativos, evaluación económica y seguimiento continuo. También evidencian que las dificultades más frecuentes corresponden a la insuficiencia de mediciones, la falta de cultura energética y la discontinuidad de los programas.

2.1.12 El caso de la Industria Ladrillera como aplicación integral

La investigación desarrollada en la industria ladrillera. resulta particularmente relevante porque integró la planificación, el diagnóstico técnico, la ejecución de mejoras y la evaluación posterior de resultados.

La empresa presentaba un elevado consumo eléctrico, ausencia de indicadores energéticos, deficiencias en el monitoreo y problemas asociados con potencia reactiva, armónicos y distribución de cargas. El análisis inicial mostró que la potencia activa alcanzaba 1 965 kW frente a una potencia contratada de 1 500 kW, mientras que la potencia aparente registrada superaba la capacidad total nominal de los transformadores. También se detectaron valores de distorsión armónica superiores a los límites considerados en el estudio.

La intervención comprendió la implementación del SGEn basado en el PHVA, la capacitación del personal, la reactivación de bancos de condensadores, el balance de cargas y la instalación de un arrancador electrónico suave.

Los resultados evidenciaron una disminución del consumo de la muestra de 30 187,03 a 24 584,32 kWh. La estimación mensual mostró una reducción de 43 504 kWh, equivalente a aproximadamente S/18 067,21.

El análisis económico estableció una inversión total de S/50 500 y una relación beneficio-costo de 4,29. Asimismo, se reportó un VAN positivo y una TIR del 35 %, lo que respaldó la viabilidad de la intervención.

Este caso muestra que el SGEn puede articular mejoras organizacionales y técnicas dentro de un mismo marco metodológico. El ahorro no procedió de una única acción, sino de la combinación entre medición, planificación, capacitación, corrección eléctrica y seguimiento del desempeño.

2.1.13 Limitaciones del modelo convencional

Aunque la ISO 50001 proporciona una estructura sólida, su efectividad depende de la capacidad de la organización para recopilar y analizar información oportunamente. En muchos sistemas convencionales, los indicadores se calculan al finalizar el turno, la semana o el mes. Esto genera una distancia temporal entre la aparición de la desviación y la adopción de la acción correctiva.

Otra limitación se relaciona con la calidad y frecuencia de las mediciones. Cuando la organización utiliza únicamente facturas mensuales, puede identificar tendencias generales, pero no determinar con precisión qué equipos o eventos originaron el incremento del consumo.

Asimismo, la evaluación tradicional suele apoyarse en análisis retrospectivos. La organización observa lo ocurrido y adopta correcciones para el siguiente periodo. Este enfoque resulta útil, pero no permite anticipar fallas, simular escenarios o ajustar parámetros en tiempo real.

Estas limitaciones no reducen la validez del SGEn; por el contrario, señalan oportunidades para fortalecerlo mediante tecnologías digitales. Los sensores conectados, los sistemas SCADA, la analítica avanzada, la inteligencia artificial y los gemelos digitales pueden ampliar la capacidad del PHVA al proporcionar información continua y predicciones sobre el comportamiento futuro.

2.1.14 Síntesis de los referentes teóricos

Los referentes analizados permiten afirmar que la ISO 50001 consolidó una transición desde el ahorro energético aislado hacia una gestión estratégica basada en liderazgo, planificación, medición y mejora continua. La norma no garantiza por sí sola una reducción determinada del consumo, pero proporciona una estructura que permite identificar oportunidades, organizar acciones y verificar resultados.

Las experiencias nacionales e internacionales demuestran que el éxito del SGEn depende de varios factores: compromiso de la dirección, datos confiables, selección adecuada de indicadores, participación del personal, evaluación económica y continuidad del seguimiento.

El caso de Ladrillera Sagitario confirma que la aplicación articulada de estos elementos puede generar reducciones verificables del consumo y beneficios económicos relevantes. También evidencia que la siguiente etapa de evolución consiste en reducir la distancia entre la medición, el análisis y la decisión.

Sobre esta base, el apartado siguiente profundiza en los fundamentos de la ISO 50001, sus componentes estructurales y la forma en que sus requisitos convierten la mejora energética en un proceso organizado, repetible y susceptible de evaluación.

2.2 FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

2.2.1 Sistema de Gestión de la Energía: concepto y principios

El incremento sostenido de la demanda energética, la necesidad de optimizar los costos operativos y el compromiso mundial con la sostenibilidad han convertido a la energía en un recurso estratégico para las organizaciones. En este contexto, la simple ejecución de acciones orientadas al ahorro energético resulta insuficiente para garantizar mejoras permanentes. La experiencia demuestra que las organizaciones requieren un modelo estructurado que permita planificar, controlar, evaluar y mejorar continuamente el desempeño energético. Ese modelo es el **Sistema de Gestión de la Energía (SGEn)**.

Un Sistema de Gestión de la Energía puede definirse como el conjunto de elementos interrelacionados mediante los cuales una organización establece políticas, objetivos, procesos y procedimientos para gestionar de manera sistemática el uso y consumo de la energía, buscando mejorar continuamente su desempeño energético. A diferencia de las intervenciones aisladas, el SGEn integra la energía dentro de la estrategia organizacional y la convierte en un componente permanente de la gestión empresarial (ISO, 2011).

La **Norma Internacional ISO 50001** establece que el propósito principal de un Sistema de Gestión de la Energía consiste en proporcionar a las organizaciones un enfoque sistemático que les permita alcanzar una mejora continua del desempeño energético,

incluyendo la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo energético (ISO, 2011). Esta definición constituye uno de los pilares conceptuales más importantes de la gestión energética moderna, ya que desplaza el enfoque tradicional centrado únicamente en la reducción del consumo hacia un modelo integral de administración basado en evidencia objetiva y mejora continua.

Desde esta perspectiva, la energía deja de ser considerada un costo inevitable del proceso productivo para convertirse en una variable estratégica susceptible de ser gestionada mediante herramientas de planificación, medición, análisis y control. Esta evolución representa un cambio significativo en la forma en que las organizaciones administran sus recursos, pues incorpora la energía al mismo nivel que la calidad, la productividad, la seguridad o la gestión ambiental.

La **Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001** adopta estos mismos principios y establece que el Sistema de Gestión de la Energía debe permitir a cualquier organización desarrollar un enfoque estructurado para mejorar continuamente su desempeño energético, independientemente de su tamaño, actividad económica o nivel de consumo (NTP-ISO 50001, 2012). Esta característica convierte a la norma en un instrumento altamente adaptable, capaz de aplicarse tanto en grandes industrias como en pequeñas y medianas empresas, edificios públicos, instituciones educativas o entidades gubernamentales.

Uno de los principales aportes de la ISO 50001 consiste en reconocer que la eficiencia energética no depende exclusivamente de la incorporación de nuevas tecnologías. Aunque la modernización de equipos puede generar reducciones importantes del consumo, numerosos estudios demuestran que una parte significativa del ahorro energético puede alcanzarse mediante mejoras organizacionales, procedimientos adecuados, monitoreo permanente y capacitación del personal (CONUEE, 2014; Energy Star, 2008).

En este sentido, el Sistema de Gestión de la Energía integra aspectos técnicos y administrativos dentro de un mismo modelo de gestión. La planificación energética, la definición de indicadores, el establecimiento de líneas base, la evaluación del desempeño y la revisión periódica por parte de la dirección forman parte de un proceso continuo cuyo objetivo es optimizar el uso de la energía de manera sostenible.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que la gestión energética debe entenderse como un proceso sistemático de administración del consumo energético, sustentado en la medición permanente del desempeño y en la implementación de acciones de mejora. Según estos autores, el verdadero valor del sistema no radica únicamente en reducir el consumo, sino en desarrollar la capacidad de la organización para identificar continuamente nuevas oportunidades de optimización.

Por su parte, Borroto et al. (2006) consideran que el Sistema de Gestión de la Energía representa una herramienta de gestión empresarial cuyo propósito es incrementar la eficiencia de los procesos mediante la utilización racional de los recursos energéticos. Los autores destacan que la energía constituye un recurso económico cuya administración debe realizarse con el mismo nivel de rigurosidad que cualquier otro recurso estratégico de la organización.

Esta visión también es compartida por el **Department of Energy (DOE)** de los Estados Unidos, el cual señala que un Sistema de Gestión de la Energía debe integrarse dentro de los procesos normales de administración empresarial, evitando que las actividades relacionadas con la eficiencia energética sean desarrolladas como proyectos independientes o temporales. La incorporación del SGEn dentro de la estructura organizacional permite garantizar la continuidad de las mejoras, independientemente de los cambios administrativos o tecnológicos que experimente la empresa (DOE, 2012).

Uno de los aspectos que diferencia a la ISO 50001 de otros enfoques tradicionales es su orientación hacia la mejora continua. En lugar de establecer objetivos estáticos, el sistema promueve un proceso dinámico mediante el cual la organización analiza permanentemente su desempeño energético, identifica nuevas oportunidades de mejora, implementa acciones correctivas y vuelve a evaluar los resultados obtenidos. Este proceso convierte al SGEn en un mecanismo de aprendizaje organizacional que evoluciona conforme cambian las condiciones operativas y tecnológicas.

El **Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía**, elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), destaca que la eficacia del sistema depende del compromiso institucional y de la participación activa de todos los niveles de la organización. La alta dirección define la política energética y

proporciona los recursos; los responsables técnicos desarrollan la revisión energética y los planes de acción; mientras que el personal operativo ejecuta las actividades y contribuye con la identificación de oportunidades de mejora (CONUEE, 2014).

La literatura especializada coincide en que un Sistema de Gestión de la Energía eficaz debe sustentarse en varios principios fundamentales. El primero corresponde al **liderazgo**, entendido como el compromiso permanente de la alta dirección con la mejora del desempeño energético. El segundo es la **planificación**, que implica analizar el comportamiento energético y establecer objetivos cuantificables. El tercero corresponde a la **toma de decisiones basada en evidencia**, utilizando indicadores confiables y datos medibles. Finalmente, el cuarto principio es la **mejora continua**, mediante la cual el sistema se adapta y perfecciona de manera permanente.

Estos principios permiten que la gestión energética trascienda el ámbito exclusivamente técnico para convertirse en una herramienta estratégica de dirección empresarial. La energía pasa a formar parte de los procesos de planificación, inversión, mantenimiento, compras y operación, favoreciendo una utilización más racional de los recursos disponibles.

Las experiencias nacionales respaldan esta afirmación. Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019) demostraron que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en una empresa minera permitió reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del mantenimiento mediante una metodología sistemática basada en la ISO 50001. De manera similar, Zuloeta Vigo (2018) concluyó que la gestión estructurada de la energía facilita el control operativo y optimiza el desempeño energético de los procesos industriales. Asimismo, Echeandía Diez (2016) evidenció que la implementación de un SGEn en un campus universitario permitió establecer líneas base, indicadores y metas de ahorro que fortalecieron la gestión institucional de la energía.

La investigación desarrollada en la empresa **Ladrillera Sagitario** constituye un ejemplo representativo de esta evolución conceptual. El estudio demostró que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50001 permitió estructurar el proceso de mejora mediante la creación de un comité energético, el establecimiento de políticas, la definición de indicadores de desempeño, la construcción de

una línea base energética y la implementación de acciones orientadas a optimizar el consumo eléctrico. Estas actividades permitieron organizar la gestión energética como un proceso permanente y no como un conjunto de intervenciones aisladas.

Los resultados obtenidos confirmaron la efectividad del enfoque sistémico. La organización logró disminuir su consumo energético, mejorar sus indicadores de desempeño y obtener beneficios económicos significativos como consecuencia de una gestión estructurada de la energía. Más importante aún, el estudio evidenció que la implementación del SGEn permitió institucionalizar la mejora continua mediante procedimientos, responsabilidades e indicadores que garantizan la sostenibilidad de los resultados en el tiempo.

En síntesis, el Sistema de Gestión de la Energía representa actualmente el modelo más completo para administrar el desempeño energético de una organización. Su fortaleza no reside únicamente en los requisitos establecidos por la ISO 50001, sino en su capacidad para integrar liderazgo, planificación, medición, evaluación y mejora continua dentro de un mismo proceso de gestión. Este enfoque constituye el fundamento sobre el cual se desarrollan los componentes específicos del SGEn, comenzando por la política energética, elemento que orienta estratégicamente todas las acciones destinadas a mejorar el desempeño energético de la organización.

2.2.2 Política energética

La política energética constituye el punto de partida de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), ya que expresa formalmente el compromiso de la alta dirección con el uso eficiente de la energía y establece las directrices que orientarán todas las actividades relacionadas con la mejora del desempeño energético. Más que un documento institucional, la política energética representa una declaración estratégica mediante la cual la organización reconoce que la energía es un recurso fundamental para su competitividad, sostenibilidad y crecimiento.

La norma **ISO 50001** establece que la alta dirección debe definir, implementar y mantener una política energética apropiada a la naturaleza y magnitud del uso y consumo de la energía de la organización. Asimismo, dicha política debe proporcionar un marco para el establecimiento de objetivos y metas energéticas, asegurar la disponibilidad de información

y recursos necesarios para alcanzar dichos objetivos, promover la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes y respaldar el compromiso con la mejora continua del desempeño energético (ISO, 2011).

Desde esta perspectiva, la política energética constituye el elemento articulador entre la visión estratégica de la organización y las actividades operativas relacionadas con la gestión de la energía. No se limita a establecer intenciones generales, sino que orienta la toma de decisiones en aspectos tan diversos como la adquisición de equipos, el mantenimiento industrial, la planificación de inversiones, el diseño de procesos productivos y la capacitación del personal.

La **Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001** mantiene estos principios y enfatiza que la política energética debe ser comunicada, comprendida y aplicada por todos los niveles de la organización, garantizando que las responsabilidades relacionadas con la energía sean asumidas de manera transversal y no únicamente por el personal técnico (NTP-ISO 50001, 2012). En consecuencia, la política energética deja de ser responsabilidad exclusiva del área de mantenimiento para convertirse en un compromiso institucional compartido por directivos, supervisores, operarios y personal administrativo.

El **Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía**, elaborado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), señala que una política energética efectiva debe construirse considerando el contexto particular de la organización, sus procesos productivos, el comportamiento histórico del consumo y las oportunidades de mejora identificadas durante la revisión energética. Asimismo, recomienda que la política sea revisada periódicamente por la alta dirección con el propósito de asegurar su vigencia frente a los cambios tecnológicos, organizacionales y regulatorios (CONUEE, 2014).

La literatura especializada coincide en que una política energética eficaz debe reunir determinadas características. En primer lugar, debe ser **coherente** con las actividades desarrolladas por la organización. Una empresa minera, una industria alimentaria o una institución educativa presentan patrones de consumo diferentes y, por tanto, requieren políticas adaptadas a sus necesidades específicas. En segundo lugar, debe ser **realista**, estableciendo compromisos alcanzables mediante los recursos disponibles. Finalmente, debe

ser **dinámica**, permitiendo su actualización conforme evolucionan las condiciones operativas y tecnológicas.

La Asociación Española para la Calidad (AEC, 2017) sostiene que la política energética constituye el instrumento mediante el cual la dirección incorpora la variable energía dentro de la estrategia empresarial. Esto implica que la eficiencia energética debe influir en las decisiones relacionadas con la planificación de la producción, la selección de tecnologías, la contratación de servicios, la evaluación de proveedores y la asignación de inversiones.

Uno de los aspectos más relevantes de la política energética es su capacidad para promover una **cultura organizacional orientada al uso eficiente de la energía**. Diversos estudios han demostrado que una parte importante de las pérdidas energéticas no proviene de limitaciones tecnológicas, sino de hábitos inadecuados de operación, falta de capacitación, ausencia de procedimientos estandarizados y escasa participación del personal en las actividades de mejora (Carretero Peña & García Sánchez, 2012).

Por ello, la política energética debe fomentar la sensibilización de los trabajadores respecto a la importancia del uso racional de la energía. Esto incluye programas de capacitación, difusión de buenas prácticas, establecimiento de responsabilidades y mecanismos de participación que permitan involucrar a todo el personal en la mejora continua del desempeño energético.

El **Department of Energy (DOE)** destaca que el liderazgo visible de la alta dirección constituye uno de los factores críticos para el éxito del Sistema de Gestión de la Energía. Cuando la gerencia participa activamente en la formulación de políticas, asigna recursos suficientes y realiza seguimiento a los indicadores energéticos, el compromiso institucional aumenta significativamente y las probabilidades de éxito del sistema se incrementan (DOE, 2012).

Desde el punto de vista operativo, la política energética también orienta la definición de criterios para la adquisición de equipos e infraestructura. La norma ISO 50001 recomienda que las organizaciones incorporen consideraciones relacionadas con el

desempeño energético durante los procesos de compra y diseño, privilegiando tecnologías que contribuyan a mejorar la eficiencia del sistema en el largo plazo (ISO, 2011).

Este enfoque resulta particularmente importante en industrias donde la vida útil de los equipos supera varias décadas. Una decisión basada únicamente en el costo inicial de adquisición puede generar gastos energéticos considerablemente mayores durante toda la vida operativa del activo. En cambio, la evaluación del costo del ciclo de vida permite seleccionar alternativas más eficientes, aunque impliquen una inversión inicial superior.

Las investigaciones desarrolladas en América Latina respaldan esta visión. Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019) identificaron que uno de los principales factores que limitan la implementación de sistemas de gestión energética es la falta de compromiso estratégico por parte de la dirección. Los autores concluyen que la existencia de una política energética claramente definida facilita la asignación de recursos y fortalece la sostenibilidad de las acciones implementadas.

Del mismo modo, Zuloeta Vigo (2018) señala que la política energética constituye el marco de referencia para desarrollar programas de auditoría, monitoreo e implementación de indicadores, favoreciendo la coordinación entre las diferentes áreas de la organización. Echeandía Diez (2016) también destaca que el establecimiento de políticas energéticas permitió estructurar los programas de mejora dentro del campus universitario estudiado, facilitando la definición de metas y el seguimiento del desempeño energético.

En el caso de la **empresa Ladrillera Sagitario**, la implementación del Sistema de Gestión de la Energía contempló la formulación de políticas energéticas como una de las primeras actividades del proyecto. Estas políticas fueron establecidas durante la etapa inicial del SGEn y acompañadas por la designación de un representante de la dirección y la conformación de un comité energético integrado por la gerencia general, el gerente de producción, el jefe de mantenimiento y el responsable de la investigación. Esta estructura permitió institucionalizar la gestión energética y asegurar el seguimiento permanente de las acciones implementadas.

La existencia de una política energética facilitó posteriormente la definición de objetivos, la construcción de indicadores, la implementación de programas de capacitación

y la evaluación sistemática de los resultados obtenidos. Más allá de las mejoras técnicas realizadas sobre el sistema eléctrico, el estudio evidenció que la incorporación de la energía dentro de la estrategia organizacional fue uno de los factores que permitió consolidar la mejora continua del desempeño energético.

En síntesis, la política energética constituye mucho más que un requisito documental de la ISO 50001. Representa el compromiso institucional que orienta la planificación, la asignación de recursos y la toma de decisiones relacionadas con el uso eficiente de la energía. Cuando es asumida por la alta dirección y compartida por toda la organización, se convierte en el fundamento sobre el cual se desarrollan los demás componentes del Sistema de Gestión de la Energía. A partir de esta política se inicia el proceso de planificación energética, tema que se desarrolla en el siguiente apartado como eje central para la identificación de oportunidades de mejora y el establecimiento de objetivos energéticos.

EnPI, línea base, medición e incertidumbre

La normalización es la frontera entre una narrativa de ahorro y una inferencia defendible. Si el consumo disminuye porque la planta produjo menos, no existe mejora de desempeño. El modelo de línea base debe representar la relación entre energía y variables relevantes dentro de un rango operacional válido.

Modelo mínimo de línea base. $E_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 H_t + \beta_3 T_t + \ldots + \varepsilon_t$, donde E es energía; P, producción; H, horas; T, una variable ambiental; y ε, el componente no explicado.

El ahorro ajustado del periodo t se estima como $S_t = \hat{E}base, t - Ereportado, t$. La estimación debe acompañarse de intervalo de confianza, error de modelo, reglas para datos faltantes y ajustes no rutinarios. Una métrica de intensidad E/P puede ser útil, pero introduce sesgo cuando existe una carga base importante o relaciones no lineales.

Pregunta	Criterio de rigor
¿El EnPI representa desempeño?	Incluye salida útil y variables relevantes; no premia menor actividad.
¿La línea base es válida?	Periodo representativo, datos trazables, residuales analizados y rango de uso definido.

Pregunta	Criterio de rigor
¿El ahorro es verificable?	Plan M&V previo, frontera, método, incertidumbre y ajustes documentados.
¿El resultado persiste?	Seguimiento longitudinal, detección de deriva y revisión por cambios estáticos.

2.2.3 Planificación energética

La planificación energética constituye el eje central de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), ya que permite transformar la política energética en acciones concretas orientadas a mejorar el desempeño energético de la organización. Una política institucional expresa el compromiso con el uso eficiente de la energía; sin embargo, únicamente mediante una adecuada planificación es posible identificar oportunidades de mejora, establecer prioridades, asignar recursos y definir mecanismos para alcanzar los objetivos propuestos. En consecuencia, la planificación representa el puente entre la estrategia organizacional y la ejecución de acciones técnicas dentro del proceso productivo.

La **Norma ISO 50001** establece que la planificación energética debe desarrollarse a partir del conocimiento del comportamiento energético de la organización. Para ello, exige realizar una **revisión energética**, identificar los **usos significativos de energía**, establecer una **línea base energética**, definir los **Indicadores de Desempeño Energético (EnPI)** y formular **objetivos, metas y planes de acción** que permitan mejorar continuamente el desempeño energético (ISO, 2011).

Este enfoque diferencia a la planificación energética de la planificación tradicional de la producción. Mientras esta última busca organizar recursos para satisfacer la demanda del mercado, la planificación energética procura optimizar el uso de los recursos energéticos necesarios para alcanzar esa producción con el menor consumo posible. En otras palabras, no se trata únicamente de producir más, sino de producir mejor desde el punto de vista energético.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que la planificación energética debe sustentarse en información objetiva proveniente del análisis histórico del consumo y del comportamiento de los procesos. Antes de establecer metas de ahorro, la organización debe conocer cómo consume energía, cuáles son sus equipos más

demandantes, qué variables afectan el consumo y cuáles son las oportunidades de mejora técnica y organizacional (CONUEE, 2014).

En el mismo sentido, el **Department of Energy (DOE)** considera que una planificación energética eficaz debe responder, entre otras, las siguientes preguntas:

- ¿Dónde se consume la mayor cantidad de energía?
- ¿Qué procesos presentan mayores oportunidades de mejora?
- ¿Cuáles son las variables que afectan el desempeño energético?
- ¿Qué acciones permitirán obtener los mayores beneficios?
- ¿Cómo serán evaluados los resultados obtenidos?

Responder estas interrogantes permite que las acciones posteriores estén sustentadas en evidencia técnica y no únicamente en percepciones o experiencias previas (DOE, 2012).

Uno de los principales componentes de la planificación energética es la **revisión energética**. Este proceso consiste en analizar el comportamiento del consumo de energía para comprender cómo, dónde y por qué se utiliza dentro de la organización. La revisión energética incluye la recopilación de información histórica, el análisis de facturación, el inventario de equipos, la identificación de procesos críticos y el estudio de las variables que influyen sobre el desempeño energético.

La **Guía de Gestión Energética Municipal basada en la ISO 50001** establece que la revisión energética constituye el punto de partida para la construcción de la línea base y la selección de los indicadores energéticos. Sin una revisión adecuada resulta imposible determinar el potencial de ahorro existente o establecer objetivos técnicamente alcanzables (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

Posteriormente, la organización debe identificar los **Usos Significativos de Energía (USE)**. Según la ISO 50001, estos corresponden a aquellos procesos, instalaciones o equipos que representan un consumo considerable de energía o que ofrecen un elevado potencial de mejora. La identificación de los USE permite concentrar los esfuerzos técnicos y económicos en aquellas áreas donde el impacto de las acciones correctivas será mayor.

En instalaciones industriales, los usos significativos suelen encontrarse asociados a motores eléctricos de gran potencia, sistemas de bombeo, compresores, hornos, sistemas de climatización, iluminación industrial y procesos térmicos. Sin embargo, cada organización debe determinar sus propios usos significativos considerando las características particulares de su operación.

Otro componente fundamental de la planificación energética corresponde al establecimiento de la **línea base energética (LBEn)**. La línea base representa el comportamiento energético de referencia contra el cual serán comparados los resultados obtenidos después de implementar las acciones de mejora. La ISO 50001 recomienda que esta línea sea construida utilizando información histórica suficientemente representativa y considerando las variables que influyen significativamente sobre el consumo (ISO, 2011).

De acuerdo con el **Ministerio de Energía y Minas del Perú**, la línea base permite cuantificar objetivamente las mejoras del desempeño energético y constituye uno de los principales instrumentos para evaluar el cumplimiento de los objetivos establecidos dentro del SGEn (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

Paralelamente a la línea base deben definirse los **Indicadores de Desempeño Energético (EnPI)**, los cuales permiten medir el comportamiento energético de los procesos de manera objetiva. La selección de estos indicadores dependerá del tipo de organización y de las variables que mejor representen el uso de la energía. En procesos industriales es frecuente utilizar indicadores como kWh por tonelada producida, kWh por unidad fabricada o consumo específico por hora de operación.

Una vez identificados los usos significativos, establecida la línea base y definidos los indicadores, la organización puede formular los **objetivos energéticos**. La norma ISO 50001 establece que dichos objetivos deben ser coherentes con la política energética y estar orientados a mejorar el desempeño energético de manera verificable (ISO, 2011).

Los objetivos representan las aspiraciones generales del sistema, mientras que las **metas energéticas** expresan resultados específicos, medibles y alcanzables dentro de un periodo determinado. Por ejemplo, un objetivo podría consistir en mejorar la eficiencia

energética del proceso de molienda, mientras que la meta asociada establecería una reducción del consumo específico del 10 % durante el siguiente año.

Para alcanzar dichos objetivos es necesario elaborar **planes de acción**, los cuales describen detalladamente las actividades que deberán ejecutarse, los responsables de cada tarea, los recursos necesarios, los plazos de ejecución y los mecanismos mediante los cuales serán evaluados los resultados.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que un plan de acción eficaz debe integrar aspectos técnicos, económicos y organizacionales. No basta con identificar una oportunidad de ahorro; es indispensable evaluar su viabilidad económica, estimar el periodo de recuperación de la inversión y establecer indicadores que permitan verificar el impacto real de la intervención.

Las investigaciones revisadas muestran que la planificación energética constituye uno de los factores que más influye en el éxito de un SGEn. Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019) destacan que la adecuada planificación permitió priorizar las acciones con mayor potencial de ahorro dentro de una empresa minera, mientras que Zuloeta Vigo (2018) demostró que el análisis previo del comportamiento energético facilitó el diseño de estrategias orientadas a optimizar la eficiencia del proceso industrial.

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la planificación energética inició con la recopilación del historial de consumo correspondiente al periodo julio de 2018 – julio de 2019, información que permitió construir los indicadores energéticos, establecer la línea base y proyectar la línea meta. Asimismo, se identificaron los procesos de mayor consumo, los tres transformadores principales de distribución y las variables que influían sobre el comportamiento energético de la planta.

La planificación también permitió identificar problemas relacionados con sobrecarga de transformadores, presencia de energía reactiva, distorsión armónica y distribución inadecuada de cargas, información que posteriormente sirvió de base para formular las acciones de mejora implementadas durante la investigación.

En síntesis, la planificación energética constituye el componente que otorga coherencia al Sistema de Gestión de la Energía. Mediante ella, la organización transforma la

información obtenida durante la revisión energética en objetivos, metas y programas concretos de actuación. Una planificación técnicamente fundamentada permite optimizar la asignación de recursos, reducir la incertidumbre y aumentar significativamente la probabilidad de éxito del sistema. Sobre esta base se desarrolla el siguiente componente del SGEn: la **revisión energética**, proceso mediante el cual se analiza detalladamente el comportamiento del consumo para identificar oportunidades reales de mejora.

2.2.4 Revisión energética

La revisión energética constituye uno de los procesos más importantes dentro del Sistema de Gestión de la Energía, ya que proporciona el conocimiento técnico necesario para comprender el comportamiento energético de una organización y constituye el punto de partida para la toma de decisiones orientadas a la mejora continua. La norma **ISO 50001** establece que toda organización debe realizar una revisión sistemática de sus usos y consumos de energía con el propósito de identificar oportunidades de optimización, establecer una línea base energética y definir los indicadores que permitirán evaluar posteriormente el desempeño energético (ISO, 2011).

Desde una perspectiva metodológica, la revisión energética puede entenderse como un diagnóstico integral del sistema energético de la organización. Su finalidad no consiste únicamente en recopilar datos de consumo, sino en interpretar la información disponible para determinar cómo se utiliza la energía, cuáles son los procesos de mayor demanda, qué variables afectan el desempeño energético y dónde existen oportunidades reales para mejorar la eficiencia.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que la revisión energética constituye el fundamento técnico sobre el cual se construye todo el Sistema de Gestión de la Energía. Si esta etapa se desarrolla de manera superficial o utilizando información incompleta, las decisiones posteriores carecerán del sustento necesario para garantizar la efectividad de las acciones implementadas (CONUEE, 2014).

De manera similar, el **Department of Energy (DOE)** sostiene que la revisión energética debe responder a tres objetivos fundamentales:

- Comprender el comportamiento energético actual de la organización.

- Identificar los usos significativos de energía.
- Detectar oportunidades de mejora técnica, operativa y económica.

Estos tres componentes permiten transformar la información recopilada en conocimiento útil para la planificación energética (DOE, 2012).

La revisión energética comienza con la recopilación de información histórica relacionada con el consumo energético. Entre las principales fuentes de información se encuentran las facturas del suministro eléctrico, los registros de producción, los reportes de mantenimiento, los diagramas eléctricos, los inventarios de equipos y las mediciones realizadas mediante analizadores de redes o sistemas de monitoreo.

La **Agencia Andaluza de la Energía (2011)** destaca que el análisis histórico permite identificar patrones de consumo, tendencias estacionales, variaciones operativas y posibles anomalías que podrían pasar desapercibidas al analizar únicamente periodos aislados. Por esta razón, la norma recomienda utilizar información suficientemente representativa para construir la línea base energética.

Una vez recopilados los datos históricos, el siguiente paso consiste en identificar los **Usos Significativos de Energía (USE)**. Según la ISO 50001, estos corresponden a aquellos procesos, equipos o instalaciones que representan una proporción importante del consumo energético total o que poseen un elevado potencial de mejora.

La identificación de los USE permite establecer prioridades dentro del Sistema de Gestión de la Energía, concentrando los recursos humanos, técnicos y económicos en aquellos procesos donde las acciones correctivas producirán el mayor impacto.

En industrias manufactureras, los usos significativos suelen encontrarse asociados a:

- Motores eléctricos de gran potencia.
- Sistemas de bombeo.
- Compresores.
- Hornos industriales.
- Sistemas de ventilación.
- Sistemas de refrigeración.

- Iluminación industrial.
- Equipos de climatización.

No obstante, la identificación depende de las características particulares de cada organización y del análisis realizado durante la revisión energética.

Otro aspecto esencial corresponde al análisis de las **variables que afectan el desempeño energético**. El consumo de energía rara vez depende de un único factor; por el contrario, está influenciado por múltiples variables, entre ellas:

- Nivel de producción.
- Horarios de operación.
- Tipo de producto.
- Condiciones climáticas.
- Estado de los equipos.
- Calidad del suministro eléctrico.
- Hábitos operativos del personal.

La ISO 50001 recomienda identificar estas variables para evitar interpretaciones incorrectas del comportamiento energético. Un incremento en el consumo absoluto no necesariamente representa una pérdida de eficiencia si está asociado, por ejemplo, a un aumento proporcional de la producción.

Posteriormente, la revisión energética permite establecer la **Línea Base Energética (LBEn)**, la cual representa el comportamiento energético de referencia contra el que serán comparados los resultados futuros. Esta línea constituye uno de los principales instrumentos para evaluar la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía.

La **Guía de Gestión Energética Municipal basada en la ISO 50001** señala que la línea base debe construirse utilizando datos confiables y considerando las variables que influyen significativamente sobre el consumo energético. Su principal finalidad consiste en proporcionar un punto de comparación objetivo para medir las mejoras alcanzadas después de implementar acciones de optimización (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

Paralelamente, la organización debe establecer los **Indicadores de Desempeño Energético (EnPI)**, los cuales permiten cuantificar el comportamiento energético mediante relaciones entre el consumo y variables representativas del proceso productivo.

Entre los indicadores más utilizados destacan:

- kWh por tonelada producida.
- kWh por unidad fabricada.
- kWh por hora efectiva de operación.
- Demanda máxima.
- Factor de potencia.
- Potencia reactiva.
- Distorsión armónica.

Estos indicadores permiten evaluar la evolución del desempeño energético y detectar oportunamente desviaciones respecto a la línea base.

La revisión energética también comprende la evaluación técnica de las instalaciones. Para ello se realizan inspecciones de campo, inventarios de equipos, mediciones eléctricas y análisis de parámetros operativos.

Entre las variables comúnmente analizadas se encuentran:

- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Potencia aparente.
- Corriente.
- Voltaje.
- Frecuencia.
- Factor de potencia.
- Distorsión armónica total (THD).
- Carga de transformadores.
- Rendimiento de motores eléctricos.

El análisis conjunto de estas variables permite identificar pérdidas energéticas ocasionadas por sobrecargas, desequilibrios, equipos obsoletos, deficiencias de mantenimiento o problemas relacionados con la calidad del suministro eléctrico.

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la revisión energética permitió identificar una serie de condiciones que afectaban directamente el desempeño del sistema eléctrico. El diagnóstico evidenció que la potencia activa superaba la potencia contratada, existían elevados niveles de potencia reactiva, uno de los transformadores operaba por encima de su capacidad nominal y la distorsión armónica superaba los límites considerados en la investigación. Además, se identificó que los motores de mayor potencia utilizaban sistemas de arranque tradicionales que incrementaban el consumo durante la puesta en marcha.

Asimismo, la revisión permitió analizar el comportamiento histórico del consumo energético correspondiente al periodo comprendido entre julio de 2018 y julio de 2019, construir la línea base energética, proyectar la línea meta y establecer los indicadores específicos de consumo expresados en kWh por tonelada producida. Esta información sirvió posteriormente para diseñar las acciones de mejora implementadas durante el desarrollo del Sistema de Gestión de la Energía.

Diversas investigaciones respaldan la importancia de esta etapa. Echeandía Diez (2016) señala que la revisión energética constituye el elemento central para diseñar un Sistema de Gestión de la Energía, mientras que Plata Durán (2019) destaca que la correcta identificación de los usos significativos permite orientar las inversiones hacia aquellas áreas con mayor potencial de ahorro. De manera similar, Zuloeta Vigo (2018) demuestra que la utilización de analizadores de redes facilita la obtención de información técnica indispensable para comprender el comportamiento energético de los procesos industriales.

En síntesis, la revisión energética representa el proceso mediante el cual la organización transforma datos operativos en información estratégica para la gestión de la energía. Su correcta ejecución permite conocer el comportamiento energético del sistema, establecer prioridades, definir indicadores, construir la línea base y fundamentar técnicamente las decisiones que posteriormente serán implementadas. En consecuencia, constituye uno de los pilares sobre los cuales se desarrolla todo el Sistema de Gestión de la

Energía y prepara el escenario para el siguiente componente: la definición de la **línea base energética y los indicadores de desempeño**, herramientas que permitirán medir objetivamente la evolución del desempeño energético de la organización.

2.2.5 Línea base energética e indicadores energéticos

La mejora del desempeño energético requiere un punto de referencia que permita comparar objetivamente el comportamiento del sistema antes y después de la implementación de acciones de optimización. Este punto de referencia corresponde a la **línea base energética (LBEn)**, considerada por la norma ISO 50001 como uno de los elementos esenciales del Sistema de Gestión de la Energía. Sin una línea base adecuadamente construida resulta imposible determinar si las variaciones observadas en el consumo responden a mejoras reales o simplemente a cambios en las condiciones normales de operación (ISO, 2011).

La línea base energética representa el comportamiento histórico del consumo de energía bajo condiciones operativas definidas y constituye el patrón de comparación para evaluar el desempeño energético futuro. Su construcción requiere el análisis de información representativa sobre el uso de la energía, considerando las variables que influyen significativamente en el consumo, tales como el nivel de producción, el tiempo de operación, las condiciones ambientales o las características del proceso productivo.

La **Norma ISO 50001** establece que la línea base debe mantenerse actualizada y revisarse cuando ocurran modificaciones importantes en los procesos, la infraestructura, los equipos o cualquier otra condición que altere significativamente el comportamiento energético de la organización (ISO, 2011). De esta manera, la línea base deja de ser un valor estático y se convierte en una referencia dinámica que evoluciona conforme cambian las condiciones de operación.

La **Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001** incorpora el mismo criterio y señala que la línea base constituye el principal instrumento para medir la mejora del desempeño energético, ya que permite comparar objetivamente el comportamiento del sistema antes y después de la implementación del SGEn (NTP-ISO 50001, 2012).

La literatura especializada coincide en que la construcción de una línea base debe apoyarse en información confiable y estadísticamente representativa. La **Guía de Gestión Energética Municipal basada en la ISO 50001** recomienda utilizar registros históricos suficientemente amplios para identificar tendencias y eliminar variaciones ocasionales que puedan distorsionar la interpretación del desempeño energético (Guía de Gestión Energética Municipal, 2013).

Asimismo, el **Ministerio de Energía y Minas del Perú** señala que la línea base constituye una herramienta fundamental para evaluar el cumplimiento de los objetivos energéticos, proyectar escenarios de ahorro y verificar la efectividad de las medidas implementadas dentro del Sistema de Gestión de la Energía (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

Sin embargo, la línea base por sí sola no resulta suficiente para evaluar el comportamiento energético. Es necesario complementarla mediante **Indicadores de Desempeño Energético (Energy Performance Indicators – EnPI)**, los cuales permiten transformar los datos de consumo en información útil para la toma de decisiones.

La **ISO 50001** define los EnPI como medidas cuantitativas que permiten evaluar el desempeño energético de una organización. Estos indicadores establecen relaciones entre el consumo energético y variables representativas del proceso, proporcionando una visión mucho más precisa que el análisis del consumo absoluto (ISO, 2011).

La importancia de estos indicadores radica en que el consumo energético total puede aumentar debido al incremento de la producción, sin que ello implique necesariamente una disminución de la eficiencia. Por esta razón, la literatura recomienda utilizar indicadores específicos que normalicen el consumo respecto de la actividad desarrollada.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) señalan que los indicadores energéticos constituyen el principal instrumento de control del Sistema de Gestión de la Energía porque permiten:

- Medir objetivamente el desempeño energético.
- Comparar diferentes periodos de operación.
- Detectar desviaciones.

- Evaluar la efectividad de las acciones implementadas.
- Apoyar la toma de decisiones.

Los autores destacan que un indicador adecuadamente diseñado debe ser sencillo de calcular, representativo del proceso, comparable en el tiempo y suficientemente sensible para detectar pequeñas variaciones en el comportamiento energético.

Entre los indicadores más utilizados en la industria se encuentran:

- Consumo específico de energía (kWh por tonelada producida).
- Consumo por unidad fabricada.
- Consumo por hora efectiva de operación.
- Consumo por lote de producción.
- Demanda máxima.
- Factor de potencia.
- Índice de carga de transformadores.
- Consumo energético por proceso.

La selección del indicador dependerá de las características del proceso productivo y de las variables que influyen significativamente sobre el consumo de energía.

El **Department of Energy (DOE)** recomienda que los indicadores sean revisados periódicamente para asegurar que continúen representando adecuadamente el comportamiento energético del sistema. Cuando la organización modifica sus procesos o incorpora nuevas tecnologías, puede resultar necesario redefinir tanto la línea base como los indicadores utilizados para medir el desempeño (DOE, 2012).

Desde una perspectiva estadística, la construcción de indicadores permite eliminar el efecto de variables externas que podrían conducir a interpretaciones erróneas. Por ejemplo, una empresa que incrementa su producción en un 20 % probablemente consumirá más energía; sin embargo, si el indicador kWh por tonelada disminuye, ello significa que el proceso se ha vuelto más eficiente.

Esta normalización convierte a los indicadores energéticos en herramientas indispensables para la mejora continua.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** recomienda complementar los indicadores energéticos con herramientas gráficas que permitan visualizar tendencias, desviaciones y oportunidades de mejora. Entre ellas destacan los diagramas de dispersión, gráficos de tendencia, curvas de consumo específico y análisis comparativos entre línea base y línea meta (CONUEE, 2014).

En el caso de la **empresa Ladrillera Sagitario**, la línea base energética fue construida utilizando el historial de consumo eléctrico correspondiente al periodo comprendido entre julio de 2018 y julio de 2019. A partir de esta información se estableció una relación entre la energía consumida y la producción de ladrillos, obteniéndose una ecuación lineal que permitió representar el comportamiento energético histórico de la organización. Sobre esa base también se proyectó una línea meta orientada a estimar el potencial de ahorro energético.

Paralelamente, el principal indicador utilizado fue el **consumo específico de energía**, expresado como kilovatios-hora por tonelada producida (kWh/Ton). Este indicador permitió evaluar objetivamente la eficiencia del proceso productivo independientemente de las variaciones en el volumen de producción, constituyéndose en la principal herramienta para comparar el desempeño energético antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

Los resultados obtenidos evidenciaron una disminución del indicador promedio desde **19,09 kWh/Ton** hasta **15,54 kWh/Ton**, equivalente a una mejora aproximada del **18,59 %**. Asimismo, el consumo energético registrado durante la muestra disminuyó de **30 187,03 kWh** a **24 584,32 kWh**, confirmando que la utilización de indicadores energéticos permitió verificar objetivamente la eficacia de las acciones implementadas.

Actualmente, la evolución tecnológica está transformando profundamente la forma en que se construyen y utilizan estos indicadores. Tradicionalmente, la información energética se obtenía mediante lecturas mensuales de medidores o registros manuales. En contraste, las organizaciones que incorporan sensores inteligentes, plataformas SCADA, Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y sistemas de análisis de datos pueden disponer de indicadores calculados en tiempo real, facilitando la identificación inmediata de desviaciones y la implementación oportuna de acciones correctivas.

Esta transformación representa uno de los principales cambios hacia la gestión energética inteligente que será abordada en el capítulo final de esta obra. Mientras los Sistemas de Gestión de la Energía tradicionales utilizan indicadores para evaluar el comportamiento pasado, los modelos basados en **gemelos digitales**, **simulación predictiva** e **inteligencia artificial** permiten construir indicadores dinámicos capaces de anticipar escenarios futuros y apoyar la toma de decisiones antes de que se produzcan pérdidas energéticas.

En síntesis, la línea base energética y los indicadores de desempeño constituyen el núcleo técnico del Sistema de Gestión de la Energía. Ambos elementos permiten medir objetivamente el comportamiento energético, verificar el cumplimiento de los objetivos establecidos y fundamentar la mejora continua mediante información cuantificable y confiable. Sobre estos instrumentos se desarrollan los objetivos, metas y planes de acción, componentes que se analizan en el siguiente apartado como mecanismos para convertir el diagnóstico energético en resultados concretos de optimización.

2.2.6 Objetivos, metas y planes de acción

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía no concluye con la realización de la revisión energética ni con el establecimiento de la línea base y los indicadores de desempeño. Estos elementos constituyen el diagnóstico del sistema; sin embargo, para lograr mejoras sostenibles es indispensable definir con claridad hacia dónde desea avanzar la organización y cuáles serán las acciones necesarias para alcanzar dicho propósito. En este contexto, los **objetivos energéticos**, las **metas** y los **planes de acción** constituyen los instrumentos mediante los cuales la planificación energética se transforma en resultados concretos.

La **Norma ISO 50001** establece que toda organización debe formular objetivos energéticos coherentes con su política energética, medibles cuando sea posible y compatibles con el compromiso de mejora continua del desempeño energético. Asimismo, dichos objetivos deben considerar los usos significativos de energía, los resultados de la revisión energética, los recursos disponibles y los requisitos legales u organizacionales aplicables (ISO, 2011).

Esta disposición refleja uno de los principios fundamentales de la gestión moderna: **no es posible mejorar aquello que no ha sido previamente definido y cuantificado**. En consecuencia, los objetivos energéticos representan la expresión estratégica del desempeño que la organización espera alcanzar mediante la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

Desde el punto de vista conceptual, conviene distinguir entre **objetivo** y **meta energética**. Aunque ambos términos suelen utilizarse indistintamente, poseen funciones diferentes dentro del SGEn.

El **objetivo energético** describe el propósito general que la organización pretende alcanzar. Por ejemplo, mejorar la eficiencia energética del proceso productivo, optimizar el desempeño de los sistemas eléctricos o reducir el consumo específico de energía.

La **meta energética**, por el contrario, expresa ese propósito mediante un resultado específico, cuantificable y verificable dentro de un periodo determinado. Así, un objetivo orientado a mejorar la eficiencia energética puede traducirse en una meta consistente en reducir el consumo específico de energía en un 10 % durante los próximos doce meses o disminuir el consumo eléctrico de un proceso determinado en una cantidad específica de kilovatios-hora.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que las metas deben formularse considerando las condiciones reales de la organización y las oportunidades de mejora identificadas durante la revisión energética. Establecer metas excesivamente ambiciosas puede desmotivar al personal y dificultar la evaluación del sistema, mientras que metas poco exigentes reducen el potencial de mejora del SGEn (CONUEE, 2014).

Por ello, las metas deben cumplir con características ampliamente aceptadas en la gestión organizacional. Deben ser:

- Específicas.
- Medibles.
- Alcanzables.
- Relevantes.

- Definidas dentro de un plazo determinado.

Estas características permiten que el desempeño energético pueda ser evaluado objetivamente mediante los indicadores establecidos durante la planificación.

Una vez definidos los objetivos y metas, la organización debe elaborar los **planes de acción energética**, considerados por la ISO 50001 como el mecanismo operativo mediante el cual se ejecutan las mejoras propuestas.

Los planes de acción constituyen documentos de trabajo que describen detalladamente las actividades necesarias para alcanzar los objetivos energéticos. De acuerdo con la norma, estos planes deben especificar, como mínimo:

- Las acciones que serán implementadas.
- Los responsables de su ejecución.
- Los recursos necesarios.
- Los plazos establecidos.
- Los indicadores que permitirán verificar los resultados.
- Los mecanismos para evaluar la eficacia de las acciones desarrolladas.

Desde la perspectiva de la gestión de proyectos, los planes de acción permiten transformar las oportunidades de mejora identificadas durante el diagnóstico en actividades concretas susceptibles de seguimiento y evaluación.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que uno de los errores más frecuentes en la implementación de programas de eficiencia energética consiste en identificar correctamente los problemas sin traducir posteriormente esas conclusiones en acciones organizadas. En consecuencia, un diagnóstico energético carece de utilidad si no culmina con un programa estructurado de intervención.

Los autores también destacan que cada acción debe justificarse técnica y económicamente. La selección de una determinada medida no debe responder únicamente a criterios tecnológicos, sino considerar aspectos como:

- El potencial de ahorro energético.

- El costo de implementación.
- El tiempo de recuperación de la inversión.
- La facilidad de mantenimiento.
- La disponibilidad tecnológica.
- El impacto sobre la producción.

Este enfoque coincide con lo señalado por **Borroto et al. (2006)**, quienes afirman que las decisiones energéticas deben formar parte de la gestión económica de la organización. La eficiencia energética debe evaluarse considerando simultáneamente el beneficio técnico y el beneficio financiero, de modo que las inversiones priorizadas generen el mayor retorno posible para la empresa.

El **Department of Energy (DOE)** complementa esta visión indicando que los planes de acción deben revisarse periódicamente para asegurar que continúen siendo coherentes con las condiciones operativas de la organización. Cuando cambian los procesos productivos, la tecnología o los niveles de producción, también deben actualizarse las prioridades energéticas (DOE, 2012).

En la práctica, los planes de acción pueden incluir intervenciones de diferente naturaleza. Algunas corresponden a mejoras organizacionales, como la capacitación del personal o la implementación de procedimientos de operación. Otras implican modificaciones técnicas, entre ellas:

- Optimización del factor de potencia.
- Balance de cargas.
- Sustitución de motores.
- Instalación de variadores de velocidad.
- Incorporación de sistemas de monitoreo.
- Automatización de procesos.
- Modernización de sistemas de iluminación.
- Implementación de programas de mantenimiento predictivo.

Cada una de estas acciones debe evaluarse considerando el impacto esperado sobre los indicadores energéticos previamente definidos.

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la planificación energética permitió formular tres grandes propuestas de mejora que posteriormente fueron implementadas dentro del Sistema de Gestión de la Energía.

La primera consistió en la implementación del SGEn basado en la ISO 50001 y el ciclo PHVA, incluyendo la capacitación del personal y la institucionalización de políticas energéticas.

La segunda estuvo orientada a corregir las pérdidas identificadas durante la revisión energética mediante la reactivación de bancos de condensadores, el balance de cargas y la reducción de desperdicios energéticos asociados a la distribución eléctrica.

La tercera propuesta contempló la incorporación de un arrancador electrónico suave para el motor principal de 400 HP, con el propósito de disminuir la demanda durante el arranque y mejorar el comportamiento energético del sistema.

Estas acciones fueron acompañadas por un análisis económico que permitió estimar la inversión requerida, el ahorro anual esperado y la relación beneficio-costo del proyecto. La evaluación financiera evidenció que la implementación de las mejoras resultaba económicamente viable, fortaleciendo el proceso de toma de decisiones de la organización.

Las investigaciones desarrolladas por **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Zuloeta Vigo (2018)** y **Plata Durán (2019)** coinciden en señalar que los mayores beneficios de un Sistema de Gestión de la Energía se obtienen cuando los planes de acción se encuentran directamente vinculados con los resultados de la revisión energética y son evaluados mediante indicadores objetivos. En todos estos estudios, la planificación permitió priorizar intervenciones con alto potencial de ahorro y justificar técnicamente las inversiones realizadas.

Actualmente, la transformación digital está modificando la forma en que se elaboran estos planes. Gracias al análisis masivo de datos, la inteligencia artificial y los sistemas de simulación, es posible construir escenarios prospectivos que permiten estimar el impacto energético de diferentes alternativas antes de ejecutarlas. Esta capacidad representa uno de los principales avances hacia la gestión energética inteligente y será desarrollada en profundidad en el cuarto capítulo de esta obra.

En síntesis, los objetivos, las metas y los planes de acción constituyen el componente operativo del Sistema de Gestión de la Energía. Mientras los objetivos establecen el rumbo estratégico, las metas cuantifican los resultados esperados y los planes de acción organizan las actividades necesarias para alcanzarlos. Su correcta formulación garantiza que la mejora del desempeño energético deje de depender de iniciativas aisladas y se convierta en un proceso planificado, medible y susceptible de evaluación continua. Sobre esta base se desarrolla la siguiente etapa del SGEn: la **implementación y operación**, donde las acciones planificadas se convierten en prácticas permanentes dentro de la organización.

2.2.7 Implementación y operación

La implementación y operación constituyen la etapa en la cual el Sistema de Gestión de la Energía deja de ser una planificación estratégica para convertirse en una práctica permanente dentro de la organización. Si la política energética define el compromiso institucional, la planificación establece los objetivos y los planes de acción determinan las actividades a desarrollar, la implementación representa el proceso mediante el cual todas estas decisiones son ejecutadas e integradas a la operación cotidiana de la empresa.

La **Norma ISO 50001** establece que la organización debe implementar los procesos necesarios para alcanzar los objetivos energéticos definidos durante la planificación, asegurando la disponibilidad de recursos, competencias, información documentada y controles operacionales que permitan mejorar continuamente el desempeño energético (ISO, 2011). Esta disposición reconoce que la eficiencia energética no depende exclusivamente de la existencia de procedimientos documentados, sino de la capacidad de la organización para incorporarlos dentro de sus actividades habituales.

Desde esta perspectiva, la implementación del Sistema de Gestión de la Energía supone un cambio organizacional. La eficiencia energética deja de ser una responsabilidad exclusiva del área de mantenimiento o del departamento eléctrico para convertirse en una función transversal que involucra a todas las áreas de la organización. Producción, mantenimiento, compras, logística, recursos humanos y dirección participan de manera coordinada en el logro de los objetivos energéticos.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que una implementación exitosa requiere garantizar la disponibilidad de recursos humanos,

tecnológicos y financieros suficientes para desarrollar las acciones previstas. Además, destaca que la alta dirección debe asegurar que las responsabilidades relacionadas con la energía sean claramente definidas y comunicadas dentro de la organización (CONUEE, 2014).

Uno de los primeros componentes de esta etapa corresponde a la **asignación de responsabilidades**. La ISO 50001 recomienda designar un representante de la dirección encargado de coordinar la implementación del SGEn, así como conformar equipos multidisciplinarios que faciliten la integración de la gestión energética en las diferentes áreas de la organización.

La existencia de un comité energético permite distribuir responsabilidades, coordinar actividades, revisar indicadores y evaluar periódicamente el avance del sistema. Este enfoque favorece la participación colectiva y reduce la dependencia de un único responsable técnico.

Otro componente fundamental es la **competencia del personal**. La norma establece que las personas cuyas actividades puedan afectar el desempeño energético deben ser competentes con base en educación, formación, experiencia o capacitación adecuada (ISO, 2011). Este requisito responde a una realidad ampliamente documentada en la literatura especializada: una parte importante de las pérdidas energéticas está asociada a prácticas operativas inadecuadas más que a deficiencias tecnológicas.

La capacitación constituye, por tanto, una herramienta estratégica para fortalecer la cultura energética de la organización. Los programas de formación deben abordar temas relacionados con el uso eficiente de la energía, interpretación de indicadores, operación de equipos, buenas prácticas de mantenimiento y procedimientos establecidos dentro del SGEn.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) destacan que la capacitación debe entenderse como una inversión y no como un gasto, ya que trabajadores mejor preparados pueden identificar oportunidades de mejora que difícilmente serían detectadas mediante inspecciones periódicas.

La implementación también requiere desarrollar procesos efectivos de **comunicación**. Toda la organización debe conocer la política energética, los objetivos

establecidos, los indicadores de desempeño y las responsabilidades asignadas. Una comunicación adecuada favorece el compromiso del personal y facilita la identificación temprana de desviaciones durante la operación.

La documentación constituye otro elemento esencial del sistema. La ISO 50001 exige que la organización mantenga información documentada suficiente para asegurar el funcionamiento eficaz del SGEn. Esta documentación puede incluir procedimientos, registros de medición, resultados de auditorías, programas de mantenimiento, planes de acción, registros de capacitación y reportes de desempeño energético.

No obstante, la norma enfatiza que la documentación debe responder a las necesidades de la organización y no convertirse en un fin en sí misma. El objetivo principal consiste en facilitar el control del sistema y preservar la trazabilidad de la información necesaria para la mejora continua.

Dentro de la implementación adquiere especial importancia el **control operacional**. Este concepto hace referencia al establecimiento de procedimientos destinados a asegurar que las actividades relacionadas con los usos significativos de energía se desarrollen bajo condiciones controladas.

El control operacional puede incluir:

- Procedimientos de arranque y parada de equipos.
- Programas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Control de parámetros eléctricos.
- Optimización de horarios de operación.
- Gestión de cargas eléctricas.
- Control de la demanda máxima.
- Monitoreo continuo del consumo energético.
- Protocolos para la operación eficiente de equipos críticos.

La finalidad del control operacional consiste en reducir la variabilidad del proceso y garantizar que las mejoras alcanzadas permanezcan en el tiempo.

La literatura especializada coincide en que la operación eficiente depende de la combinación entre procedimientos adecuados y tecnología apropiada. Energy Star (2008) señala que muchas organizaciones obtienen importantes reducciones del consumo simplemente mediante la optimización de sus procedimientos operativos, incluso antes de realizar inversiones significativas en infraestructura.

Otro aspecto relevante corresponde a la **adquisición de bienes y servicios**. La ISO 50001 establece que la organización debe considerar el desempeño energético durante los procesos de compra de equipos, productos y servicios que puedan afectar significativamente el consumo energético (ISO, 2011).

Este criterio introduce una visión de largo plazo dentro de la gestión energética. Tradicionalmente, las decisiones de compra se sustentaban principalmente en el costo inicial del equipo. Sin embargo, desde la perspectiva del SGEn resulta más apropiado evaluar el costo total del ciclo de vida, considerando no solo el precio de adquisición, sino también el consumo energético, el mantenimiento y la vida útil esperada.

El **Department of Energy (DOE)** sostiene que esta práctica permite evitar inversiones aparentemente económicas que posteriormente generan elevados costos de operación debido a un bajo desempeño energético (DOE, 2012).

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la implementación del Sistema de Gestión de la Energía comenzó con la designación de un representante de la dirección, la conformación de un comité energético y el establecimiento de políticas relacionadas con el uso eficiente de la energía. Posteriormente, se desarrollaron actividades orientadas a sensibilizar y capacitar al personal respecto a la importancia del ciclo PHVA como metodología de trabajo permanente.

Las acciones implementadas comprendieron tres líneas principales de intervención. La primera correspondió a la incorporación del Sistema de Gestión de la Energía como metodología institucional. La segunda incluyó la optimización del sistema eléctrico mediante el balance de cargas, la reactivación de bancos de condensadores y la eliminación de desperdicios energéticos. Finalmente, la tercera consistió en la incorporación de un

arrancador electrónico suave para el motor principal de 400 HP, reduciendo las demandas instantáneas durante el arranque del equipo.

Estas acciones fueron ejecutadas de manera coordinada y posteriormente evaluadas mediante los indicadores de desempeño energético establecidos durante la planificación. Los resultados obtenidos evidenciaron que la implementación sistemática de medidas organizacionales y técnicas permitió mejorar significativamente el comportamiento energético del proceso productivo.

Las investigaciones de **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Zuloeta Vigo (2018)** y **Echeandía Diez (2016)** coinciden en señalar que la implementación constituye la etapa más crítica del Sistema de Gestión de la Energía. Una planificación técnicamente correcta puede fracasar si las acciones no son ejecutadas adecuadamente o si la organización no desarrolla mecanismos que aseguren la participación del personal y el seguimiento permanente de los resultados.

En síntesis, la implementación y operación representan la materialización práctica del Sistema de Gestión de la Energía. Durante esta etapa, la organización incorpora la gestión energética dentro de sus actividades diarias mediante procedimientos, responsabilidades, capacitación, controles operacionales y mejoras tecnológicas. La adecuada ejecución de estas acciones constituye la condición necesaria para que los objetivos energéticos establecidos durante la planificación puedan convertirse en resultados verificables. Sin embargo, la implementación por sí sola no garantiza el éxito del sistema. Es indispensable evaluar continuamente su eficacia mediante procesos de seguimiento, medición y análisis del desempeño energético, aspectos que se desarrollan en el siguiente apartado dedicado a la evaluación del desempeño.

2.2.8 Evaluación del desempeño energético

La evaluación del desempeño energético constituye el mecanismo mediante el cual la organización verifica la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía y determina si las acciones implementadas están contribuyendo realmente a mejorar el uso y consumo de la energía. Esta etapa representa uno de los pilares fundamentales de la mejora continua, ya que proporciona información objetiva para comparar los resultados obtenidos con los objetivos y metas establecidos durante la planificación.

La **Norma ISO 50001** establece que la organización debe realizar el seguimiento, la medición, el análisis y la evaluación de aquellas características que determinan el desempeño energético. Para ello, debe utilizar los Indicadores de Desempeño Energético (EnPI), comparar los resultados con la línea base energética y verificar el cumplimiento de los objetivos energéticos definidos por la organización (ISO, 2011).

La evaluación del desempeño no consiste únicamente en medir el consumo de energía. Su propósito es determinar si el sistema está produciendo mejoras sostenibles y si las decisiones adoptadas generan el efecto esperado sobre el comportamiento energético de la organización. En consecuencia, la evaluación constituye el principal mecanismo de retroalimentación del Sistema de Gestión de la Energía.

La **Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001** señala que el seguimiento debe desarrollarse mediante procedimientos previamente definidos, asegurando que la información recopilada sea suficiente para demostrar el desempeño energético y respaldar las decisiones adoptadas por la organización (NTP-ISO 50001, 2012).

Desde una perspectiva metodológica, la evaluación del desempeño comprende cuatro actividades principales:

- Seguimiento permanente del comportamiento energético.
- Medición de variables e indicadores.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Evaluación de la eficacia de las acciones implementadas.

Estas actividades permiten transformar los datos recopilados durante la operación en información útil para la mejora continua.

El seguimiento constituye la primera etapa del proceso de evaluación. Su finalidad consiste en observar continuamente el comportamiento del consumo energético y detectar oportunamente desviaciones respecto a la línea base o las metas establecidas.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** recomienda que el seguimiento sea realizado con la frecuencia necesaria para garantizar el control de los usos significativos de energía. En procesos industriales de elevada criticidad,

el monitoreo puede efectuarse diariamente o incluso en tiempo real mediante sistemas automatizados de adquisición de datos (CONUEE, 2014).

Posteriormente se realiza la medición de las variables energéticas. Dependiendo de las características de la organización, pueden medirse parámetros como:

- Consumo de energía eléctrica.
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Demanda máxima.
- Factor de potencia.
- Distorsión armónica.
- Carga de transformadores.
- Corriente eléctrica.
- Voltaje.
- Frecuencia.

La selección de estas variables dependerá de los usos significativos identificados durante la revisión energética.

Sin embargo, la medición aislada carece de utilidad si no es interpretada correctamente. Por esta razón, la evaluación incorpora una etapa de análisis mediante la cual los resultados son comparados con la línea base energética, los indicadores históricos y las metas establecidas durante la planificación.

El **Department of Energy (DOE)** señala que el análisis debe considerar las variables que afectan el desempeño energético para evitar interpretaciones incorrectas. Cambios en el nivel de producción, condiciones climáticas o modificaciones en los procesos pueden influir sobre el consumo energético sin representar necesariamente una disminución de la eficiencia (DOE, 2012).

Uno de los principales instrumentos utilizados durante esta etapa corresponde a los **Indicadores de Desempeño Energético (EnPI)**.

Tal como se desarrolló en el capítulo anterior, estos indicadores permiten expresar el comportamiento energético mediante relaciones entre el consumo de energía y variables representativas del proceso productivo.

Entre los indicadores más utilizados destacan:

- kWh por tonelada producida.
- kWh por unidad fabricada.
- kWh por hora efectiva de operación.
- Consumo específico por proceso.
- Factor de potencia.
- Índice de carga de transformadores.

La comparación periódica de estos indicadores permite determinar si las acciones implementadas generan mejoras reales o si resulta necesario introducir nuevas medidas correctivas.

La literatura especializada destaca que la evaluación del desempeño debe sustentarse en información objetiva y verificable.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) sostienen que los indicadores energéticos constituyen la principal herramienta para evaluar la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía, debido a que permiten cuantificar la evolución del desempeño y fundamentar técnicamente la toma de decisiones.

Borroto et al. (2006) agregan que la evaluación energética debe integrar variables técnicas y económicas. Una reducción del consumo energético resulta relevante únicamente cuando contribuye simultáneamente a mejorar la productividad y la rentabilidad de la organización.

En este sentido, la evaluación del desempeño no se limita al análisis de indicadores energéticos. También incorpora variables financieras como:

- Ahorro económico.
- Relación beneficio-costo.

- Valor Actual Neto (VAN).
- Tasa Interna de Retorno (TIR).
- Periodo de recuperación de la inversión.

Estos indicadores permiten determinar la viabilidad económica de las acciones implementadas y priorizar futuras inversiones relacionadas con la eficiencia energética.

Otro componente importante de esta etapa corresponde al análisis de las **no conformidades energéticas**.

Cuando los indicadores muestran desviaciones significativas respecto a la línea base o a las metas establecidas, la organización debe investigar sus causas e implementar acciones correctivas que permitan restablecer el desempeño esperado.

La ISO 50001 establece que dichas acciones deben documentarse y posteriormente verificarse para asegurar su eficacia (ISO, 2011).

La evaluación también constituye el principal insumo para las auditorías internas y la revisión por la dirección. Los resultados obtenidos durante el seguimiento permiten identificar oportunidades de mejora, redefinir objetivos y actualizar los planes de acción cuando las condiciones operativas cambian.

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la evaluación del desempeño energético se realizó mediante la comparación de los resultados obtenidos durante el **Pre-Test** y el **Post-Test**. Para ello se registró el consumo energético de los tres transformadores principales y se calculó el indicador de consumo específico expresado en kilovatios-hora por tonelada producida.

Los resultados mostraron que el indicador promedio disminuyó de **19,09 kWh/Ton** a **15,54 kWh/Ton**, representando una mejora aproximada del **18,59 %** en el desempeño energético del proceso productivo. Paralelamente, el consumo total registrado durante la muestra pasó de **30 187,03 kWh** a **24 584,32 kWh**, evidenciando una disminución significativa del consumo energético después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

El análisis económico complementó esta evaluación técnica. La reducción mensual estimada alcanzó aproximadamente **43 504 kWh**, equivalente a un ahorro cercano a **S/18 067,21**, mientras que la relación beneficio-costo obtenida fue de **4,29**, con un **Valor Actual Neto positivo** y una **Tasa Interna de Retorno del 35 %**, demostrando la rentabilidad de las acciones implementadas.

Estos resultados fueron posteriormente contrastados mediante pruebas estadísticas, utilizando el estadístico **Z de Wilcoxon**, obteniéndose niveles de significancia inferiores a 0,05, lo que permitió aceptar las hipótesis de investigación relacionadas con la mejora del consumo energético después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

Las investigaciones de **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Zuloeta Vigo (2018)** y **Echeandía Diez (2016)** coinciden en señalar que la evaluación permanente del desempeño constituye el principal mecanismo para asegurar la sostenibilidad de los resultados alcanzados mediante la gestión energética. Cuando la medición se realiza de forma sistemática, la organización desarrolla una mayor capacidad para detectar desviaciones, optimizar procesos y fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia.

En la actualidad, la evaluación del desempeño energético está evolucionando gracias a la incorporación de tecnologías digitales. Sensores inteligentes, plataformas SCADA, Internet Industrial de las Cosas (IIoT), analítica avanzada e inteligencia artificial permiten realizar evaluaciones prácticamente en tiempo real, reduciendo considerablemente el intervalo entre la ocurrencia de una desviación y la implementación de una acción correctiva.

Esta evolución constituye uno de los principales avances hacia la gestión energética inteligente y representa el fundamento tecnológico sobre el cual se desarrollarán los modelos de simulación predictiva y gemelos digitales analizados en el último capítulo de esta obra.

En síntesis, la evaluación del desempeño energético constituye el mecanismo que permite verificar objetivamente la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía. Mediante el seguimiento permanente, la medición de indicadores y el análisis sistemático de los resultados, la organización obtiene la información necesaria para fortalecer la mejora continua y asegurar que las acciones implementadas generen beneficios técnicos, económicos y ambientales sostenibles en el tiempo.

2.2.9 Mejora continua

La mejora continua constituye el principio rector del Sistema de Gestión de la Energía y el elemento que diferencia a este modelo de los programas tradicionales de ahorro energético. Mientras estos últimos suelen desarrollarse mediante acciones puntuales orientadas a resolver problemas específicos, la mejora continua propone un proceso permanente de evaluación, aprendizaje y optimización que permite incrementar progresivamente el desempeño energético de la organización.

La **Norma ISO 50001** establece que la organización debe mejorar continuamente la idoneidad, adecuación y eficacia del Sistema de Gestión de la Energía, así como su desempeño energético (ISO, 2011). Esta disposición implica que el sistema nunca debe considerarse concluido; por el contrario, debe evolucionar constantemente conforme cambian los procesos, la tecnología, los niveles de producción y las condiciones del entorno.

El concepto de mejora continua tiene su origen en los principios desarrollados por Walter A. Shewhart y posteriormente difundidos por William Edwards Deming mediante el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. Este modelo plantea que toda organización debe revisar permanentemente sus procesos para identificar oportunidades de optimización, implementar cambios, evaluar los resultados obtenidos y adoptar nuevas acciones de mejora cuando sea necesario.

En el ámbito de la gestión energética, la mejora continua significa que el desempeño energético alcanzado hoy constituye únicamente el punto de partida para alcanzar niveles superiores de eficiencia en el futuro. En consecuencia, el objetivo del Sistema de Gestión de la Energía no consiste únicamente en obtener una reducción inicial del consumo, sino en desarrollar la capacidad organizacional para mantener y ampliar esas mejoras a lo largo del tiempo.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que la mejora continua debe sustentarse en la información obtenida mediante el seguimiento permanente de los indicadores energéticos. Cada evaluación proporciona evidencia sobre el comportamiento del sistema y permite identificar nuevas oportunidades de optimización que alimentan nuevamente el proceso de planificación (CONUEE, 2014).

Este enfoque convierte al Sistema de Gestión de la Energía en un proceso dinámico de aprendizaje organizacional. Las acciones implementadas generan resultados; dichos resultados son evaluados mediante indicadores objetivos; posteriormente se identifican nuevas oportunidades de mejora y el ciclo vuelve a iniciar con un mayor nivel de conocimiento sobre el comportamiento energético de la organización.

Carretero Peña y García Sánchez (2012) destacan que uno de los principales beneficios de la mejora continua consiste en evitar que las organizaciones regresen progresivamente a sus niveles iniciales de consumo energético. En ausencia de mecanismos permanentes de seguimiento, es frecuente que las mejoras obtenidas durante los primeros meses desaparezcan debido a cambios operativos, falta de supervisión o pérdida del compromiso institucional.

Por esta razón, la mejora continua requiere la existencia de procedimientos claramente definidos para revisar periódicamente el Sistema de Gestión de la Energía. Entre ellos destacan:

- Revisión de indicadores energéticos.
- Evaluación del cumplimiento de objetivos y metas.
- Actualización de la línea base energética.
- Revisión de la política energética.
- Auditorías internas.
- Análisis de acciones correctivas.
- Revisión por la alta dirección.

Cada uno de estos mecanismos permite verificar la eficacia del sistema y asegurar que las mejoras obtenidas permanezcan en el tiempo.

El **Department of Energy (DOE)** sostiene que las organizaciones con mejores resultados energéticos son aquellas que desarrollan una cultura orientada a la mejora continua. En estas organizaciones, las decisiones relacionadas con la energía forman parte del proceso habitual de gestión y no dependen exclusivamente de proyectos específicos o de inversiones extraordinarias (DOE, 2012).

La mejora continua también implica desarrollar una cultura organizacional basada en el aprendizaje. Los trabajadores dejan de limitarse al cumplimiento de procedimientos establecidos y participan activamente en la identificación de oportunidades de mejora, la comunicación de desviaciones y la formulación de propuestas orientadas a optimizar el desempeño energético.

La **Asociación Española para la Calidad (AEC)** destaca que esta participación constituye uno de los factores que mayor influencia tiene sobre la sostenibilidad de los Sistemas de Gestión de la Energía. Cuando la eficiencia energética forma parte de la cultura organizacional, las mejoras no dependen únicamente de los responsables del sistema, sino del compromiso colectivo de toda la organización (AEC, 2017).

Otro aspecto relevante de la mejora continua corresponde a la incorporación progresiva de nuevas tecnologías. La evolución tecnológica modifica constantemente las posibilidades de optimización energética. Equipos más eficientes, sistemas de automatización, plataformas de monitoreo, variadores de velocidad, sensores inteligentes e inteligencia artificial generan oportunidades que hace algunos años no existían.

Por esta razón, la mejora continua también implica revisar periódicamente el estado tecnológico de la organización y evaluar la conveniencia de incorporar nuevas soluciones cuando estas resulten técnica y económicamente viables.

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la mejora continua se implementó mediante la aplicación sistemática del ciclo PHVA. Las acciones desarrolladas durante la planificación fueron ejecutadas, posteriormente evaluadas mediante indicadores energéticos y finalmente revisadas por el comité energético para establecer nuevas acciones de optimización. Este proceso permitió institucionalizar la mejora energética como una metodología permanente dentro de la organización y no únicamente como un proyecto temporal.

Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación del Sistema de Gestión de la Energía permitió reducir el consumo eléctrico, mejorar los indicadores energéticos y generar importantes beneficios económicos. Sin embargo, la propia investigación reconoce que estos resultados representan solamente una etapa dentro de un proceso continuo de mejora y

recomienda aplicar nuevamente el ciclo PHVA cuantas veces sea necesario para seguir optimizando el desempeño energético.

Las investigaciones desarrolladas por **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Echeandía Diez (2016)** y **Plata Durán (2019)** llegan a conclusiones similares. Todas coinciden en que la principal fortaleza de un Sistema de Gestión de la Energía radica en su capacidad para mantener un proceso permanente de mejora sustentado en indicadores objetivos y en la revisión continua del desempeño energético.

No obstante, la evolución tecnológica está modificando profundamente la forma en que se desarrolla la mejora continua. Tradicionalmente, las organizaciones identificaban oportunidades de optimización a partir del análisis periódico de indicadores históricos. Actualmente, los sistemas basados en Internet Industrial de las Cosas (IIoT), inteligencia artificial y analítica avanzada permiten detectar desviaciones prácticamente en tiempo real y proponer acciones correctivas antes de que las pérdidas energéticas se materialicen.

Esta transición representa el paso desde una mejora continua reactiva hacia una mejora continua predictiva. En lugar de actuar después de que ocurre una desviación, los sistemas inteligentes permiten anticipar escenarios futuros mediante simulaciones, algoritmos de aprendizaje automático y modelos virtuales capaces de reproducir el comportamiento energético de los procesos industriales.

Precisamente, esta evolución tecnológica constituye el fundamento del **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)** desarrollado en el capítulo final de esta obra, donde el ciclo PHVA mantiene plenamente su vigencia, pero es fortalecido mediante la integración de gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial.

En síntesis, la mejora continua representa el principio que garantiza la sostenibilidad del Sistema de Gestión de la Energía. Su aplicación permite transformar la información obtenida durante la evaluación del desempeño en nuevas oportunidades de optimización, asegurando que la organización incremente progresivamente su eficiencia energética. Más que una etapa específica del sistema, la mejora continua constituye una filosofía de gestión que impulsa la innovación permanente y prepara a las organizaciones para afrontar los desafíos energéticos de la Industria 4.0 y la futura Industria 5.0.

2.2.10 Integración del Sistema de Gestión de la Energía con otros sistemas de gestión

Uno de los principales atributos de la Norma ISO 50001 es su capacidad para integrarse con otros sistemas de gestión implementados dentro de una organización. Esta característica permite que la gestión de la energía no funcione como un sistema independiente, sino como parte de un modelo integral de administración orientado al mejoramiento continuo del desempeño organizacional.

Las organizaciones modernas enfrentan simultáneamente desafíos relacionados con la calidad, la protección del medio ambiente, la seguridad y salud en el trabajo, la continuidad del negocio, la gestión del riesgo y, cada vez con mayor importancia, la eficiencia energética. Gestionar cada uno de estos aspectos mediante sistemas completamente independientes incrementa la carga administrativa, duplica procedimientos y dificulta la coordinación entre las diferentes áreas de la organización. Por esta razón, las normas internacionales han evolucionado hacia estructuras compatibles que facilitan la integración de sus requisitos.

La **ISO 50001** adopta la denominada **Estructura de Alto Nivel (High Level Structure - HLS)** utilizada por la Organización Internacional de Normalización para los sistemas de gestión. Esta estructura organiza los requisitos bajo un esquema común basado en el análisis del contexto organizacional, el liderazgo, la planificación, el soporte, la operación, la evaluación del desempeño y la mejora continua, permitiendo que la gestión energética pueda integrarse con normas como la **ISO 9001** (Sistema de Gestión de la Calidad), la **ISO 14001** (Sistema de Gestión Ambiental) y la **ISO 45001** (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo) (ISO, 2011).

La integración de estos sistemas genera importantes ventajas para las organizaciones. En lugar de desarrollar procedimientos independientes para cada norma, es posible establecer procesos comunes de planificación, auditoría interna, control documental, capacitación, gestión de riesgos y revisión por la dirección. Esto reduce la duplicidad de actividades y optimiza el uso de los recursos organizacionales.

La **Asociación Española para la Calidad (AEC)** señala que la integración de sistemas de gestión facilita la coordinación entre las distintas áreas de la empresa y fortalece la cultura organizacional, al permitir que los objetivos relacionados con la calidad, el

ambiente y la energía sean gestionados de manera conjunta dentro de un mismo proceso estratégico (AEC, 2017).

Desde una perspectiva administrativa, la integración también favorece la toma de decisiones. Los directivos pueden analizar simultáneamente indicadores de productividad, calidad, desempeño ambiental y eficiencia energética, obteniendo una visión más completa del comportamiento organizacional y facilitando la identificación de oportunidades de mejora que difícilmente serían detectadas mediante sistemas independientes.

El **Department of Energy (DOE)** destaca que la gestión energética adquiere mayor eficacia cuando se incorpora dentro de los procesos habituales de administración empresarial. La planificación estratégica, la programación del mantenimiento, la adquisición de equipos, la evaluación de inversiones y la gestión de proyectos deben considerar el desempeño energético como un criterio adicional para la toma de decisiones (DOE, 2012).

En el ámbito industrial, esta integración resulta particularmente relevante durante los procesos de adquisición de tecnología. Tradicionalmente, la selección de maquinaria se sustentaba en criterios relacionados con la capacidad de producción, el costo inicial o la calidad del producto final. Sin embargo, la incorporación del Sistema de Gestión de la Energía permite añadir un nuevo criterio de evaluación: el comportamiento energético del equipo durante toda su vida útil.

Este enfoque favorece decisiones más sostenibles desde el punto de vista técnico y económico, ya que considera el costo total de operación y no únicamente el precio de adquisición.

La integración también fortalece la gestión del mantenimiento industrial. Un programa de mantenimiento preventivo o predictivo no solo contribuye a incrementar la confiabilidad de los equipos, sino que también mejora su eficiencia energética al reducir pérdidas mecánicas, eléctricas y térmicas. En consecuencia, las actividades de mantenimiento dejan de evaluarse únicamente desde la perspectiva de la disponibilidad operacional y pasan a formar parte de la estrategia energética de la organización.

Otro aspecto importante corresponde a la integración con la **gestión ambiental**. La reducción del consumo energético implica una disminución en la demanda de recursos

naturales y, dependiendo de la matriz energética utilizada, una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, la eficiencia energética se convierte en una herramienta complementaria para alcanzar los objetivos ambientales establecidos por la organización.

El **Ministerio de Energía y Minas del Perú** señala que la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono y fortalece las políticas nacionales orientadas al uso eficiente de la energía y al desarrollo sostenible (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

Desde la perspectiva de la calidad, la integración también produce beneficios importantes. Procesos energéticamente eficientes suelen presentar menores variaciones operativas, mejor estabilidad en los parámetros de producción y mayor confiabilidad de los equipos. Como consecuencia, la mejora energética puede contribuir indirectamente a incrementar la calidad del producto final.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** destaca que uno de los principales beneficios de los Sistemas de Gestión de la Energía consiste precisamente en su capacidad para integrarse con los demás sistemas de gestión existentes dentro de la organización, evitando duplicidades administrativas y favoreciendo una gestión más eficiente de los recursos institucionales (CONUEE, 2014).

En la investigación desarrollada en la **empresa Ladrillera Sagitario**, la implementación del Sistema de Gestión de la Energía requirió la participación coordinada de diversas áreas de la organización. La conformación del comité energético permitió integrar la gerencia general, la gerencia de producción, el área de mantenimiento y el responsable de la investigación dentro de un mismo proceso de mejora continua. Esta articulación facilitó la planificación de las acciones correctivas, la evaluación de los indicadores y la toma de decisiones relacionadas con la optimización del desempeño energético.

Asimismo, las acciones implementadas durante la investigación involucraron aspectos relacionados con el mantenimiento eléctrico, la capacitación del personal, la planificación de inversiones y la gestión operativa de la producción, evidenciando que la

eficiencia energética constituye un proceso transversal que requiere la participación coordinada de múltiples áreas organizacionales.

Las investigaciones de **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Zuloeta Vigo (2018)** y **Plata Durán (2019)** coinciden en señalar que la gestión energética alcanza mejores resultados cuando se encuentra integrada con la planificación estratégica, el mantenimiento, la gestión de activos y la evaluación financiera de la organización. Este enfoque permite que las decisiones relacionadas con la energía formen parte de la administración general de la empresa y no sean tratadas como iniciativas independientes.

La evolución tecnológica está ampliando aún más las posibilidades de integración. Actualmente, plataformas digitales de gestión empresarial, sistemas ERP, herramientas de Business Intelligence (BI), Internet Industrial de las Cosas (IIoT) y plataformas SCADA permiten consolidar en una única infraestructura la información relacionada con producción, mantenimiento, calidad, ambiente y desempeño energético. Esta convergencia facilita la toma de decisiones basada en datos y fortalece la capacidad de respuesta frente a cambios en el comportamiento operativo de la organización.

En los próximos años, esta integración evolucionará hacia modelos inteligentes capaces de combinar información proveniente de diferentes sistemas de gestión mediante algoritmos de inteligencia artificial y gemelos digitales. De esta manera, la energía dejará de analizarse como una variable independiente y pasará a formar parte de un ecosistema digital donde producción, mantenimiento, calidad, sostenibilidad y eficiencia energética interactuarán en tiempo real para optimizar el desempeño global de la organización.

En consecuencia, la integración del Sistema de Gestión de la Energía con otros sistemas de gestión representa uno de los principales factores que explican el éxito de la ISO 50001. Su estructura flexible permite incorporar la gestión energética dentro de la estrategia organizacional, favoreciendo una administración más eficiente de los recursos y preparando a las organizaciones para afrontar los desafíos de la transformación digital y la Industria 5.0. Esta visión integral servirá como fundamento para comprender el caso de estudio desarrollado en el siguiente capítulo, donde la aplicación coordinada de estos principios permitió mejorar significativamente el desempeño energético de una organización industrial.

El PHVA inteligente

PHVA no es una secuencia anual; es una estructura de control organizacional. La digitalización puede reducir su latencia, pero no elimina la obligación de definir responsables, aceptar riesgo y verificar consecuencias.

Fase	Pregunta decisional	Capacidad digital	Evidencia de cierre
Planificar	¿Dónde actuar y contra qué referencia?	Pronóstico, escenarios, detección de oportunidades.	EnPI, línea base, hipótesis y riesgo.
Hacer	¿Cómo ejecutar sin degradar seguridad o calidad?	Orquestación, instrucciones, control supervisado.	Cambio autorizado y trazable.
Verificar	¿Qué cambió y con qué incertidumbre?	Monitoreo contextual, M&V, detección de deriva.	Ahorro ajustado e intervalo.
Actuar	¿Se estandariza, corrige o abandona?	Análisis causal, actualización de modelos y reglas.	Decisión, propietario y nueva línea de aprendizaje.

2.3 EL CICLO PHVA Y LA MEJORA CONTINUA

El éxito de un Sistema de Gestión de la Energía depende no solo de la correcta identificación de oportunidades de mejora, sino también de la existencia de una metodología que permita implementar dichas mejoras de manera ordenada, evaluarlas objetivamente y mantenerlas en el tiempo. Esta metodología corresponde al **ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, considerado el eje central de la Norma ISO 50001 y uno de los modelos de gestión más utilizados a nivel mundial para promover la mejora continua.

El ciclo PHVA tiene sus orígenes en los trabajos desarrollados por Walter A. Shewhart durante la década de 1930 y fue posteriormente difundido por William Edwards Deming como una herramienta para el mejoramiento permanente de los procesos organizacionales. Con el paso del tiempo, este modelo fue incorporado a diferentes sistemas de gestión, incluyendo la calidad, el medio ambiente, la seguridad y, más recientemente, la gestión de la energía.

La **Norma ISO 50001** adopta el ciclo PHVA como estructura metodológica para el desarrollo del Sistema de Gestión de la Energía. Bajo este enfoque, la mejora del desempeño energético deja de depender de intervenciones ocasionales y pasa a desarrollarse mediante un proceso sistemático de planificación, implementación, evaluación y retroalimentación permanente (ISO, 2011).

El principal aporte del ciclo PHVA consiste en convertir la mejora continua en un proceso repetitivo y acumulativo. Cada vez que el ciclo concluye, la organización incorpora nuevos conocimientos sobre el comportamiento energético de sus procesos, permitiendo iniciar un nuevo ciclo desde un nivel superior de desempeño. De esta manera, la eficiencia energética deja de ser un objetivo puntual para convertirse en una estrategia permanente de desarrollo organizacional.

La **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)** señala que el ciclo PHVA permite estructurar todas las actividades relacionadas con la gestión energética, asegurando que las decisiones se fundamenten en información objetiva y que los resultados sean evaluados antes de iniciar nuevas acciones de mejora (CONUEE, 2014).

Desde una perspectiva sistémica, el PHVA puede entenderse como un proceso de retroalimentación continua donde cada etapa alimenta a la siguiente. La planificación establece los objetivos; la ejecución implementa las acciones; la verificación analiza los resultados obtenidos; y la actuación incorpora las lecciones aprendidas para iniciar un nuevo ciclo con mayores niveles de eficiencia.

2.3.1 Planificar (Plan)

La etapa de planificación constituye el punto de partida del Sistema de Gestión de la Energía. Durante esta fase la organización analiza su situación energética actual, identifica oportunidades de mejora y establece las acciones necesarias para alcanzar los objetivos definidos.

La ISO 50001 establece que la planificación comprende actividades como la revisión energética, la identificación de los usos significativos de energía, la construcción de la línea base energética, la definición de los indicadores de desempeño energético (EnPI) y el establecimiento de objetivos, metas y planes de acción (ISO, 2011).

Carretero Peña y García Sánchez (2012) consideran que esta etapa representa el componente analítico del Sistema de Gestión de la Energía, ya que permite comprender el comportamiento energético de la organización antes de intervenir sobre él.

Una adecuada planificación reduce la incertidumbre y permite concentrar los esfuerzos en aquellas áreas donde el potencial de ahorro resulta mayor.

2.3.2 Hacer (Do)

La segunda etapa corresponde a la implementación de las acciones definidas durante la planificación.

En esta fase se ejecutan los programas de mejora energética, se desarrollan actividades de capacitación, se implementan procedimientos operacionales, se optimizan procesos productivos y se incorporan tecnologías orientadas a incrementar la eficiencia energética.

La ISO 50001 señala que durante esta etapa la organización debe garantizar la disponibilidad de recursos, competencias, información documentada y controles operacionales necesarios para alcanzar los objetivos energéticos establecidos (ISO, 2011).

La **CONUEE (2014)** destaca que esta fase no debe limitarse a la ejecución de proyectos tecnológicos. También comprende la sensibilización del personal, el fortalecimiento de la cultura energética, la implementación de buenas prácticas operativas y el establecimiento de mecanismos permanentes de seguimiento.

En consecuencia, la etapa “Hacer” integra aspectos técnicos, administrativos y organizacionales dentro de un mismo proceso de mejora.

2.3.3 Verificar (Check)

Una vez implementadas las acciones de mejora, resulta indispensable evaluar objetivamente sus resultados.

La etapa de verificación comprende el seguimiento permanente del comportamiento energético mediante indicadores previamente establecidos. Su propósito consiste en

determinar si las acciones implementadas produjeron las mejoras esperadas y verificar el cumplimiento de los objetivos energéticos.

La ISO 50001 establece que durante esta fase deben realizarse actividades relacionadas con:

- Seguimiento de indicadores energéticos.
- Medición del consumo.
- Evaluación del desempeño.
- Auditorías internas.
- Identificación de desviaciones.
- Análisis de resultados.

El **Department of Energy (DOE)** considera que esta etapa constituye el principal mecanismo de aprendizaje del Sistema de Gestión de la Energía, ya que transforma los datos obtenidos durante la operación en información útil para la toma de decisiones (DOE, 2012).

Cuando los indicadores muestran diferencias significativas respecto a la línea base o a las metas establecidas, la organización debe analizar las causas que originaron dichas desviaciones antes de adoptar nuevas acciones de mejora.

2.3.4 Actuar (Act)

La última etapa del ciclo PHVA corresponde a la actuación.

Su finalidad consiste en utilizar los resultados obtenidos durante la verificación para fortalecer el Sistema de Gestión de la Energía y elevar continuamente el desempeño energético de la organización.

En esta fase se revisan las acciones implementadas, se corrigen desviaciones, se actualizan procedimientos, se redefinen objetivos y se establecen nuevos planes de acción cuando las condiciones operativas así lo requieren.

La ISO 50001 establece que la organización debe adoptar acciones destinadas a mejorar continuamente tanto la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía como su desempeño energético (ISO, 2011).

La **Asociación Española para la Calidad (AEC)** destaca que esta etapa evita que el Sistema de Gestión permanezca estático. Gracias al proceso de actuación, cada ciclo genera nuevo conocimiento que posteriormente es incorporado a la siguiente planificación, fortaleciendo progresivamente la capacidad de la organización para gestionar la energía (AEC, 2017).

Desde esta perspectiva, el ciclo PHVA no tiene un punto final. Cada actuación constituye simultáneamente el inicio de un nuevo proceso de planificación.

Aplicación del ciclo PHVA en la empresa Ladrillera

La investigación desarrollada en la empresa **Ladrillera** constituye un ejemplo práctico de aplicación del ciclo PHVA dentro de un Sistema de Gestión de la Energía.

Durante la etapa de **Planificar** se realizó el diagnóstico energético, se establecieron los indicadores de desempeño, se construyó la línea base energética y se identificaron los principales problemas relacionados con el consumo eléctrico, la potencia reactiva, la sobrecarga de transformadores y la distorsión armónica.

En la etapa **Hacer** se implementaron las acciones de mejora previamente definidas, entre ellas la institucionalización del Sistema de Gestión de la Energía, la capacitación del personal, el balance de cargas, la reactivación de bancos de condensadores y la instalación de un arrancador electrónico suave para el motor principal del proceso productivo.

La fase **Verificar** comprendió el seguimiento de los indicadores energéticos mediante la comparación entre el Pre-Test y el Post-Test, evaluando el comportamiento del consumo específico de energía y el desempeño de los tres transformadores principales. Los resultados evidenciaron mejoras significativas tanto en el indicador energético como en el consumo total de electricidad.

Finalmente, durante la etapa **Actuar**, los resultados obtenidos fueron analizados por el comité energético para fortalecer las políticas institucionales, mantener las buenas prácticas implementadas y establecer nuevas oportunidades de mejora orientadas a consolidar el desempeño energético alcanzado.

El PHVA como fundamento de la gestión energética del futuro

Durante más de una década, el ciclo PHVA ha demostrado ser una metodología eficaz para mejorar el desempeño energético de organizaciones pertenecientes a diferentes sectores productivos. Sin embargo, la transformación digital está modificando profundamente la forma en que cada una de sus etapas puede desarrollarse.

Tradicionalmente, la planificación dependía del análisis de información histórica; hoy puede apoyarse en modelos de simulación predictiva. La ejecución de las acciones se realizaba manualmente; actualmente puede complementarse mediante sistemas automatizados de control. La verificación, que antes se efectuaba mensualmente o mediante auditorías periódicas, puede desarrollarse en tiempo real utilizando sensores inteligentes e Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Finalmente, la actuación evoluciona desde acciones correctivas reactivas hacia recomendaciones prescriptivas generadas por algoritmos de inteligencia artificial.

Esta evolución no reemplaza el ciclo PHVA propuesto por la ISO 50001; por el contrario, fortalece su capacidad para responder a los desafíos de la Industria 4.0 y la Industria 5.0. Precisamente sobre esta premisa se desarrollará, en el capítulo final de esta obra, el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**, en el cual el ciclo PHVA es potenciado mediante la integración de gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial, permitiendo que la mejora continua evolucione desde un enfoque reactivo hacia un modelo inteligente, autónomo y predictivo.

El Sistema de Gestión de la Energía basado en la **Norma ISO 50001** representa actualmente el modelo internacional más sólido para administrar el desempeño energético de las organizaciones. A diferencia de los enfoques tradicionales, centrados principalmente en la reducción puntual del consumo, este sistema incorpora una metodología estructurada que integra liderazgo, planificación, operación, evaluación y mejora continua dentro de un proceso permanente de gestión.

A lo largo de este capítulo se ha evidenciado que la implementación de un SGEn no depende únicamente de la incorporación de tecnologías más eficientes, sino de la capacidad de la organización para desarrollar una cultura institucional orientada al uso racional de la

energía. La formulación de una política energética, la identificación de los usos significativos, el establecimiento de indicadores de desempeño, la construcción de líneas base, la planificación de acciones de mejora y la aplicación sistemática del ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)** constituyen elementos interdependientes que permiten mejorar progresivamente el desempeño energético y fortalecer la competitividad organizacional.

Asimismo, la revisión de los principales referentes teóricos y de las investigaciones nacionales e internacionales demuestra que los mayores beneficios de la ISO 50001 se obtienen cuando el sistema se integra con la estrategia institucional y forma parte de la gestión cotidiana de la organización. En este contexto, la energía deja de ser considerada únicamente un recurso operativo para convertirse en un activo estratégico cuya adecuada administración genera beneficios económicos, técnicos, ambientales y organizacionales.

El análisis del ciclo PHVA permitió comprender que la mejora continua constituye el principio fundamental del Sistema de Gestión de la Energía. Cada ciclo de planificación, implementación, verificación y actuación incrementa el conocimiento sobre el comportamiento energético de los procesos, permitiendo que la organización evolucione progresivamente hacia niveles superiores de eficiencia. Del mismo modo, la evaluación del desempeño energético demostró la importancia de utilizar indicadores objetivos y evidencia cuantitativa para fundamentar la toma de decisiones y validar la eficacia de las acciones implementadas.

No obstante, también se ha puesto de manifiesto que los Sistemas de Gestión de la Energía tradicionales presentan limitaciones relacionadas con la periodicidad del monitoreo, la disponibilidad de información y la velocidad con la que pueden adoptarse decisiones correctivas. En la mayoría de las organizaciones, la evaluación continúa dependiendo del análisis de datos históricos y de auditorías realizadas en intervalos definidos, lo que dificulta anticipar desviaciones antes de que estas afecten el desempeño energético.

Esta realidad plantea un importante desafío para la ingeniería contemporánea: evolucionar desde modelos de gestión reactivos hacia sistemas capaces de predecir el comportamiento energético y apoyar la toma de decisiones en tiempo real. Precisamente, este reto constituye el principal aporte de la presente obra y será desarrollado en el capítulo

final mediante la integración de la **ISO 50001**, el ciclo **PHVA**, los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva** y la **inteligencia artificial**, dando origen al **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**.

Antes de abordar esta propuesta prospectiva, resulta indispensable analizar la aplicación práctica de los fundamentos desarrollados hasta este punto. Por ello, el siguiente capítulo presenta el caso de estudio correspondiente a la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en la empresa **Ladrillera Sagitario**, donde se describe detalladamente la metodología empleada, las acciones desarrolladas y los resultados obtenidos, constituyendo la evidencia empírica que sustenta las reflexiones y propuestas formuladas en esta investigación.

CAPÍTULO III

CASO DE ESTUDIO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN LA EMPRESA LADRILLERA

Los fundamentos conceptuales y metodológicos desarrollados en los capítulos anteriores permiten comprender la importancia de la gestión de la eficiencia energética y el papel que desempeña la Norma ISO 50001 como herramienta para mejorar el desempeño energético de las organizaciones. Sin embargo, el verdadero valor de estos principios solo puede demostrarse cuando son aplicados en escenarios reales, donde las condiciones operativas, las restricciones técnicas y las exigencias productivas ponen a prueba la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía.

El presente capítulo expone el caso de estudio correspondiente a la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en la **Cía. Minera e Industrial.**, empresa dedicada a la fabricación de ladrillos de arcilla para el sector de la construcción. La organización presentaba un elevado consumo de energía eléctrica asociado a sus procesos productivos, acompañado por deficiencias en el monitoreo energético, ausencia de indicadores de desempeño, problemas relacionados con la distribución de cargas, presencia de energía reactiva y distorsión armónica, factores que afectaban directamente la eficiencia operativa y los costos de producción.

Frente a esta problemática, se diseñó e implementó un Sistema de Gestión de la Energía basado en la **Norma ISO 50001**, utilizando como eje metodológico el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. La intervención comprendió el desarrollo de una revisión energética, la construcción de la línea base, la definición de indicadores de desempeño energético, la formulación de planes de acción y la ejecución de diversas mejoras técnicas y organizacionales orientadas a optimizar el consumo eléctrico del proceso productivo.

A diferencia de una tesis de investigación, cuyo propósito principal consiste en demostrar una hipótesis, este capítulo presenta el caso de estudio desde una perspectiva aplicada, resaltando la forma en que los principios desarrollados en el Sistema de Gestión de la Energía pueden trasladarse a una realidad industrial para generar resultados medibles y verificables. En este sentido, el interés no se centra únicamente en los valores obtenidos, sino en el proceso metodológico seguido para identificar la problemática, diseñar las acciones de mejora y evaluar objetivamente el desempeño energético antes y después de la implementación.

El desarrollo del caso permite apreciar la interacción entre los componentes fundamentales del Sistema de Gestión de la Energía: la revisión energética, la identificación de los usos significativos de energía, el establecimiento de indicadores, la aplicación del ciclo PHVA y la evaluación permanente del desempeño. Asimismo, evidencia la importancia de integrar aspectos técnicos, organizacionales y económicos dentro de una misma estrategia de gestión, demostrando que la eficiencia energética constituye un proceso multidisciplinario que involucra a toda la organización.

Los resultados obtenidos durante la implementación evidenciaron mejoras significativas en el desempeño energético del proceso productivo, reflejadas en la reducción del consumo específico de energía, la disminución del consumo eléctrico total y la obtención de beneficios económicos derivados de la optimización de los recursos energéticos. Estos resultados fueron validados mediante indicadores técnicos, análisis económicos y procedimientos estadísticos, proporcionando evidencia objetiva sobre la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía implementado.

Este caso de estudio representa el fundamento empírico de la presente obra. Sobre la base de esta experiencia práctica se desarrollará posteriormente una propuesta prospectiva orientada a la evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía hacia modelos inteligentes sustentados en **gemelos digitales**, **simulación predictiva** e **inteligencia artificial**. En consecuencia, el análisis desarrollado en este capítulo no solo demuestra la aplicabilidad de la ISO 50001 en un entorno industrial real, sino que constituye el punto de partida para reflexionar sobre las oportunidades que ofrecen las tecnologías digitales para fortalecer la gestión energética en el contexto de la Industria 4.0 y la futura Industria 5.0.

3.1 CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía requiere comprender las características particulares de la organización donde será aplicado. Cada empresa posee procesos productivos, tecnologías, niveles de consumo y condiciones operativas que determinan su comportamiento energético. Por ello, antes de desarrollar cualquier estrategia de optimización resulta indispensable analizar el contexto organizacional, identificar las principales fuentes de consumo de energía y conocer las condiciones técnicas bajo las cuales opera el sistema productivo.

El presente caso de estudio se desarrolló en la **Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A.**, empresa peruana dedicada a la fabricación y comercialización de ladrillos de arcilla para el sector de la construcción. La organización inició sus operaciones durante la década de 1970 y, a lo largo de su proceso de crecimiento, incorporó tecnologías de automatización industrial que le permitieron modernizar progresivamente sus procesos de producción. Actualmente, la empresa desarrolla sus actividades mediante líneas de producción altamente mecanizadas, empleando sistemas automatizados para el secado y cocción de ladrillos, lo que le ha permitido consolidarse como una de las principales empresas del sector ladrillero en el país.

La planta industrial se encuentra ubicada en el distrito de **Lurigancho-Chosica**, provincia y departamento de Lima, y desarrolla como actividad principal la fabricación de ladrillos de diferentes características para aplicaciones estructurales y de construcción. Entre sus principales productos se encuentran ladrillos para techo, ladrillos huecos, bovedillas, tejas y otros derivados cerámicos destinados al mercado nacional. La empresa distribuye aproximadamente el treinta por ciento de su producción en Lima Metropolitana y el veinte por ciento en diversas regiones del país, manteniendo una importante participación dentro del mercado peruano de materiales de construcción.

Desde el punto de vista organizacional, la empresa orienta su gestión hacia la mejora continua de sus procesos productivos con el propósito de incrementar la productividad y reducir los costos de operación, manteniendo los estándares de calidad que caracterizan a sus productos. Su visión institucional plantea consolidarse como una empresa líder en la fabricación de ladrillos de arcilla, fortaleciendo permanentemente su competitividad

mediante la innovación tecnológica y el mejoramiento de sus procesos industriales. Estos principios se complementan con valores relacionados con el compromiso ambiental, la responsabilidad, el trabajo en equipo y el desarrollo sostenible, aspectos que resultan coherentes con la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

Uno de los aspectos más relevantes del contexto organizacional corresponde a la naturaleza intensiva del proceso productivo. La fabricación de ladrillos requiere una importante demanda de energía eléctrica para alimentar motores, sistemas de trituración, mezclado, prensado, transporte interno, ventilación, secado y automatización industrial. En consecuencia, la energía constituye uno de los recursos estratégicos para la operación de la empresa y representa un componente significativo dentro de sus costos de producción.

El proceso de fabricación se desarrolla sobre un área aproximada de **12 000 m²**, donde cerca del **90 % de las operaciones se encuentran automatizadas** y son supervisadas mediante un sistema **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**, encargado de monitorear las principales variables del proceso productivo. La producción se organiza en dos líneas principales que realizan las operaciones de molienda, zarandeo, mezclado, laminado, prensado, corte, secado y cocción del material cerámico. Estas líneas reciben el suministro eléctrico a través de tres transformadores de distribución con capacidades nominales de **500 kVA, 600 kVA y 1 000 kVA**, encargados de abastecer de energía a las diferentes áreas de la planta.

El proceso productivo inicia con la preparación de la materia prima, donde la tierra y el caolín son sometidos a operaciones de molienda y zarandeo para eliminar partículas de gran tamaño. Posteriormente, ambos materiales son mezclados y laminados hasta obtener la plasticidad requerida para el proceso de extrusión. La mezcla ingresa luego a una prensa extrusora de alta potencia, donde adquiere la forma definitiva del ladrillo antes de pasar por las etapas de corte, secado y cocción. Finalmente, los productos terminados son sometidos a controles de calidad y preparados para su despacho. Todo este proceso depende de un conjunto de motores eléctricos, ventiladores, bombas, sistemas hidráulicos y equipos automatizados cuyo desempeño energético influye directamente sobre la eficiencia global de la organización.

Desde la perspectiva energética, la empresa contrata el suministro eléctrico en **media tensión de 10 kV**, con una potencia contratada de **1 500 kW**, distribuida posteriormente hacia las distintas áreas de producción mediante los tres transformadores principales. Esta infraestructura permite alimentar motores de elevada potencia, algunos superiores a los **400 HP**, así como sistemas de ventilación, transporte de materiales y automatización industrial. La magnitud de estas cargas convierte a la gestión de la energía en un elemento determinante para la competitividad de la empresa.

El análisis preliminar realizado durante la investigación evidenció que la organización enfrentaba diversos problemas relacionados con el comportamiento energético de sus procesos. Entre los principales se identificaron un elevado consumo de energía eléctrica reflejado en la facturación mensual, ausencia de indicadores de desempeño energético, insuficiente monitoreo del consumo, bajo control del factor de potencia, presencia de distorsión armónica y variaciones significativas en el consumo específico de energía respecto a la producción obtenida. Estas condiciones dificultaban la identificación de pérdidas energéticas y limitaban la capacidad de la organización para implementar estrategias de mejora sostenibles.

Con el propósito de comprender las causas de esta problemática, la investigación desarrolló un análisis utilizando herramientas de ingeniería como el **diagrama de Ishikawa**, la matriz de correlación de causas, el análisis de Pareto y la estratificación de factores críticos. Los resultados mostraron que las principales oportunidades de mejora no se encontraban únicamente en la infraestructura eléctrica, sino también en aspectos relacionados con la gestión organizacional, la ausencia de indicadores, la insuficiente auditoría energética y el limitado seguimiento del desempeño energético. Estas conclusiones permitieron seleccionar como alternativa de solución la implementación de un **Sistema de Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001 y el ciclo PHVA**, orientado a institucionalizar la mejora continua dentro de la empresa.

En consecuencia, la Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A. representó un escenario apropiado para evaluar la aplicación práctica de un Sistema de Gestión de la Energía en un entorno industrial de alta demanda energética. La complejidad de sus procesos productivos, la magnitud de sus consumos eléctricos y la existencia de oportunidades claramente identificadas de optimización proporcionaron las condiciones necesarias para analizar el

impacto de la implementación del SGEn sobre el desempeño energético de la organización. Sobre esta base se desarrolló la metodología presentada en el siguiente apartado, la cual permitió estructurar la investigación y evaluar objetivamente los resultados obtenidos mediante la aplicación de la Norma ISO 50001.

3.2 METODOLOGÍA

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía requiere una metodología que permita analizar rigurosamente el comportamiento energético de la organización, identificar las oportunidades de mejora y evaluar objetivamente los resultados obtenidos después de la intervención. En el presente caso de estudio se empleó una metodología de investigación aplicada, orientada a resolver un problema específico relacionado con el elevado consumo de energía eléctrica en los procesos productivos de la empresa Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A.

La investigación adoptó un enfoque **cuantitativo**, debido a que el análisis se sustentó en información numérica obtenida mediante mediciones directas del consumo eléctrico, registros históricos de producción, indicadores energéticos y parámetros eléctricos medidos en campo. La utilización de datos cuantificables permitió comparar objetivamente el comportamiento energético antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio correspondió a una investigación de tipo **aplicada**, ya que tuvo como propósito utilizar los principios establecidos por la Norma ISO 50001 para resolver una problemática real dentro de una organización industrial. A diferencia de una investigación básica, orientada a la generación de conocimiento teórico, la investigación aplicada busca desarrollar soluciones prácticas que puedan implementarse directamente en el entorno donde se presenta el problema. En este caso, el conocimiento científico relacionado con la gestión energética fue utilizado para mejorar el desempeño energético de los procesos productivos de la empresa.

El diseño metodológico correspondió a un **diseño cuasi experimental**, debido a que permitió comparar el comportamiento de la variable dependiente antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, sin alterar las condiciones normales de operación de la empresa. Este diseño resulta apropiado cuando las investigaciones se

desarrollan en escenarios industriales reales, donde no es posible controlar completamente todas las variables del proceso, pero sí evaluar el efecto de una intervención específica sobre el comportamiento del sistema.

La investigación se desarrolló bajo un **nivel explicativo**, orientado a identificar la relación existente entre la implementación del Sistema de Gestión de la Energía y la mejora del desempeño energético de la organización. Este enfoque permitió no solo describir el comportamiento del consumo eléctrico, sino también explicar cómo las acciones derivadas de la aplicación de la ISO 50001 influyeron sobre la reducción del consumo específico de energía y el mejoramiento del desempeño energético.

Para el desarrollo del estudio se definieron dos variables principales. La **variable independiente** correspondió a la **Gestión de la Eficiencia Energética basada en la Norma ISO 50001**, estructurada a partir del ciclo de mejora continua **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. Esta variable comprendió actividades relacionadas con la planificación energética, la implementación de acciones de mejora, el seguimiento del desempeño y la adopción de acciones correctivas orientadas a incrementar la eficiencia energética de la organización.

La **variable dependiente** fue el **consumo eléctrico**, evaluado mediante indicadores de desempeño energético expresados principalmente en kilovatios-hora por tonelada producida (kWh/Ton), así como mediante el análisis del consumo eléctrico total registrado durante el periodo de evaluación. Esta variable permitió medir objetivamente el efecto producido por la implementación del Sistema de Gestión de la Energía sobre el comportamiento energético del proceso productivo.

La población objeto de estudio estuvo constituida por el consumo eléctrico asociado a los procesos productivos de la empresa, considerando especialmente las etapas correspondientes a la producción de ladrillo crudo, desde la molienda hasta el secado. Se excluyeron los consumos relacionados con el horno de cocción debido a que este operaba bajo condiciones prácticamente constantes durante todo el año y no formaba parte de las acciones de mejora evaluadas en la investigación. La unidad de análisis utilizada fue el consumo eléctrico expresado en kilovatios-hora (kWh).

La muestra estuvo conformada por **32 registros horarios** obtenidos durante jornadas normales de producción. Cada registro incluyó información correspondiente al consumo de energía eléctrica de los tres transformadores principales, la producción obtenida durante el mismo periodo y el cálculo del indicador específico de consumo energético. Esta información permitió comparar objetivamente el desempeño energético antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

La recopilación de la información se realizó mediante la técnica de la **observación directa**, complementada con instrumentos de medición especializados. Para registrar el comportamiento energético se utilizaron analizadores de redes instalados temporalmente en los tres transformadores de distribución de la planta, permitiendo medir variables como energía activa, corriente, tensión y otros parámetros eléctricos relevantes para el análisis del desempeño energético. Adicionalmente, se emplearon formatos de registro diseñados específicamente para consolidar la información relacionada con la producción y el consumo energético de cada periodo de medición.

La validez de los instrumentos fue determinada mediante **juicio de expertos**, quienes evaluaron la pertinencia, claridad y relevancia de las dimensiones e indicadores considerados en la investigación. Asimismo, la confiabilidad de las mediciones fue garantizada mediante la utilización de equipos calibrados y del software especializado **Data View**, el cual permitió registrar automáticamente la información obtenida durante las mediciones, reduciendo la posibilidad de errores asociados al procesamiento manual de los datos.

El procedimiento metodológico inició con el análisis del contexto organizacional y el diagnóstico del comportamiento energético de la empresa. Posteriormente se recopiló el historial de consumo eléctrico correspondiente al periodo julio de 2018 – julio de 2019, información utilizada para construir la línea base energética y establecer los indicadores de desempeño energético. Con base en este diagnóstico se identificaron los principales problemas relacionados con el consumo eléctrico y se formularon las acciones de mejora que posteriormente fueron implementadas mediante el ciclo PHVA.

Una vez implementadas las mejoras, se desarrolló la etapa de evaluación mediante la comparación de los resultados obtenidos durante el **Pre-Test** y el **Post-Test**. Para ello se registró nuevamente el comportamiento energético de los tres transformadores principales,

se calcularon los indicadores específicos de consumo y se compararon con la línea base establecida al inicio del estudio. Este procedimiento permitió determinar objetivamente el impacto del Sistema de Gestión de la Energía sobre el desempeño energético de la organización.

Finalmente, los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico inferencial utilizando la **prueba no paramétrica de Wilcoxon**, con el propósito de contrastar las hipótesis planteadas y determinar si las diferencias observadas entre el Pre-Test y el Post-Test resultaban estadísticamente significativas. Complementariamente, se desarrolló un análisis económico mediante indicadores como la relación beneficio-costo, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo evaluar la viabilidad financiera de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

La metodología empleada permitió integrar herramientas de ingeniería, procedimientos estadísticos y principios de gestión establecidos por la Norma ISO 50001 dentro de un mismo proceso de intervención. Este enfoque facilitó la obtención de evidencia objetiva sobre la eficacia del Sistema de Gestión de la Energía y proporcionó el sustento científico necesario para las conclusiones derivadas del presente caso de estudio.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía constituyó la fase central del caso de estudio, ya que permitió trasladar los principios establecidos por la Norma ISO 50001 desde el plano conceptual hacia la operación real de la empresa. Esta etapa no se limitó a ejecutar un conjunto de acciones técnicas destinadas a reducir el consumo eléctrico; por el contrario, implicó desarrollar un proceso integral de transformación organizacional orientado a incorporar la gestión energética dentro de la planificación, operación y control permanente de los procesos productivos.

La implementación se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por la **Norma ISO 50001**, utilizando como eje estructural el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**. Este enfoque permitió organizar las actividades de manera secuencial, asegurando que cada acción estuviera sustentada en el diagnóstico energético previamente realizado y

que los resultados obtenidos fueran posteriormente evaluados mediante indicadores objetivos de desempeño energético (ISO, 2011).

El proceso inició con el establecimiento de las condiciones organizacionales necesarias para el funcionamiento del Sistema de Gestión de la Energía. En primer lugar, se designó un representante de la dirección responsable de coordinar la implementación del sistema y se conformó un comité energético integrado por representantes de la gerencia general, producción, mantenimiento y el equipo responsable del proyecto. Paralelamente, se formularon las políticas energéticas que orientarían las actividades relacionadas con la gestión del consumo eléctrico dentro de la organización. Estas acciones permitieron institucionalizar la gestión energética como parte de la estrategia empresarial y garantizar el compromiso de la alta dirección durante todo el proceso de implementación.

Superada esta etapa inicial, se desarrolló la fase de planificación energética. Para ello se analizaron los registros históricos de consumo eléctrico y producción correspondientes al periodo julio de 2018 – julio de 2019, estableciendo los indicadores de desempeño energético y construyendo la línea base que posteriormente serviría como referencia para evaluar los resultados de la intervención. Asimismo, se identificaron los principales usos significativos de energía y se determinaron las áreas con mayor potencial de mejora dentro del proceso productivo.

La revisión energética permitió identificar diversas condiciones que afectaban el desempeño energético de la empresa. Entre ellas destacaban el funcionamiento del primer transformador por encima de su capacidad nominal, elevados niveles de potencia reactiva, presencia de distorsión armónica, distribución inadecuada de cargas y ausencia de mecanismos sistemáticos para el monitoreo del consumo energético. Estos hallazgos sirvieron como fundamento para la formulación de las acciones de mejora que posteriormente serían implementadas.

Con base en este diagnóstico se estructuró un programa de intervención compuesto por tres líneas estratégicas de actuación.

La primera línea estuvo orientada a la **implementación del Sistema de Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001**. Esta intervención comprendió la

institucionalización del ciclo PHVA como metodología permanente de trabajo, la sensibilización del personal respecto a la importancia del uso eficiente de la energía y el establecimiento de procedimientos relacionados con la planificación, seguimiento y evaluación del desempeño energético. Más que incorporar nuevas tecnologías, esta primera acción buscó transformar la manera en que la organización administraba el recurso energético, promoviendo una cultura de mejora continua sustentada en indicadores y procedimientos claramente definidos.

La segunda línea de intervención estuvo dirigida a optimizar el comportamiento del sistema eléctrico mediante la reducción de los desperdicios energéticos identificados durante la revisión energética. Para ello se planteó la **reactivación y automatización de los bancos de condensadores**, el **balance de cargas eléctricas** entre los transformadores y la implementación de medidas orientadas a disminuir la energía reactiva y mejorar el factor de potencia del sistema. Estas acciones permitieron reducir las pérdidas asociadas a sobrecargas y mejorar las condiciones generales de operación de la infraestructura eléctrica.

La tercera intervención correspondió a la incorporación de un **arrancador electrónico suave (Soft Starter)** para el motor principal de 400 HP. Durante el diagnóstico energético se identificó que el sistema de arranque tradicional generaba elevadas demandas instantáneas de corriente, incrementando innecesariamente el consumo de energía y sometiendo a esfuerzos adicionales tanto al motor como al sistema eléctrico. La sustitución por un arrancador electrónico permitió controlar progresivamente la corriente durante el arranque, reduciendo las pérdidas energéticas y mejorando la confiabilidad operacional del equipo.

Una vez ejecutadas las acciones de mejora, la implementación continuó con la etapa de seguimiento y control del Sistema de Gestión de la Energía. Durante esta fase se desarrollaron actividades orientadas a verificar el funcionamiento de las mejoras implementadas mediante el monitoreo permanente de los indicadores energéticos, el registro de las variables eléctricas y la evaluación del comportamiento de los tres transformadores principales de la planta. Este proceso permitió determinar objetivamente el impacto producido por cada una de las acciones desarrolladas.

La implementación también incorporó un importante componente de capacitación y fortalecimiento institucional. La empresa promovió la participación del personal en actividades relacionadas con el uso eficiente de la energía, difundiendo procedimientos de operación, buenas prácticas energéticas y mecanismos para la identificación de oportunidades de mejora. Este componente organizacional resultó fundamental para garantizar la sostenibilidad del Sistema de Gestión de la Energía, ya que permitió integrar la eficiencia energética dentro de las actividades habituales de producción y mantenimiento.

Las investigaciones desarrolladas por **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, **Zuloeta Vigo (2018)** y **Echeandía Diez (2016)** coinciden en señalar que la capacitación del personal y el compromiso de la alta dirección representan factores determinantes para el éxito de un Sistema de Gestión de la Energía. La experiencia desarrollada en la empresa Ladrillera Sagitario confirma esta afirmación, demostrando que la institucionalización de la gestión energética resulta tan importante como las mejoras tecnológicas implementadas.

La ejecución de las acciones fue acompañada por un programa de evaluación económica destinado a determinar la viabilidad financiera del proyecto. Para ello se estimaron los costos asociados a la capacitación del personal, la modernización del sistema eléctrico y la incorporación del arrancador electrónico suave, comparándolos posteriormente con los beneficios económicos derivados de la reducción del consumo energético. Este análisis permitió justificar técnicamente las inversiones realizadas y fortalecer el proceso de toma de decisiones dentro de la organización.

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía permitió transformar la administración del recurso energético desde un enfoque correctivo hacia un modelo preventivo y sistemático. La organización pasó de gestionar el consumo únicamente mediante el análisis de la facturación eléctrica a desarrollar un proceso permanente basado en indicadores, seguimiento del desempeño y mejora continua. Este cambio organizacional constituye uno de los principales logros del proyecto, ya que proporciona las condiciones necesarias para mantener y ampliar los resultados obtenidos en el tiempo.

Desde una perspectiva científica, este caso demuestra que la eficacia de un Sistema de Gestión de la Energía no depende exclusivamente de la incorporación de nuevas tecnologías. Los resultados alcanzados fueron consecuencia de la integración entre

diagnóstico técnico, planificación, participación del personal, control operacional, evaluación permanente y liderazgo institucional, elementos que conforman los principios fundamentales de la Norma ISO 50001.

La implementación desarrollada en la empresa Ladrillera Sagitario constituye, por tanto, una evidencia práctica de la aplicabilidad del Sistema de Gestión de la Energía en entornos industriales reales y demuestra que la combinación entre herramientas de gestión y acciones técnicas permite mejorar significativamente el desempeño energético de los procesos productivos. Sobre esta base se desarrollará el siguiente apartado, donde se presentan los resultados obtenidos y el análisis de los efectos producidos por la implementación del Sistema de Gestión de la Energía sobre el consumo eléctrico y los indicadores de desempeño energético.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía permitió evaluar objetivamente el impacto de las acciones desarrolladas sobre el desempeño energético de la empresa Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A. Para ello, se compararon los indicadores obtenidos antes y después de la intervención mediante un diseño de evaluación **Pre-Test y Post-Test**, utilizando como variables principales el consumo específico de energía, el consumo eléctrico total y los parámetros energéticos registrados en los tres transformadores de distribución que alimentan el proceso productivo.

La evaluación se sustentó en mediciones directas realizadas durante condiciones normales de operación, permitiendo comparar el comportamiento energético previo a la implementación del Sistema de Gestión de la Energía con los resultados obtenidos una vez ejecutadas las acciones de mejora. Complementariamente, se desarrolló un análisis económico y una validación estadística con el propósito de determinar la significancia de las mejoras alcanzadas.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación organizados en función de los principales indicadores de desempeño energético y posteriormente son analizados a la luz de las investigaciones nacionales e internacionales revisadas en los capítulos anteriores.

3.4.1 Resultados del desempeño energético

El primer indicador evaluado correspondió al **desempeño energético**, expresado mediante el consumo específico de energía en kilovatios-hora por tonelada producida (kWh/Ton). Este indicador permitió analizar objetivamente la eficiencia energética del proceso productivo independientemente de las variaciones en el volumen de producción.

La comparación entre el Pre-Test y el Post-Test evidenció una reducción del indicador promedio desde **19,09 kWh/Ton** hasta **15,54 kWh/Ton**, representando una mejora aproximada del **18,59 %** en el desempeño energético del proceso. Esta disminución indica que, después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, la empresa requirió una menor cantidad de energía para producir la misma unidad de producto, reflejando una utilización más eficiente de los recursos energéticos disponibles.

Los resultados también mostraron una menor variabilidad entre las mediciones realizadas durante el Post-Test, evidenciando que la implementación del Sistema de Gestión de la Energía no solo redujo el consumo específico, sino que contribuyó a estabilizar el comportamiento energético de los procesos productivos.

3.4.2 Resultados del consumo eléctrico

El segundo indicador analizado correspondió al consumo eléctrico total registrado durante las mediciones realizadas en los tres transformadores principales de la planta.

Los registros obtenidos mostraron una disminución del consumo desde **30 187,03 kWh** durante el Pre-Test hasta **24 584,32 kWh** en el Post-Test. Esta reducción confirmó que las acciones implementadas produjeron un efecto favorable sobre el comportamiento energético del sistema eléctrico de la empresa.

La extrapolación de estos resultados permitió estimar una reducción mensual aproximada de **43 504 kWh**, equivalente a un ahorro económico cercano a **S/18 067,21 por mes** y aproximadamente **S/216 806,52 por año**, demostrando la viabilidad técnica y económica del Sistema de Gestión de la Energía implementado.

Estos resultados evidencian que la mejora del desempeño energético no solo se reflejó en los indicadores específicos de consumo, sino también en una disminución significativa del consumo absoluto de energía eléctrica.

3.4.3 Evaluación económica

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía fue acompañada por un análisis económico orientado a determinar la rentabilidad de las acciones desarrolladas.

La inversión total del proyecto ascendió aproximadamente a **S/50 500**, considerando actividades relacionadas con capacitación, modernización del sistema eléctrico, implementación de mejoras técnicas y adquisición de equipos.

Como resultado de la reducción del consumo energético, la empresa obtuvo un ahorro anual estimado de **S/216 806,52**, alcanzando una **relación beneficio-costo de 4,29**. Esto significa que por cada sol invertido en la implementación del Sistema de Gestión de la Energía se obtuvo un beneficio aproximado de **S/4,29**, demostrando la alta rentabilidad del proyecto. Asimismo, el análisis financiero evidenció un **Valor Actual Neto (VAN) positivo** y una **Tasa Interna de Retorno (TIR) del 35 %**, indicadores que respaldan la factibilidad económica de la intervención.

Estos resultados confirman que la gestión energética constituye una inversión estratégica para las organizaciones y no únicamente una medida orientada a disminuir el consumo eléctrico.

3.4.4 Validación estadística

Con el propósito de verificar que las diferencias observadas entre el Pre-Test y el Post-Test no obedecieran al azar, los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico utilizando la **prueba no paramétrica de Wilcoxon**.

Los valores obtenidos mostraron niveles de significancia inferiores a **0,05**, permitiendo rechazar la hipótesis nula y aceptar las hipótesis de investigación relacionadas con la mejora del consumo eléctrico después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía. Estos resultados proporcionan evidencia estadística sobre la eficacia de las acciones desarrolladas durante la investigación.

La validación estadística fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos y confirma que la reducción del consumo energético fue consecuencia de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001.

Para el análisis descriptivo con ayuda de un histograma se muestran los datos arrojados antes y después de aplicar la gestión de la eficiencia energética mostrando así la mejora alcanzada, de igual modo se muestra los datos descriptivos (media, varianza, desviación estándar, etcétera) de la data pre y post test para determinar cómo la gestión de la eficiencia energética basada en la ISO 50001 mejora el consumo eléctrico en la empresa ladrillera Sagitario.

Histograma del consumo de energía eléctrica (pre test y post test)

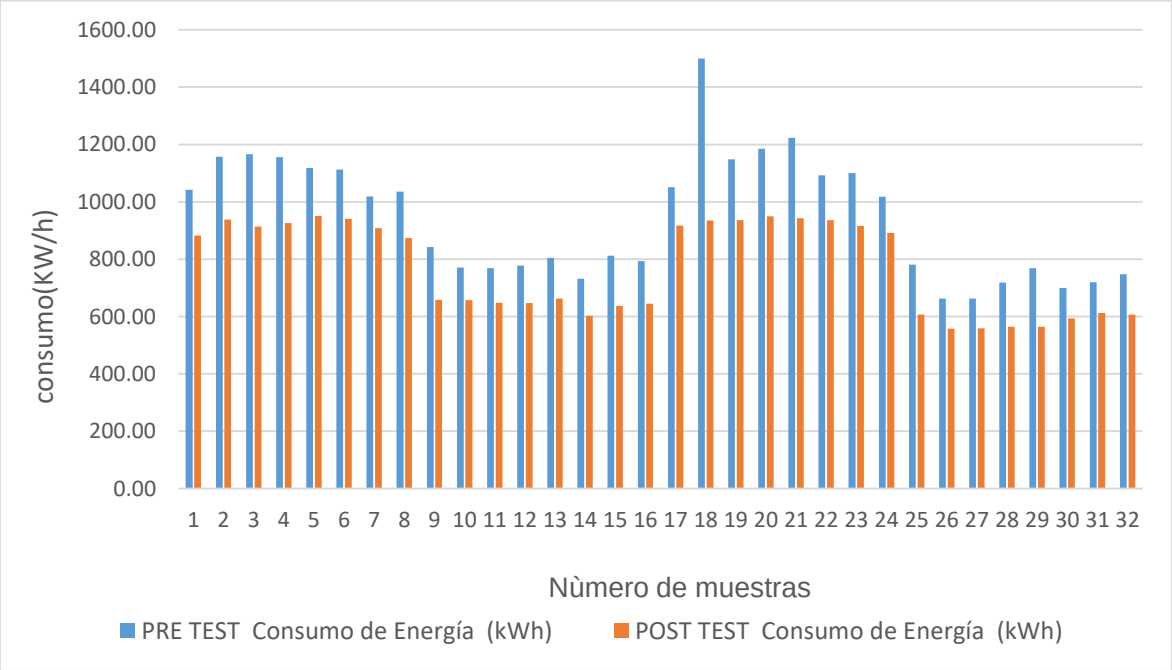


Figura 1. *Consumo de energía pre y pos test*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Resumen de procesamiento de caso.

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
CONSUMO_ENERGÍA_PRE_TEST	32	100,0%	0	0,0%	32	100,0%
CONSUMO_ENERGÍA_POST_TEST	32	100,0%	0	0,0%	32	100,0%

Fuente:

Tabla 2. *Descriptivos*

			Estadístico	Error estándar
CONSUMO_ENERGÍA_PRE_TEST	Media		943,3444	37,45454
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	866,9553	
		Límite superior	1019,7334	
	Media recortada al 5%		933,7782	
	Mediana		929,7450	
	Varianza		44890,968	
	Desviación estándar		211,87489	
	Mínimo		662,13	
	Máximo		1500,34	
	Rango		838,21	
	Rango intercuartil		348,26	
	Asimetría		,496	,414
	Curtosis		-,450	,809
CONSUMO_ENERGÍA_POST_TEST	Media		768,2594	28,26134
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	710,6200	
		Límite superior	825,8988	
	Media recortada al 5%		769,8055	
	Mediana		767,9350	
	Varianza		25558,500	
	Desviación estándar		159,87026	
	Mínimo		558,16	
	Máximo		950,72	
	Rango		392,56	
	Rango intercuartil		324,48	
	Asimetría		-,055	,414
	Curtosis		-1,963	,809

Fuente: SPSS

ANÁLISIS INFERENCIAL

Análisis de la Hipótesis General

Hipótesis General: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el proceso productivo de la empresa Ladrillera Sagitario, lima 2020

Prueba de normalidad

Debido a la cantidad de muestras realizadas (32 muestras) procederemos a realizar la prueba de normalidad con el estadígrafo Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los datos y posteriormente determinar el estadígrafo a utilizar para realizar la contrastación de la hipótesis general.

Regla de decisión:

Si ρv valor ≤ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si ρv valor > 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

Tabla 3. *Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	**Sig.**	Estadístico	gl	Sig.
CONSUMO_ENERGÍA_PRE_TEST	,201	32	**,002**	,901	32	,007
CONSUMO_ENERGÍA_POST_TEST	,246	32	**,000**	,787	32	,000

Fuente: SPSS
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras realizar la prueba de normalidad los resultaron arrojaron fue el dato del consumo de energía pre test tenía un comportamiento no paramétrico siento este 0.002 y el consumo de energía pos test un comportamiento no paramétrico 0.000. Teniendo en cuenta los resultados utilizaremos la **z de wilcoxon** para la contratación de la hipótesis general.

Contrastación de la hipótesis general.

H_o: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el proceso productivo de la empresa Ladrillera Sagitario, lima 2020.

H_a: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el proceso productivo de la empresa Ladrillera Sagitario, lima 2020.

Regla de decisión:

H_o: $\mu_{consumo(a)} \leq \mu_{consumo\ (d)}$

H_a: $\mu_{consumo(a)} > \mu_{consumo\ (d)}$

Prueba de wilcoxon al consumo pre test y post test

Tabla 4. *Estadísticos descriptivos*

	N	**Media**	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
CONSUMO_ENERGÍA_PRE_TEST	32	**943,3444**	211,87489	662,13	1500,34
CONSUMO_ENERGÍA_POST_TEST	32	**768,2594**	159,87026	558,16	950,72

Fuente: SPSS

En el estadisitico descriptivo, se determina que la media disminuye de 943.34 a 768.25 debido a la implementación de la mejora N° 01, gestión de la eficiencia energética, basado en el ciclo de mejora continua, que tuvo como resultado mejorar el consumo eléctrico.

Tabla 5. *Estadísticos de prueba*[a]

	CONSUMO_ENERGÍA_POST_TEST - CONSUMO_ENERGÍA_PRE_TEST
Z	-4,937[b]
Sig. asintótica (bilateral)	**,000**

Fuente: SPSS
a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo
b. Se basa en rangos positivos.

El estadístico de prueba Z wilcoxon ha arrojado un nivel de significancia de 0.000, al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, que dice "La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el proceso productivo de la empresa Ladrillera Sagitario, lima 2020." y por lo tanto se acepta la hipótesis alterna determinando de esta manera que la herramienta utilizada mejora el consumo de energía.

Análisis de la primera Hipótesis especifica:

Primera Hipótesis especifica: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°01 de 500KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

Prueba de normalidad

Debido a la cantidad de muestras realizadas (32 muestras) procederemos a realizar la prueba de normalidad con el estadígrafo Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los datos y posteriormente determinar el estadígrafo a utilizar para realizar la contrastación de la primera hipótesis especifica.

Regla de decisión:

Si ρ valor ≤ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si ρ valor > 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico.

Tabla 6 *Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	**Sig.**	Estadístico	gl	Sig.
CONSUMO_TRANSF_1_PRE_TEST	,197	32	**,003**	,683	32	,000
CONSUMO_TRANSF_1_POST_TEST	,161	32	**,035**	,938	32	,067

Fuente: SPSS
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras realizar la prueba de normalidad los resultaron arrojaron que el dato del consumo pre test tenía un comportamiento no paramétrico siento este 0.003 y el consumo de energía pos test posee igual un comportamiento no paramétrico 0.035 Teniendo en cuenta los resultados utilizaremos la z de wilcoxon para la contrastación de la primera hipótesis especifica.

Contrastación de la primera hipótesis especifica

H_o: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°01 de 500KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

H_a: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°01 de 500KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

Regla de decisión:

H_o: $\mu_{consumo(a)} \leq \mu_{consumo\ (d)}$

H_a: $\mu_{consumo(a)} > \mu_{consumo\ (d)}$

Prueba de wilcoxon del consumo de energía del primer transformador pre test y post test

Tabla 7. *Estadísticos descriptivos*

	N	**Media**	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
CONSUMO_TRANSF_1_PRE_TEST	32	**571,2031**	89,49386	491,63	977,76
CONSUMO_TRANSF_1_POST_TEST	32	**403,0469**	16,26644	376,00	431,24

Fuente: SPSS

En el estadisitico descriptivo, se determina que la media disminuye de 571.20 a 403.04 debido a la implementación de las mejoras N° 02 Eliminado los desperdiciones energético, energías reactivas y el balance de cargas que tuvo como resultado mejorar el consumo eléctrico.

Tabla 8. *Estadísticos de prueba*[a]

	CONSUMO_TRANSF_1_POST_TEST - CONSUMO_TRANSF_1_PRE_TEST
Z	-4,937[b]
Sig.asintótica (bilateral)	**,000**

Fuente: SPSS
a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo
b. Se basa en rangos positivos.

El estadístico de prueba Z wilcoxon, ha arrojado un nivel de significancia de 0.000, al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, que dice que la aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°01 de 500KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020. y por lo tanto se acepta la hipótesis alterna determinando de esta manera que la herramienta utilizada mejora el consumo de energía en el transformador 1.

Análisis de la segunda Hipótesis especifica:

Segunda Hipótesis especifica: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°02 de 600KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

Prueba de normalidad

Debido a la cantidad de muestras realizadas (32 muestras) procederemos a realizar la prueba de normalidad con el estadígrafo Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los datos y posteriormente determinar el estadígrafo a utilizar para realizar la contrastación de la segunda hipótesis especifica.

Regla de decisión:

Si ρ valor ≤ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si ρ valor > 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

Tabla 9. *Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	**Sig.**	Estadístico	gl	Sig.
CONSUMO_TRANSF_2_PRE_TEST	,176	32	**,013**	,875	32	,001
CONSUMO_TRANSF_2_POST_TEST	,186	32	**,007**	,895	32	,005

Fuente: SPSS
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras realizar la prueba de normalidad los resultaron arrojaron que el dato del consumo pre test tenía un comportamiento no paramétrico siento este 0.013 y el consumo de energía pos test posee igual un comportamiento no paramétrico 0.007. Teniendo en cuenta los resultados utilizaremos la z de wilcoxon para la contratación de la segunda hipótesis específica.

Contrastación de la segunda hipótesis especifica.

H_o: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°02 de 600KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

H_a: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°02 de 600KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

Regla de decisión:

H_o: $\mu_{consumo(a)} \leq \mu_{consumo\ (d)}$

H_a: $\mu_{consumo(a)} > \mu_{consumo\ (d)}$

Prueba de wilcoxon del consumo de energía del segundo transformador pre test y post test

Tabla 10. *Estadísticos descriptivos*

	N	**Media**	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
CONSUMO_TRANSF_2_PRE_TEST	32	**300,4981**	81,31676	169,76	400,18
CONSUMO_TRANSF_2_POST_TEST	32	**292,7303**	74,90881	169,76	386,84

Fuente: SPSS

En el estadisitico descriptivo, se determina que la media disminuye de 300.49 a 292.73 debido a la implementación de la mejora N°3. Arrancador Electrónico Sofstarter para el motor de 400 HP, que tuvo como resultado mejorar el consumo eléctrico.

Tabla 11. *Estadísticos de prueba*[a]

	CONSUMO_TRANSF_2_POST_TEST - CONSUMO_TRANSF_2_PRE_TEST
Z	-4,785[b]
Sig. asintótica (bilateral)	**,000**

Fuente: SPSS
a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo
b. Se basa en rangos positivos.

El estadístico de prueba Z wilcoxon ha arrojado un nivel de significancia de 0.000, al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, que dice La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°02 de 600KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna determinando de esta manera que la herramienta utilizada mejora el consumo de energía en el transformador 2.

Análisis de la tercera Hipótesis especifica:

Tercera Hipótesis especifica: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°03 de 1000KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020

Prueba de normalidad

Debido a la cantidad de muestras realizadas (32 muestras) procederemos a realizar la prueba de normalidad con el estadígrafo Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los datos y posteriormente determinar el estadígrafo a utilizar para realizar la contrastación de la tercera hipótesis especifica.

Regla de decisión:

Si ρ valor ≤ 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento no paramétrico.

Si ρ valor > 0.05, los datos de la serie tienen un comportamiento paramétrico

Tabla 12. *Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	**Sig.**	Estadístico	gl	Sig.
CONSUMO_TRANSF_3_PRE_TEST	,337	32	**,000**	,676	32	,000
CONSUMO_TRANSF_3_POST_TEST	,337	32	**,000**	,679	32	,000

Fuente: SPSS
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tras realizar la prueba de normalidad los resultaron arrojaron que el dato del consumo pre test tenía un comportamiento no paramétrico siento este 0.000 y el consumo de energía pos test posee igual un comportamiento no paramétrico 0.000. Teniendo en cuenta los resultados utilizaremos la z de wilcoxon para la contratación de la tercera hipótesis específica.

Contrastación de la tercera hipótesis especifica.

H_o: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, no mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°03 de 1000KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

H_a: La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°03 de 1000KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020.

Regla de decisión:

H_o: $\mu_{consumo(a)} \leq \mu_{consumo\ (d)}$

H_a: $\mu_{consumo(a)} > \mu_{consumo\ (d)}$

Prueba de wilcoxon del consumo de energía del tercer transformador pre test y post test

Tabla 13. *Estadísticos descriptivos*

	N	**Media**	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
CONSUMO_TRANSF_3_PRE_TEST	32	**73,1438**	74,51161	,00	156,44
CONSUMO_TRANSF_3_POST_TEST	32	**72,4822**	73,84094	,00	156,44

Fuente: SPSS

En el estadisitico descriptivo, se determina que la media disminuye de 73,143 a 72,482 debido a la implementación de la mejora N°3. Arrancador Electrónico Sofstarter para el motor de 400 HP, que tuvo como resultado mejorar el consumo eléctrico.

Tabla 14. *Estadísticos de prueba*[a]

	CONSUMO_TRANSF_3_POST_TEST - CONSUMO_TRANSF_3_PRE_TEST
Z	-2,825[b]
Sig. asintótica (bilateral)	**,005**

Fuente: SPSS
a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo
b. Se basa en rangos positivos.

El estadístico de prueba Z wilcoxon ha arrojado un nivel de significancia de 0.005, al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, que dice La aplicación de la gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001, mejora el consumo eléctrico en el Transformador N°03 de 1000KVA, en los procesos productivos de la empresa Ladrillera Sagitario, Lima 2020. y por lo tanto se acepta la hipótesis alterna determinando de esta manera que la herramienta utilizada mejora el consumo de energía en el transformador N° 03.

3.5 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la **Norma ISO 50001** constituye una estrategia eficaz para mejorar el desempeño energético de organizaciones industriales con elevados niveles de consumo eléctrico. La reducción observada tanto en el consumo específico como en el consumo total de energía demuestra que la aplicación sistemática del ciclo PHVA, acompañada por indicadores de desempeño y acciones de mejora técnica, puede generar beneficios sostenibles desde el punto de vista técnico y económico.

Los hallazgos obtenidos guardan concordancia con los resultados reportados por **Howk Prinsel y Ríos Gálvez (2019)**, quienes demostraron que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en una empresa minera permitió reducir significativamente los costos asociados al consumo energético y fortalecer la gestión operativa mediante un enfoque sistemático de mejora continua. En ambos estudios se evidencia que el liderazgo institucional, la planificación energética y el seguimiento permanente de los indicadores constituyen factores determinantes para alcanzar mejoras sostenibles.

De manera similar, los resultados coinciden con la investigación desarrollada por **Zuloeta Vigo (2018)**, quien identificó que la incorporación de indicadores energéticos, auditorías técnicas y mecanismos de monitoreo permitió optimizar el desempeño energético de una empresa industrial. Ambos trabajos demuestran que la eficiencia energética depende tanto de la implementación de mejoras tecnológicas como de la capacidad de la organización para gestionar sistemáticamente el comportamiento de sus procesos.

Asimismo, la presente investigación complementa los hallazgos reportados por **Echeandía Diez (2016)**, quien propuso la construcción de líneas base y líneas meta como instrumentos para orientar la planificación energética. Mientras dicho estudio planteó escenarios prospectivos de mejora, el caso desarrollado en la empresa Ladrillera Sagitario permitió validar experimentalmente la eficacia de estas herramientas mediante la comparación objetiva entre el desempeño energético previo y posterior a la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

Desde una perspectiva metodológica, los resultados evidencian que el mayor aporte de la ISO 50001 no radica exclusivamente en la incorporación de nuevas tecnologías, sino en la estructuración de un proceso permanente de gestión energética sustentado en información objetiva, indicadores de desempeño, liderazgo institucional y mejora continua. La disminución del consumo energético observada en este caso fue consecuencia de la integración entre acciones organizacionales y técnicas, más que del efecto aislado de una única intervención.

Sin embargo, el análisis desarrollado también pone de manifiesto algunas limitaciones propias del modelo convencional de gestión energética. La evaluación del desempeño continúa dependiendo de mediciones periódicas y del análisis posterior de la información recopilada. Aunque esta metodología permite verificar objetivamente los resultados alcanzados, presenta limitaciones para anticipar desviaciones energéticas antes de que estas afecten el comportamiento del sistema.

Esta observación adquiere especial relevancia en el contexto de la transformación digital que actualmente experimenta la industria. La disponibilidad de sensores inteligentes, plataformas de monitoreo en tiempo real, inteligencia artificial y gemelos digitales abre nuevas posibilidades para fortalecer los Sistemas de Gestión de la Energía, permitiendo evolucionar desde modelos reactivos hacia sistemas predictivos capaces de simular escenarios futuros, anticipar fallas y recomendar acciones de optimización antes de que se produzcan pérdidas energéticas.

En este sentido, el caso desarrollado en la empresa Ladrillera Sagitario constituye no solo una evidencia de la eficacia de la ISO 50001, sino también el punto de partida para proponer una evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía hacia modelos inteligentes basados en tecnologías digitales. Precisamente, esta evolución será desarrollada en el siguiente capítulo mediante la formulación del **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**, donde el ciclo PHVA será fortalecido mediante la integración de gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial, ampliando significativamente las capacidades de la gestión energética tradicional.

El caso de estudio desarrollado en la **Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A.** permitió demostrar la aplicabilidad práctica de los fundamentos teóricos expuestos en los

capítulos precedentes y evidenció que la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía basado en la **Norma ISO 50001** constituye una estrategia eficaz para mejorar el desempeño energético en organizaciones industriales con elevados niveles de consumo eléctrico.

El diagnóstico inicial reveló que el principal problema de la organización no radicaba exclusivamente en el elevado consumo de energía, sino en la ausencia de una gestión sistemática que permitiera conocer, controlar y optimizar el comportamiento energético de los procesos productivos. La inexistencia de indicadores de desempeño, la limitada cultura energética, las deficiencias en el monitoreo del sistema eléctrico y la falta de mecanismos permanentes de evaluación impedían identificar oportunamente las oportunidades de mejora y dificultaban la toma de decisiones sustentadas en información objetiva.

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía permitió transformar esta situación mediante la aplicación del ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, integrando herramientas de diagnóstico, planificación, control operacional y evaluación del desempeño dentro de un proceso continuo de mejora. La incorporación de indicadores energéticos, la construcción de una línea base, la ejecución de acciones de optimización y la evaluación permanente de los resultados permitieron reducir el consumo específico de energía, mejorar el desempeño energético de los procesos y generar beneficios económicos significativos para la organización.

Los resultados obtenidos demuestran que la gestión energética no debe entenderse únicamente como una intervención técnica sobre equipos eléctricos, sino como un modelo integral de administración que articula liderazgo, planificación, organización, tecnología y participación del personal. La evidencia presentada confirma que la aplicación sistemática de la ISO 50001 fortalece la capacidad de las organizaciones para gestionar eficientemente sus recursos energéticos y constituye una herramienta efectiva para incrementar la competitividad y la sostenibilidad industrial.

No obstante, el desarrollo del caso también permitió identificar una importante oportunidad de evolución. Aunque el Sistema de Gestión de la Energía demostró ser eficaz para mejorar el desempeño energético, la mayor parte de las decisiones continuó dependiendo del análisis periódico de información histórica y de evaluaciones realizadas

después de ocurridos los eventos energéticos. En consecuencia, la organización actuó principalmente bajo un enfoque correctivo, donde las acciones de mejora fueron implementadas una vez identificadas las desviaciones mediante los indicadores de desempeño.

La transformación digital que actualmente experimenta la industria abre la posibilidad de superar esta limitación. Tecnologías como los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva**, el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)** y la **inteligencia artificial** permiten evolucionar desde sistemas de gestión reactivos hacia modelos capaces de anticipar el comportamiento energético, simular escenarios futuros y recomendar acciones óptimas antes de que se produzcan pérdidas o desviaciones significativas.

En este sentido, el caso de estudio desarrollado en la empresa Ladrillera Sagitario no representa únicamente una validación de la eficacia de la **ISO 50001**, sino también el punto de partida para una nueva etapa en la evolución de la gestión energética industrial. Los resultados obtenidos proporcionan la evidencia empírica necesaria para plantear que los Sistemas de Gestión de la Energía pueden fortalecerse significativamente mediante la incorporación de tecnologías digitales que amplíen las capacidades del ciclo PHVA sin modificar sus principios fundamentales.

Sobre esta base, el capítulo siguiente presenta una propuesta prospectiva orientada al futuro de la eficiencia energética industrial. En él se desarrolla un nuevo enfoque que integra la **Norma ISO 50001**, los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva** y la **inteligencia artificial**, dando origen al **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**, concebido como una evolución del Sistema de Gestión de la Energía hacia un modelo inteligente, predictivo y autónomo, capaz de responder a los desafíos de la **Industria 4.0** y la **Industria 5.0**.

CAPÍTULO IV

EL FUTURO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL: GEMELOS DIGITALES, SIMULACIÓN PREDICTIVA Y EL CICLO PHVA EN ISO 50001

La gestión de la eficiencia energética ha experimentado una profunda transformación durante las últimas décadas. Lo que inicialmente se concebía como un conjunto de acciones orientadas a reducir el consumo de energía mediante mejoras técnicas aisladas evolucionó hacia sistemas estructurados de gestión sustentados en normas internacionales como la **ISO 50001**. Este avance permitió que las organizaciones incorporaran la energía como un recurso estratégico, desarrollando procesos permanentes de planificación, seguimiento, evaluación y mejora continua basados en el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**.

Sin embargo, la velocidad con la que evolucionan las tecnologías digitales plantea nuevos desafíos y, al mismo tiempo, nuevas oportunidades para la gestión energética. La denominada **Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0)** ha introducido tecnologías como el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, la computación en la nube, el análisis masivo de datos (*Big Data*), la inteligencia artificial y los sistemas ciberfísicos, modificando profundamente la forma en que las organizaciones monitorean y administran sus procesos productivos. Más recientemente, la **Industria 5.0** ha ampliado esta visión al incorporar modelos donde la inteligencia artificial, la automatización avanzada y el conocimiento humano trabajan de manera colaborativa para optimizar el desempeño de los sistemas industriales.

Arquitectura de datos energéticos confiables

La mayoría de los proyectos digitales fracasa antes del algoritmo: etiquetas inconsistentes, relojes no sincronizados, sensores sin trazabilidad, datos de producción separados de la energía y cambios de equipo sin registro. Un dato energético solo adquiere significado cuando está unido al estado del proceso

Contrato mínimo de datos

- Identificador único de activo y punto de medición.
- Magnitud, unidad, resolución, zona horaria y sello de tiempo.
- Método de medición, clase del instrumento y estado de calibración.
- Contexto: producto, lote, modo, consigna, disponibilidad y evento.
- Reglas de validez, imputación, retención, propietario y nivel de acceso.
- Linaje desde el sensor hasta el EnPI, el modelo y la decisión.

Calidad antes de inteligencia

La completitud no es suficiente. Se requieren coherencia física, plausibilidad, sincronización, precisión, oportunidad y trazabilidad. Un balance energético y reglas de proceso ofrecen pruebas independientes que el modelo estadístico no puede reemplazar. La calidad debe monitorizarse como un KPI del sistema digital.

Principio de diseño. Ninguna recomendación automática debe ejecutarse cuando la calidad de datos, la incertidumbre del modelo o el estado de ciberseguridad superen el umbral aprobado.

En este nuevo escenario, los Sistemas de Gestión de la Energía enfrentan el reto de evolucionar. Si bien la **ISO 50001** continúa siendo el principal referente internacional para la administración del desempeño energético, gran parte de sus aplicaciones actuales siguen dependiendo del análisis de información histórica y de procesos de evaluación periódicos. En consecuencia, muchas decisiones continúan adoptándose de manera reactiva, una vez que las desviaciones energéticas ya han ocurrido. Aunque este enfoque ha demostrado ser efectivo para mejorar el desempeño energético, las capacidades tecnológicas disponibles permiten plantear una nueva generación de sistemas capaces de anticipar escenarios, simular el comportamiento de los procesos y apoyar la toma de decisiones en tiempo real.

Entre las tecnologías con mayor potencial para impulsar esta transformación destacan los **gemelos digitales (Digital Twins)**. Un gemelo digital puede definirse como una representación virtual dinámica de un sistema físico que permanece sincronizada continuamente con la realidad mediante información proveniente de sensores, dispositivos inteligentes y plataformas de adquisición de datos. Esta tecnología permite reproducir

digitalmente el comportamiento de procesos industriales, evaluar diferentes escenarios operativos y predecir el efecto que determinadas decisiones tendrán sobre el desempeño energético antes de ejecutarlas en el sistema real.

La incorporación de **modelos de simulación predictiva** complementa esta capacidad. A diferencia de los modelos tradicionales, que describen el comportamiento pasado del sistema, la simulación predictiva permite estimar el comportamiento futuro utilizando modelos matemáticos, aprendizaje automático e inteligencia artificial. Esto posibilita identificar desviaciones energéticas antes de que ocurran, optimizar parámetros operativos y seleccionar automáticamente las alternativas que generan el mayor nivel de eficiencia.

En este contexto, el presente capítulo propone una visión prospectiva sobre la evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía. Partiendo de la evidencia obtenida en el caso de estudio desarrollado en la empresa **Ladrillera Sagitario**, donde la aplicación de la **ISO 50001** permitió mejorar significativamente el desempeño energético, se plantea que los beneficios alcanzados pueden ampliarse mediante la integración de tecnologías digitales avanzadas. La experiencia obtenida demuestra la eficacia del ciclo PHVA como metodología de gestión; sin embargo, también evidencia la oportunidad de fortalecer cada una de sus etapas mediante herramientas capaces de incrementar la velocidad, precisión y capacidad predictiva del sistema.

Bajo esta perspectiva, se propone un nuevo enfoque denominado **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**. Este modelo conserva los principios fundamentales de la **ISO 50001**, pero incorpora **gemelos digitales**, **simulación predictiva** e **inteligencia artificial** para transformar el ciclo PHVA tradicional en un sistema inteligente de gestión energética. En este nuevo paradigma, la planificación deja de depender exclusivamente del análisis histórico para apoyarse en simulaciones de escenarios futuros; la ejecución incorpora ajustes dinámicos sobre los procesos; la verificación evoluciona hacia un monitoreo continuo en tiempo real; y la actuación se fortalece mediante sistemas prescriptivos capaces de recomendar automáticamente las mejores decisiones energéticas.

El propósito de este capítulo no es reemplazar la **Norma ISO 50001**, sino demostrar que su estructura metodológica posee la flexibilidad suficiente para evolucionar e integrarse

con las tecnologías propias de la Industria 4.0 y la Industria 5.0. Se plantea que el futuro de la gestión energética no radica únicamente en equipos más eficientes o en procesos mejor controlados, sino en la capacidad de las organizaciones para construir sistemas inteligentes que aprendan continuamente de su comportamiento, anticipen eventos futuros y optimicen de manera autónoma el uso de la energía.

En consecuencia, las secciones que conforman este capítulo desarrollan los fundamentos científicos de los gemelos digitales, la simulación predictiva y la inteligencia artificial aplicada a la gestión energética, culminando con la formulación del **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)** como una propuesta metodológica orientada a fortalecer la aplicación de la ISO 50001 y proyectar la gestión de la eficiencia energética hacia los desafíos tecnológicos de la industria del futuro.

4.1 TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA

La gestión de la energía ha experimentado una evolución constante impulsada por los avances tecnológicos y por la necesidad de responder a un entorno industrial cada vez más competitivo. Durante gran parte del siglo XX, las organizaciones administraban el consumo energético mediante registros manuales, análisis de facturación y auditorías realizadas en intervalos periódicos. Este enfoque permitió identificar oportunidades de ahorro y mejorar progresivamente la eficiencia de los procesos; sin embargo, también presentó limitaciones importantes relacionadas con la disponibilidad de información, la velocidad de respuesta y la capacidad para anticipar desviaciones en el comportamiento energético.

La aparición de la **Industria 4.0** marcó un punto de inflexión en este escenario. La integración entre tecnologías digitales, sistemas de automatización, comunicaciones industriales y análisis masivo de datos permitió transformar la manera en que las organizaciones gestionan sus procesos productivos. La energía dejó de evaluarse únicamente mediante indicadores históricos para comenzar a administrarse a partir de información obtenida en tiempo real, facilitando decisiones más rápidas, precisas y fundamentadas.

La Industria 4.0 fue presentada oficialmente por el gobierno alemán en el año 2011 como una estrategia orientada a incrementar la competitividad industrial mediante la integración de tecnologías digitales en los procesos de manufactura. Desde entonces,

conceptos como **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, **Big Data**, **computación en la nube**, **inteligencia artificial**, **sistemas ciberfísicos** y **gemelos digitales** han transformado profundamente la forma en que las organizaciones diseñan, operan y optimizan sus sistemas productivos.

Dentro de este nuevo paradigma, la energía adquiere una dimensión diferente. Ya no constituye únicamente un recurso que debe ser controlado para reducir costos, sino una variable estratégica cuya gestión puede optimizarse continuamente mediante información proveniente de sensores distribuidos a lo largo del proceso productivo. Esta disponibilidad de información permite conocer el comportamiento energético prácticamente en tiempo real, identificar desviaciones de forma inmediata y adoptar decisiones antes de que las pérdidas energéticas afecten significativamente la productividad de la organización.

La evolución hacia la **Industria 5.0** amplía aún más este enfoque. Mientras la Industria 4.0 prioriza la automatización y la conectividad de los procesos, la Industria 5.0 incorpora una visión centrada en la colaboración entre las personas y las tecnologías inteligentes. En este contexto, la inteligencia artificial deja de sustituir al ser humano para convertirse en una herramienta de apoyo capaz de fortalecer la toma de decisiones mediante el análisis de grandes volúmenes de información y la simulación de escenarios complejos.

La gestión energética constituye uno de los ámbitos donde esta transformación adquiere mayor relevancia. Tradicionalmente, un Sistema de Gestión de la Energía basado en la **ISO 50001** desarrolla sus actividades mediante una secuencia de planificación, implementación, seguimiento y evaluación. Aunque este enfoque ha demostrado ser altamente efectivo para mejorar el desempeño energético, gran parte de la información utilizada continúa correspondiendo al comportamiento pasado del sistema.

Por ejemplo, las organizaciones suelen construir la línea base energética utilizando registros históricos de consumo, evaluar el desempeño mediante indicadores mensuales y desarrollar auditorías internas en periodos previamente programados. Este procedimiento permite verificar objetivamente los resultados alcanzados, pero también implica que muchas decisiones correctivas sean adoptadas después de que las pérdidas energéticas ya han ocurrido.

La transformación digital modifica radicalmente esta situación. La incorporación de sensores inteligentes permite capturar información continua sobre variables como corriente eléctrica, voltaje, potencia activa, potencia reactiva, temperatura, vibraciones, velocidad de motores y consumo energético de equipos individuales. Estos datos son transmitidos automáticamente hacia plataformas de monitoreo que consolidan la información y permiten analizar el comportamiento del sistema prácticamente en tiempo real.

El **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)** desempeña un papel fundamental en este proceso. A diferencia de los sistemas tradicionales de supervisión, el IIoT conecta dispositivos inteligentes mediante redes de comunicación industrial, facilitando el intercambio permanente de información entre sensores, controladores, plataformas analíticas y sistemas de gestión empresarial. Como resultado, la organización obtiene una visión mucho más completa y dinámica del comportamiento energético de sus procesos.

Esta conectividad constituye el fundamento para el desarrollo de la denominada **gestión energética inteligente**. Mientras los modelos tradicionales se apoyan principalmente en el análisis histórico del consumo, los sistemas inteligentes utilizan información continua para identificar tendencias, detectar anomalías y generar recomendaciones orientadas a optimizar el desempeño energético antes de que las desviaciones afecten la operación del sistema.

Otro componente esencial de la transformación digital corresponde al **Big Data**. Las instalaciones industriales modernas generan diariamente millones de registros relacionados con producción, mantenimiento, calidad, consumo energético y variables de operación. La capacidad para almacenar, procesar y analizar esta información permite identificar relaciones que anteriormente resultaban difíciles de observar mediante procedimientos convencionales.

En el ámbito de la gestión energética, el análisis masivo de datos facilita la construcción de modelos predictivos capaces de estimar el comportamiento futuro del consumo energético considerando simultáneamente múltiples variables como producción, clima, horarios de operación, estado de los equipos y demanda del mercado. Esta capacidad representa un avance significativo respecto a los modelos tradicionales basados únicamente en el análisis de tendencias históricas.

La **computación en la nube** complementa esta evolución al proporcionar plataformas que permiten almacenar, procesar y compartir grandes volúmenes de información energética sin depender exclusivamente de la infraestructura informática local de la organización. Esto facilita el monitoreo remoto, el acceso simultáneo a la información por diferentes áreas de la empresa y la integración entre diversas sedes industriales.

Sin embargo, la verdadera transformación de la gestión energética comienza con la incorporación de la **inteligencia artificial**. A diferencia de los sistemas tradicionales, que únicamente presentan información al usuario, los algoritmos de inteligencia artificial poseen la capacidad de aprender del comportamiento histórico, identificar patrones complejos, detectar anomalías y recomendar acciones de optimización con base en modelos matemáticos de aprendizaje automático.

Esta capacidad convierte a la inteligencia artificial en un complemento natural de los Sistemas de Gestión de la Energía. Mientras la ISO 50001 proporciona la estructura metodológica para organizar la gestión energética, la inteligencia artificial fortalece la toma de decisiones mediante herramientas analíticas capaces de procesar grandes volúmenes de información en tiempos considerablemente menores que los requeridos por los métodos convencionales.

En consecuencia, la transformación digital no sustituye los principios establecidos por la **ISO 50001**, sino que amplía significativamente sus capacidades. La planificación puede enriquecerse mediante simulaciones predictivas; la implementación puede apoyarse en sistemas inteligentes de control; la evaluación puede desarrollarse en tiempo real utilizando sensores distribuidos; y la mejora continua puede acelerarse mediante algoritmos capaces de identificar automáticamente nuevas oportunidades de optimización.

Esta evolución constituye el paso previo hacia la incorporación de los **gemelos digitales**, considerados actualmente una de las tecnologías con mayor potencial para transformar la gestión energética industrial. Mientras la transformación digital proporciona conectividad, información y capacidad analítica, los gemelos digitales integran todos estos componentes dentro de un modelo virtual capaz de reproducir dinámicamente el comportamiento del sistema físico y apoyar la toma de decisiones mediante simulaciones de alta precisión.

Por ello, la transformación digital debe entenderse como el fundamento tecnológico que hace posible la evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía hacia una nueva generación de modelos inteligentes. Sobre esta base se desarrolla el siguiente apartado, dedicado al estudio de los **gemelos digitales** como herramienta para fortalecer la aplicación de la Norma ISO 50001 y potenciar el ciclo PHVA mediante capacidades de simulación, predicción y optimización en tiempo real.

4.2 GEMELOS DIGITALES APLICADOS A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La literatura utiliza "gemelo digital" con significados heterogéneos. ISO 23247 lo sitúa como una representación digital adecuada al propósito de un elemento observable de manufactura, con sincronización entre el elemento y su representación. NIST destaca interoperabilidad, credibilidad del modelo y cuantificación de incertidumbre. Por tanto, una simulación aislada no es automáticamente un gemelo.

Categoría	Flujo de datos	Capacidad	Nombre admisible
Modelo digital	Manual o por campañas	Simular diseños y escenarios fuera de línea.	Modelo digital.
Sombra digital	Activo → modelo	Describir y predecir con actualización automática.	Sombra digital.
Gemelo asesor	Bidireccional informativo	Recomendar; la persona decide y ejecuta.	Gemelo digital de decisión.
Gemelo de control	Bidireccional operacional	Actuar dentro de restricciones verificadas.	Gemelo digital de control restringido.

Billey et al. (2023) hallaron que buena parte de la literatura energética en manufactura correspondía en realidad a sombras digitales, principalmente por ausencia de flujo bidireccional. Esta observación establece el primer criterio de novedad de 5GEM: no llamar gemelo a una arquitectura que solo visualiza.

ISO 23247 como columna tecnológica

Las partes 1 a 4 de ISO 23247 definen principios, arquitectura, atributos e intercambio de información. En 2026, las partes 5 y 6 amplían el marco hacia el hilo digital

y la composición/interoperación de gemelos. La obra adopta esta familia como vocabulario y arquitectura de referencia, no como afirmación de certificación del modelo 5GEM.

La transformación digital ha impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de modificar profundamente la manera en que las organizaciones administran sus procesos industriales. Entre estas tecnologías, los **gemelos digitales (Digital Twins)** representan una de las innovaciones más importantes para la ingeniería contemporánea debido a su capacidad para integrar información del mundo físico con modelos virtuales que reproducen, analizan y predicen el comportamiento de sistemas complejos en tiempo real.

Aunque el concepto comenzó a desarrollarse a comienzos del siglo XXI en proyectos aeroespaciales de la **National Aeronautics and Space Administration (NASA)**, actualmente su aplicación se ha extendido a sectores como la manufactura, la minería, la logística, la salud, la construcción y la gestión energética. La creciente disponibilidad de sensores inteligentes, plataformas de Internet Industrial de las Cosas (IIoT), computación en la nube e inteligencia artificial ha permitido que los gemelos digitales evolucionen desde simples modelos de simulación hacia sistemas inteligentes capaces de aprender continuamente del comportamiento de los procesos físicos.

De manera general, un **gemelo digital** puede definirse como una representación virtual dinámica de un activo, proceso o sistema físico que permanece sincronizada de forma permanente mediante información proveniente del entorno real. A diferencia de un modelo de simulación convencional, un gemelo digital no representa únicamente un escenario teórico, sino que reproduce continuamente el estado operativo del sistema físico utilizando datos obtenidos en tiempo real.

Esta característica constituye el principal elemento diferenciador respecto de los modelos tradicionales utilizados en ingeniería. Mientras una simulación convencional representa una condición determinada del proceso, el gemelo digital evoluciona simultáneamente con el sistema físico, permitiendo observar su comportamiento, evaluar escenarios alternativos y anticipar posibles desviaciones antes de que estas afecten la operación.

Desde la perspectiva de la gestión energética, esta capacidad adquiere una enorme importancia. Los Sistemas de Gestión de la Energía basados en la **ISO 50001** utilizan indicadores de desempeño, líneas base y auditorías para evaluar el comportamiento energético de una organización. Sin embargo, la mayor parte de esta información corresponde al comportamiento pasado del sistema. El análisis permite conocer qué ocurrió y, posteriormente, definir acciones correctivas para evitar que las desviaciones vuelvan a repetirse.

Los gemelos digitales modifican radicalmente este enfoque. Gracias a la sincronización permanente entre el sistema físico y su representación virtual, resulta posible analizar continuamente el comportamiento energético de los procesos, identificar anomalías prácticamente en tiempo real y simular diferentes alternativas de operación antes de ejecutar cualquier modificación sobre la planta.

En consecuencia, la gestión energética deja de ser predominantemente reactiva y evoluciona hacia un modelo predictivo, donde las decisiones pueden adoptarse anticipándose al comportamiento futuro del sistema.

La arquitectura básica de un gemelo digital está conformada por cuatro componentes principales.

El primero corresponde al **sistema físico**, integrado por los procesos productivos, motores, transformadores, equipos eléctricos, sistemas de automatización y demás activos que participan en la operación industrial.

El segundo componente está constituido por los **dispositivos de adquisición de datos**, conformados por sensores inteligentes, analizadores de redes, medidores de energía, sistemas SCADA y plataformas IIoT encargadas de capturar continuamente información relacionada con el comportamiento energético del sistema.

El tercer componente corresponde al **modelo digital**, donde la información recopilada es organizada, procesada y utilizada para representar virtualmente el funcionamiento del sistema físico. Este modelo incorpora algoritmos matemáticos, modelos de simulación y herramientas analíticas capaces de reproducir el comportamiento energético de la instalación bajo diferentes condiciones de operación.

Finalmente, el cuarto componente corresponde al **motor de inteligencia**, integrado por herramientas de analítica avanzada e inteligencia artificial que permiten interpretar la información recibida, detectar patrones de comportamiento, generar predicciones y recomendar acciones orientadas a optimizar el desempeño energético.

La interacción permanente entre estos cuatro componentes convierte al gemelo digital en un sistema vivo, capaz de evolucionar conforme cambian las condiciones operativas del proceso.

En el ámbito industrial, la aplicación de los gemelos digitales ofrece múltiples beneficios para la gestión energética.

Uno de los más importantes corresponde al **monitoreo continuo del desempeño energético**. Mientras los sistemas tradicionales dependen de mediciones periódicas, el gemelo digital mantiene una actualización permanente del comportamiento del proceso, permitiendo detectar variaciones prácticamente en el momento en que ocurren.

Otro beneficio relevante consiste en la posibilidad de realizar **simulaciones sin intervenir físicamente el sistema**. Antes de modificar parámetros operativos, incorporar nuevos equipos o redistribuir cargas eléctricas, la organización puede evaluar virtualmente el efecto de dichas decisiones sobre el desempeño energético, reduciendo significativamente los riesgos asociados a la implementación de cambios en procesos industriales complejos.

La simulación también facilita el análisis de escenarios futuros.

Por ejemplo, una organización puede estimar cómo variará el consumo energético si incrementa la producción, modifica los horarios de operación, reemplaza un motor o incorpora una nueva línea de fabricación. Estas simulaciones proporcionan información valiosa para la planificación energética y fortalecen considerablemente el proceso de toma de decisiones.

Otro aspecto especialmente importante corresponde al **mantenimiento predictivo**.

Los gemelos digitales pueden integrar información relacionada con vibraciones, temperatura, corriente eléctrica, factor de potencia, armónicos y comportamiento mecánico de los equipos. Mediante algoritmos de inteligencia artificial resulta posible identificar

patrones que anticipan fallas futuras, permitiendo programar intervenciones antes de que se produzcan averías o pérdidas significativas de eficiencia.

Desde la perspectiva de la **ISO 50001**, esta capacidad representa una evolución significativa del proceso de revisión energética. Mientras la revisión convencional analiza el comportamiento histórico del sistema, el gemelo digital incorpora información histórica y datos en tiempo real para construir un modelo dinámico capaz de anticipar el comportamiento futuro del desempeño energético.

La planificación energética también se fortalece considerablemente.

Tradicionalmente, la definición de objetivos energéticos se realiza a partir del análisis de información histórica y de la experiencia de los especialistas responsables del sistema. Con la incorporación de un gemelo digital, la organización puede evaluar múltiples escenarios antes de seleccionar la estrategia más conveniente, estimando con mayor precisión el impacto energético, económico y operativo de cada alternativa.

De igual manera, la etapa de implementación del ciclo PHVA puede beneficiarse mediante ajustes dinámicos de los parámetros operativos.

En lugar de ejecutar acciones estáticas definidas al inicio del proyecto, el gemelo digital permite adaptar continuamente las condiciones de operación conforme cambian las variables del proceso, manteniendo el sistema cerca de sus condiciones óptimas de eficiencia.

La etapa de verificación también experimenta una transformación significativa.

Mientras el modelo tradicional compara periódicamente los indicadores con la línea base energética, el gemelo digital realiza esta comparación de manera continua, generando alertas automáticas cuando detecta desviaciones que puedan afectar el desempeño energético.

Finalmente, durante la etapa de actuación, la inteligencia artificial puede analizar simultáneamente múltiples alternativas de intervención y recomendar aquellas que produzcan el mayor beneficio energético con el menor impacto operativo y económico.

Estas capacidades convierten al gemelo digital en una herramienta particularmente valiosa para organizaciones con procesos industriales complejos y elevados consumos energéticos.

Si se analiza el caso desarrollado en la **empresa Ladrillera Sagitario**, resulta evidente el potencial que tendría la incorporación de un gemelo digital.

Durante la investigación fue necesario recopilar información histórica, construir una línea base, analizar manualmente los indicadores energéticos y desarrollar comparaciones entre el Pre-Test y el Post-Test para evaluar los resultados obtenidos. Asimismo, la identificación de sobrecargas, distorsión armónica y distribución inadecuada de cargas requirió campañas específicas de medición mediante analizadores de redes.

Un gemelo digital habría permitido integrar toda esta información dentro de un único modelo virtual, monitoreando permanentemente el comportamiento de los tres transformadores, simulando diferentes configuraciones de carga, evaluando automáticamente el efecto de cada alternativa sobre el consumo energético y generando recomendaciones antes de implementar físicamente las modificaciones en la planta.

En otras palabras, la investigación desarrollada en la empresa Ladrillera Sagitario demuestra que la **ISO 50001** proporciona una metodología sólida para mejorar el desempeño energético. Sin embargo, también evidencia que la incorporación de gemelos digitales permitiría fortalecer considerablemente cada una de las etapas del Sistema de Gestión de la Energía, incrementando la velocidad de respuesta, reduciendo la incertidumbre y mejorando la calidad de las decisiones.

Por esta razón, los gemelos digitales no deben entenderse como una tecnología independiente de la **ISO 50001**, sino como una evolución natural de sus principios. Mientras la norma proporciona la estructura metodológica para gestionar la energía, el gemelo digital aporta las capacidades tecnológicas necesarias para transformar esa gestión en un proceso inteligente, predictivo y permanentemente sincronizado con la realidad operacional.

Esta integración constituye el fundamento sobre el cual se desarrollará el siguiente apartado, dedicado al estudio de la **simulación predictiva y la inteligencia artificial**,

tecnologías que complementan el funcionamiento del gemelo digital y hacen posible la evolución del ciclo PHVA hacia un modelo de gestión energética de nueva generación.

4.3 SIMULACIÓN PREDICTIVA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Un modelo útil no es el más complejo; es el que reduce una incertidumbre relevante para una decisión. Los modelos de primeros principios explican balances y restricciones; los modelos estadísticos capturan relaciones empíricas; el aprendizaje automático detecta patrones no lineales. Una arquitectura híbrida permite combinar conocimiento físico y evidencia operacional.

Etapa	Pregunta	Prueba mínima
Calibración	¿El modelo reproduce el pasado sin sesgo material?	CV(RMSE), NMBE, residuales y validación temporal.
Validación	¿Generaliza a condiciones no usadas en ajuste?	Holdout temporal, escenarios y cobertura de intervalos.
Prueba de valor	¿Supera una regla sencilla?	Comparación contra baseline de decisión y costo total.
Shadow mode	¿Se comporta bien en línea sin intervenir?	Latencia, deriva, alarmas falsas y disponibilidad.
Control supervisado	¿La recomendación es segura y explicable?	Envolvente, aprobación, rollback y registro.
Revalidación	¿Sigue siendo creíble después del cambio?	Disparadores por deriva, activo, producto o software.

Función objetivo ilustrativa. Minimizar J = wE·energía + wC·costo + wCO_2·carbono + wQ·pérdida de calidad + wR·riesgo, sujeto a capacidad, seguridad, calidad y continuidad. Los pesos no son universales: son una decisión de gobernanza.

La evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía hacia modelos inteligentes requiere herramientas capaces de ir más allá del análisis del comportamiento histórico del consumo energético. Si bien la **Norma ISO 50001** proporciona una metodología sólida para identificar oportunidades de mejora mediante indicadores, líneas base y auditorías energéticas, el desarrollo de nuevas tecnologías permite incorporar capacidades predictivas que fortalecen significativamente el proceso de toma de decisiones. Entre estas tecnologías destacan la **simulación predictiva** y la **inteligencia artificial (IA)**, cuya integración

representa uno de los mayores avances para la gestión energética en el contexto de la Industria 4.0 y la Industria 5.0.

La simulación predictiva consiste en la utilización de modelos matemáticos y computacionales capaces de representar el comportamiento futuro de un sistema mediante el análisis de datos históricos, variables operativas y condiciones de funcionamiento en tiempo real. A diferencia de los métodos tradicionales, que describen acontecimientos ya ocurridos, la simulación predictiva permite estimar el efecto que determinadas decisiones tendrán sobre el desempeño energético antes de que sean implementadas físicamente.

En el ámbito industrial, esta capacidad resulta especialmente valiosa debido a la complejidad de los procesos productivos. Una modificación en la distribución de cargas, el reemplazo de un motor, la incorporación de nuevos equipos o el cambio en la programación de la producción puede alterar significativamente el comportamiento energético de toda la planta. Mediante modelos predictivos es posible analizar estas alternativas virtualmente, reduciendo la incertidumbre y minimizando los riesgos asociados a la implementación de cambios sobre procesos reales.

La simulación predictiva constituye una evolución natural de la planificación energética establecida por la **ISO 50001**. Tradicionalmente, la planificación se fundamenta en el análisis de información histórica y en la experiencia de los responsables del Sistema de Gestión de la Energía. Aunque este enfoque ha demostrado ser eficaz, presenta limitaciones cuando la organización enfrenta escenarios complejos donde múltiples variables interactúan simultáneamente.

Los modelos predictivos permiten incorporar estas variables dentro de un mismo entorno de análisis. Factores como el nivel de producción, la demanda del mercado, las condiciones climáticas, el estado de los equipos, la disponibilidad de energía y los horarios de operación pueden analizarse simultáneamente para estimar el comportamiento futuro del consumo energético bajo diferentes escenarios.

Esta capacidad transforma la naturaleza del proceso de planificación. Mientras los modelos convencionales responden principalmente a la pregunta **¿qué ocurrió?**, la simulación predictiva responde además a interrogantes como:

- ¿Qué ocurrirá si aumenta la producción?
- ¿Cómo cambiará el consumo energético al incorporar un nuevo equipo?
- ¿Cuál será el efecto de redistribuir las cargas entre los transformadores?
- ¿Qué estrategia permitirá obtener el mayor ahorro energético?
- ¿Cuál es el momento óptimo para ejecutar determinadas acciones de mantenimiento?

Responder estas preguntas antes de intervenir físicamente el sistema representa una ventaja significativa para la gestión energética.

Sin embargo, la simulación predictiva requiere una gran capacidad para procesar información proveniente de múltiples fuentes. Es precisamente en este punto donde la **inteligencia artificial** adquiere un papel determinante.

La inteligencia artificial puede definirse como el conjunto de técnicas computacionales capaces de reproducir procesos asociados al razonamiento humano mediante algoritmos que aprenden a partir de la información disponible. En el ámbito de la gestión energética, la IA permite analizar grandes volúmenes de datos, identificar relaciones complejas entre variables, detectar patrones de comportamiento y generar recomendaciones orientadas a optimizar el desempeño energético.

A diferencia de los sistemas tradicionales de supervisión, que presentan información para ser interpretada por especialistas, los sistemas basados en inteligencia artificial poseen la capacidad de aprender continuamente del comportamiento del proceso y mejorar progresivamente la calidad de sus predicciones.

Uno de los principales componentes de la inteligencia artificial aplicada a la energía corresponde al **aprendizaje automático (Machine Learning)**. Estos algoritmos identifican relaciones entre variables operativas y consumo energético sin necesidad de que dichas relaciones sean programadas explícitamente por el usuario.

Por ejemplo, un algoritmo puede aprender que determinadas combinaciones entre producción, temperatura ambiente y carga de motores incrementan significativamente el consumo específico de energía. A partir de esta información, el sistema puede anticipar

situaciones similares y recomendar ajustes operativos destinados a minimizar las pérdidas energéticas.

Una evolución aún más avanzada corresponde al **aprendizaje profundo (Deep Learning)**, donde redes neuronales artificiales analizan simultáneamente miles de variables para reconocer patrones extremadamente complejos. Estas técnicas resultan especialmente útiles en instalaciones industriales de gran tamaño, donde la cantidad de información generada supera ampliamente la capacidad de análisis humano.

La incorporación de inteligencia artificial dentro del Sistema de Gestión de la Energía permite desarrollar diversas funciones estratégicas.

La primera corresponde a la **predicción del consumo energético**.

A partir del análisis de información histórica y variables operativas, los algoritmos pueden estimar con elevada precisión el comportamiento futuro del consumo eléctrico bajo diferentes condiciones de operación.

Esta capacidad permite planificar la producción considerando criterios energéticos, optimizar la contratación de potencia y reducir la incertidumbre asociada a la demanda futura.

Una segunda aplicación corresponde a la **detección automática de anomalías**.

Los algoritmos pueden identificar comportamientos energéticos anómalos que difícilmente serían detectados mediante el análisis convencional de indicadores. Incrementos inesperados del consumo, pérdidas de eficiencia, sobrecargas o alteraciones en la calidad de energía pueden ser reconocidos automáticamente incluso antes de que produzcan efectos visibles sobre la operación del sistema.

Una tercera aplicación consiste en el **mantenimiento predictivo**.

La inteligencia artificial puede analizar continuamente variables como corriente, temperatura, vibraciones, armónicos o carga de motores para estimar la probabilidad de falla de determinados equipos. Esto permite programar intervenciones antes de que ocurran

averías, reduciendo simultáneamente el consumo energético y mejorando la disponibilidad operacional de la planta.

Otro aporte importante corresponde a la **optimización automática de procesos**.

Mientras los sistemas tradicionales requieren que un especialista interprete la información y posteriormente determine las acciones correctivas, la inteligencia artificial puede analizar simultáneamente múltiples alternativas operativas y recomendar aquella que produzca el mayor beneficio energético con el menor impacto sobre la producción.

Este enfoque constituye la base de los sistemas **prescriptivos**, capaces no solo de describir el comportamiento del sistema o predecir eventos futuros, sino también de sugerir decisiones concretas orientadas a optimizar el desempeño energético.

La combinación entre simulación predictiva e inteligencia artificial adquiere su máximo potencial cuando ambas tecnologías se integran con un **gemelo digital**.

El gemelo digital proporciona la representación virtual del proceso físico; la simulación predictiva permite evaluar escenarios futuros; y la inteligencia artificial interpreta continuamente los resultados para seleccionar automáticamente las mejores alternativas de operación.

Esta integración fortalece cada una de las etapas del ciclo **PHVA**.

Durante la **Planificación**, la inteligencia artificial analiza múltiples escenarios y propone los objetivos energéticos más adecuados.

En la etapa de **Implementación**, los algoritmos pueden ajustar dinámicamente determinados parámetros operativos conforme cambian las condiciones del proceso.

Durante la **Verificación**, el sistema monitorea continuamente los indicadores energéticos y detecta desviaciones prácticamente en tiempo real.

Finalmente, en la fase de **Actuación**, la inteligencia artificial genera recomendaciones prescriptivas orientadas a restablecer las condiciones óptimas de funcionamiento antes de que las pérdidas energéticas afecten significativamente el desempeño del sistema.

Si se analiza el caso desarrollado en la **empresa Ladrillera Sagitario**, resulta evidente el potencial de estas tecnologías.

Durante la investigación fue necesario recopilar información histórica, construir la línea base, calcular manualmente los indicadores energéticos y comparar posteriormente los resultados del Pre-Test y del Post-Test para evaluar el efecto de las acciones implementadas. Asimismo, la identificación de problemas relacionados con sobrecargas, energía reactiva y distorsión armónica requirió campañas específicas de medición mediante analizadores de redes.

Un sistema basado en simulación predictiva e inteligencia artificial habría permitido analizar continuamente el comportamiento energético de la planta, estimar el efecto de diferentes configuraciones operativas y recomendar automáticamente las mejores alternativas para reducir el consumo eléctrico antes de implementar físicamente cualquier modificación sobre el sistema.

En consecuencia, la inteligencia artificial no reemplaza el conocimiento del especialista ni los principios establecidos por la **ISO 50001**. Su verdadero aporte consiste en fortalecer la capacidad analítica del Sistema de Gestión de la Energía, proporcionando herramientas que incrementan la velocidad, precisión y calidad del proceso de toma de decisiones.

La integración entre **ISO 50001**, **gemelos digitales**, **simulación predictiva** e **inteligencia artificial** constituye el fundamento tecnológico sobre el cual se desarrollará el siguiente apartado. En él se presentará la evolución del ciclo tradicional **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar** hacia un **PHVA Inteligente**, donde cada una de sus etapas será fortalecida mediante tecnologías digitales capaces de transformar la gestión energética en un proceso predictivo, autónomo y permanentemente optimizado.

4.4 EL CICLO PHVA INTELIGENTE

Desde su incorporación en la Norma ISO 50001, el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)** ha demostrado ser una metodología eficaz para estructurar la mejora continua del desempeño energético. Su aplicación ha permitido que miles de organizaciones desarrollen Sistemas de Gestión de la Energía capaces de reducir el consumo,

optimizar procesos y fortalecer la toma de decisiones mediante un enfoque sistemático basado en la planificación, la ejecución, la evaluación y la retroalimentación permanente.

No obstante, la transformación digital está modificando profundamente la forma en que cada una de estas etapas puede desarrollarse. La disponibilidad de sensores inteligentes, Internet Industrial de las Cosas (IIoT), gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial permite que el ciclo PHVA evolucione desde un modelo predominantemente reactivo hacia un sistema inteligente, dinámico y predictivo.

Esta evolución no implica sustituir el ciclo PHVA propuesto por la ISO 50001. Por el contrario, consiste en fortalecer cada una de sus etapas mediante tecnologías digitales capaces de incrementar la velocidad de respuesta, mejorar la calidad de las decisiones y reducir significativamente la incertidumbre asociada a la gestión energética.

En el modelo tradicional, la planificación se basa principalmente en el análisis de información histórica; la implementación ejecuta acciones previamente definidas; la verificación analiza periódicamente los resultados obtenidos; y la actuación incorpora acciones correctivas una vez identificadas las desviaciones. Aunque este procedimiento ha demostrado ser altamente efectivo, continúa dependiendo de procesos secuenciales donde gran parte de las decisiones se adoptan después de que las variaciones energéticas ya han ocurrido.

El **PHVA Inteligente** conserva exactamente la misma estructura metodológica, pero incorpora herramientas digitales que permiten transformar cada etapa en un proceso continuo, conectado y apoyado por inteligencia artificial.

4.4.1 Planificar mediante simulación predictiva

La planificación constituye la etapa donde la transformación digital genera uno de los mayores aportes.

Tradicionalmente, la planificación energética utiliza información histórica para construir la línea base, establecer indicadores y formular objetivos energéticos. Este procedimiento proporciona un conocimiento adecuado del comportamiento pasado del sistema; sin embargo, posee limitaciones cuando la organización necesita evaluar escenarios futuros o analizar simultáneamente múltiples variables de operación.

La incorporación de **gemelos digitales** y **modelos de simulación predictiva** modifica completamente este enfoque.

Antes de implementar cualquier acción sobre la planta, el gemelo digital permite construir múltiples escenarios virtuales donde pueden evaluarse alternativas relacionadas con:

- Incremento de la producción.
- Redistribución de cargas.
- Sustitución de equipos.
- Cambios tecnológicos.
- Variaciones de la demanda.
- Nuevos horarios de operación.
- Estrategias de mantenimiento.

Cada escenario puede analizarse considerando simultáneamente variables técnicas, económicas y energéticas.

La inteligencia artificial procesa esta información y determina cuál de las alternativas ofrece el mejor desempeño energético antes de intervenir físicamente el sistema.

En consecuencia, la planificación deja de fundamentarse exclusivamente en la experiencia del especialista y pasa a apoyarse en modelos capaces de simular el comportamiento futuro del proceso con elevados niveles de precisión.

4.4.2 Hacer mediante sincronización físico-digital

En el modelo convencional del PHVA, la etapa de implementación consiste en ejecutar las acciones previamente definidas durante la planificación.

En el **PHVA Inteligente**, esta fase evoluciona hacia un proceso de sincronización permanente entre el sistema físico y su representación digital.

Cada modificación realizada sobre la planta es registrada automáticamente por el gemelo digital mediante información proveniente de sensores inteligentes y plataformas IIoT.

Esto permite que el modelo virtual permanezca permanentemente actualizado y reproduzca con precisión el estado operativo del sistema físico.

Adicionalmente, determinados parámetros operativos pueden ajustarse automáticamente mediante algoritmos de optimización.

Por ejemplo:

- Redistribución dinámica de cargas.
- Ajuste automático de parámetros eléctricos.
- Optimización de horarios de operación.
- Regulación inteligente de motores.
- Optimización de sistemas auxiliares.

La implementación deja así de depender exclusivamente de intervenciones manuales para convertirse en un proceso adaptativo capaz de responder continuamente a las condiciones reales de operación.

4.4.3 Verificar mediante monitoreo inteligente

La etapa de verificación experimenta probablemente la mayor transformación dentro del PHVA Inteligente.

En el modelo tradicional, la organización verifica el desempeño energético mediante auditorías, revisiones periódicas e indicadores calculados semanal o mensualmente.

Aunque este procedimiento resulta adecuado para evaluar tendencias generales, presenta una limitación evidente: las desviaciones son identificadas cuando ya se han producido.

Con la incorporación de sensores inteligentes, plataformas SCADA, IIoT y gemelos digitales, la verificación se desarrolla prácticamente en tiempo real.

Los indicadores energéticos dejan de calcularse únicamente al finalizar un periodo de operación y pasan a actualizarse continuamente conforme evoluciona el proceso productivo.

La inteligencia artificial compara permanentemente estos indicadores con la línea base energética y con los escenarios simulados por el gemelo digital.

Cuando detecta comportamientos anómalos, genera alertas automáticas que permiten intervenir antes de que las pérdidas energéticas afecten significativamente el desempeño del sistema.

Este enfoque reduce considerablemente el tiempo transcurrido entre la aparición de una desviación y la adopción de medidas correctivas.

4.4.4 Actuar mediante inteligencia prescriptiva

La última etapa del ciclo PHVA corresponde a la actuación.

Tradicionalmente, esta fase consiste en analizar los resultados obtenidos durante la verificación, identificar las causas de las desviaciones e implementar acciones correctivas para iniciar un nuevo ciclo de mejora.

En el **PHVA Inteligente**, la actuación evoluciona hacia un modelo **prescriptivo**.

La inteligencia artificial no solo identifica las desviaciones, sino que analiza múltiples alternativas de solución y recomienda automáticamente aquellas que ofrecen el mayor beneficio energético considerando restricciones técnicas, económicas y operativas.

Por ejemplo, el sistema puede recomendar:

- Redistribuir automáticamente determinadas cargas eléctricas.
- Reprogramar horarios de producción.
- Modificar parámetros de operación.
- Ejecutar mantenimiento predictivo sobre equipos específicos.
- Ajustar el funcionamiento de bancos de condensadores.
- Reemplazar determinados equipos cuando su comportamiento energético deja de ser eficiente.

Estas recomendaciones se fundamentan en modelos predictivos construidos a partir del comportamiento histórico del sistema y continuamente actualizados mediante el gemelo digital.

La decisión final continúa correspondiendo al responsable del Sistema de Gestión de la Energía; sin embargo, dispone ahora de información mucho más completa y precisa para respaldar sus decisiones.

Del PHVA convencional al PHVA Inteligente

La evolución propuesta no modifica la estructura conceptual del ciclo PHVA establecida por la ISO 50001.

Por el contrario, fortalece cada una de sus etapas mediante tecnologías digitales que amplían considerablemente las capacidades del Sistema de Gestión de la Energía.

Mientras el modelo tradicional se caracteriza por:

- Planificación basada en información histórica.
- Implementación manual.
- Verificación periódica.
- Acciones correctivas posteriores.

El **PHVA Inteligente** incorpora:

- Planificación basada en simulación predictiva.
- Implementación sincronizada con el gemelo digital.
- Verificación continua mediante monitoreo inteligente.
- Actuación prescriptiva apoyada por inteligencia artificial.

Esta evolución representa un cambio profundo en la filosofía de la gestión energética.

La organización deja de reaccionar frente a los problemas energéticos para comenzar a anticiparlos.

Aplicación al caso de Ladrillera Sagitario

Si el modelo desarrollado en la empresa **Ladrillera Sagitario** hubiera incorporado un PHVA Inteligente, muchas de las actividades realizadas manualmente durante la investigación habrían podido desarrollarse de manera automatizada.

La construcción de la línea base, el monitoreo de los tres transformadores, la identificación de sobrecargas, el análisis del comportamiento energético y la evaluación del efecto producido por las diferentes acciones de mejora podrían haberse realizado continuamente mediante un gemelo digital conectado al sistema eléctrico de la planta.

Asimismo, la inteligencia artificial habría permitido simular diferentes estrategias de balance de cargas, evaluar automáticamente el impacto energético de la incorporación del arrancador electrónico suave y recomendar la configuración óptima antes de ejecutar físicamente las modificaciones sobre la instalación.

Aunque la investigación demostró que la implementación convencional de la ISO 50001 permitió reducir significativamente el consumo energético, la integración de estas tecnologías habría incrementado la capacidad del sistema para detectar oportunidades de mejora, reducir tiempos de respuesta y optimizar continuamente el desempeño energético.

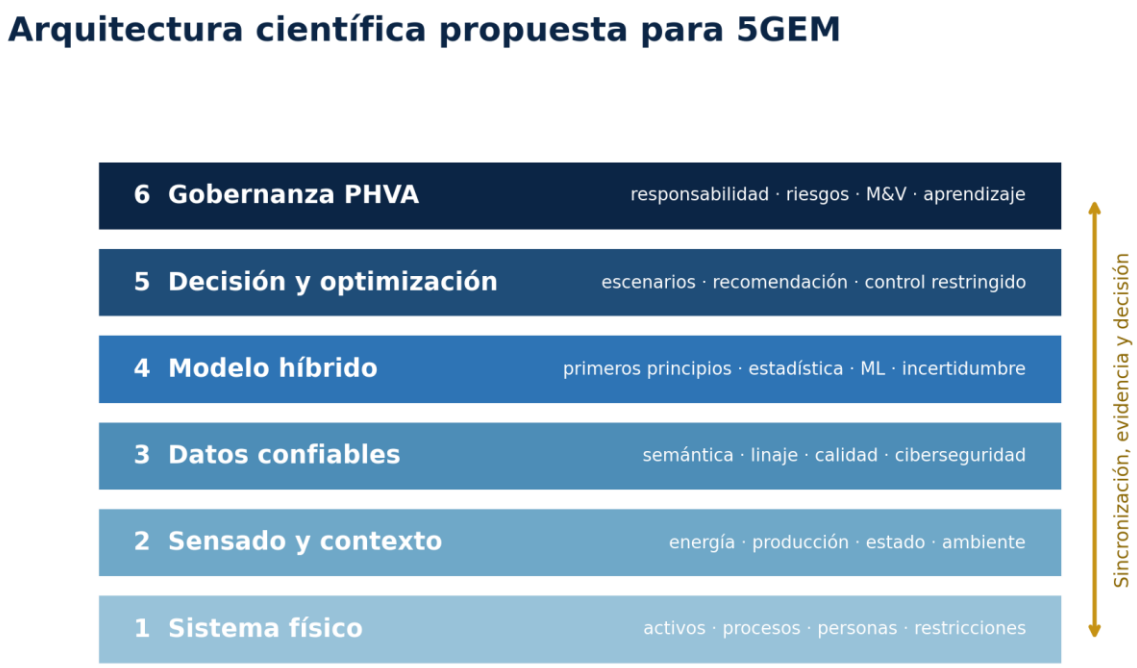
En consecuencia, el **PHVA Inteligente** constituye la evolución natural del modelo tradicional propuesto por la ISO 50001. No reemplaza sus principios metodológicos, sino que incorpora capacidades digitales que permiten transformar la mejora continua en un proceso dinámico, predictivo y permanentemente optimizado. Sobre esta evolución se fundamenta el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**, desarrollado en el siguiente apartado como la principal contribución científica de la presente obra.

4.5 MODELO DE GESTIÓN ENERGÉTICA DE QUINTA GENERACIÓN (5GEM)

5GEM se presenta como una contribución integradora de autor, no como una “quinta generación” universalmente reconocida. Su novedad defendible no reside en inventar ISO 50001, el gemelo digital o la IA; reside en conectar esos dominios mediante una cadena de evidencia y derechos de decisión que pueda auditarse.

Estado del arte	Brecha recurrente	Aporte específico de 5GEM
ISO 50001 / familia 50000	Gobernanza sólida, menor especificidad tecnológica.	Mapeo operativo PHVA–dato–modelo–decisión–M&V.
ISO 23247 / gemelos	Arquitectura digital, sin método energético completo.	EnPI, línea base, ahorro ajustado e incertidumbre como objetos del gemelo.
Analítica/IA energética	Predicción sin derechos de decisión o control organizacional.	Niveles de autonomía, evidencia, fallback y aprobación.
M&V	Verifica desempeño, pero suele operar después del evento.	M&V continua y detección de deriva dentro de PHVA.
Industry 5.0	Marco humano, sostenible y resiliente.	Seguridad, bienestar, competencia y supervisión humana como criterios de diseño.

Figura 2. Arquitectura científica de seis capas del modelo 5GEM



Fuente: elaboración propia. Propuesta conceptual pendiente de validación externa.

Las seis contribuciones verificables

1. Taxonomía que distingue modelo, sombra, gemelo asesor y gemelo de control.

2. Objeto energético formal: frontera, EnPI, línea base, variables, incertidumbre y reglas de ajuste.
3. Arquitectura de seis capas con linaje desde el activo hasta la decisión.
4. Escala de madurez que vincula capacidad técnica con autoridad operacional.
5. Protocolo VVUQ y M&V para demostrar credibilidad y valor incremental.
6. Gobernanza conjunta de energía, IA, ciberseguridad y factor humano.

Hipótesis científicas del modelo

5GEM debe poder fracasar en una prueba; de lo contrario no es una propuesta científica. Se plantean tres hipótesis para investigación futura:

- H1: una implementación 5GEM reduce el error de decisión energética frente a un SGE sin capacidad predictiva, manteniendo calidad y producción.
- H2: la M&V continua reduce el tiempo de detección de pérdida de ahorro frente a revisiones periódicas.
- H3: la autonomía escalonada con supervisión reduce incidentes y rechazo de usuario frente a automatización sin gobernanza explícita.

Madurez 5GEM

Nivel	Capacidad	Autoridad permitida
M0 Manual	Lecturas y reacción.	Decisión humana sin apoyo estructurado.
M1 Monitoreado	Tablero descriptivo contextual.	Alerta.
M2 Sombra	Modelo actualizado automáticamente.	Pronóstico sin acción.
M3 Gemelo asesor	Modelo validado y escenarios.	Recomendación a persona responsable.
M4 Supervisado	Optimización bajo restricciones.	Ejecución con aprobación.

Nivel	Capacidad	Autoridad permitida
M5 Cerrado restringido	Control automático validado.	Acción dentro de envolvente, con fallback y auditoría.

La evolución tecnológica que caracteriza a la Industria 4.0 y la Industria 5.0 plantea la necesidad de replantear la forma en que las organizaciones gestionan la energía. A lo largo de esta obra se ha demostrado que la implementación de la **Norma ISO 50001**, sustentada en el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, constituye una metodología eficaz para mejorar el desempeño energético y reducir el consumo eléctrico. No obstante, también se ha evidenciado que los Sistemas de Gestión de la Energía tradicionales continúan dependiendo, en gran medida, del análisis periódico de información histórica y de la intervención humana para interpretar los resultados y definir las acciones correctivas.

El caso de estudio desarrollado en la empresa **Ladrillera Sagitario** confirma esta realidad. La organización logró mejorar significativamente su desempeño energético mediante la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, alcanzando una reducción importante del consumo eléctrico y fortaleciendo la cultura institucional relacionada con el uso eficiente de la energía. Sin embargo, el proceso de diagnóstico, seguimiento, evaluación y toma de decisiones continuó desarrollándose de manera secuencial y reactiva, dependiendo del análisis posterior de la información recopilada durante el funcionamiento de la planta.

Esta situación plantea una oportunidad de evolución. La disponibilidad de tecnologías como los **gemelos digitales**, el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, la **simulación predictiva**, el **Big Data** y la **inteligencia artificial** permite fortalecer considerablemente los principios establecidos por la ISO 50001 sin modificar su estructura metodológica. Sobre esta premisa se propone el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**, concebido como una evolución del Sistema de Gestión de la Energía hacia un modelo inteligente, predictivo y adaptativo.

El **Modelo 5GEM (Fifth Generation Energy Management)** se define como un sistema de gestión energética que integra los principios metodológicos de la **ISO 50001** con tecnologías digitales avanzadas para optimizar continuamente el desempeño energético mediante simulación, monitoreo inteligente y toma de decisiones asistida por inteligencia artificial.

A diferencia de los modelos convencionales, el 5GEM no espera que ocurran desviaciones para posteriormente corregirlas. Su propósito consiste en anticipar el comportamiento energético del sistema, evaluar múltiples escenarios antes de intervenir el proceso productivo y recomendar automáticamente las alternativas que permitan alcanzar el mayor nivel de eficiencia.

El modelo propuesto se fundamenta en cinco componentes estratégicos que interactúan de manera permanente.

El primer componente corresponde al **Sistema de Gestión de la Energía basado en la ISO 50001**, el cual proporciona la estructura metodológica para la planificación, implementación, seguimiento y mejora continua del desempeño energético. La norma continúa siendo el eje organizador del sistema y establece los principios sobre los cuales se desarrolla la gestión energética.

El segundo componente está constituido por la **infraestructura digital**, integrada por sensores inteligentes, analizadores de redes, dispositivos IIoT, sistemas SCADA y plataformas de adquisición de datos encargadas de capturar continuamente información relacionada con el comportamiento energético del sistema físico.

El tercer componente corresponde al **gemelo digital**, encargado de construir una representación virtual permanentemente sincronizada con la realidad operacional. Este modelo reproduce el comportamiento energético de los procesos industriales y permite evaluar virtualmente diferentes escenarios antes de ejecutar modificaciones sobre la planta.

El cuarto componente está integrado por los **motores de simulación predictiva e inteligencia artificial**, responsables de procesar la información recibida, identificar patrones de comportamiento, estimar escenarios futuros y recomendar automáticamente acciones orientadas a optimizar el desempeño energético.

Finalmente, el quinto componente corresponde al **PHVA Inteligente**, donde los resultados generados por los sistemas digitales retroalimentan continuamente el proceso de planificación, ejecución, verificación y actuación, fortaleciendo la mejora continua propuesta por la ISO 50001.

La interacción entre estos cinco componentes convierte al 5GEM en un modelo dinámico, capaz de aprender continuamente del comportamiento energético de la organización y adaptar sus recomendaciones conforme evolucionan las condiciones operativas.

Desde el punto de vista metodológico, el funcionamiento del modelo puede describirse mediante una secuencia continua de procesos.

En primer lugar, los sensores distribuidos en la planta recopilan información relacionada con variables eléctricas, mecánicas y productivas, tales como consumo energético, corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, temperatura, vibraciones, velocidad de motores y niveles de producción.

Posteriormente, esta información es transmitida hacia el gemelo digital, donde se actualiza permanentemente la representación virtual del sistema físico.

Sobre esta base, los modelos de simulación generan diferentes escenarios de operación considerando cambios en la producción, redistribución de cargas, incorporación de nuevos equipos, estrategias de mantenimiento y modificaciones en las condiciones operativas.

La inteligencia artificial analiza simultáneamente estos escenarios utilizando algoritmos de aprendizaje automático capaces de identificar la alternativa que ofrece el mayor beneficio energético con el menor impacto económico y operacional.

Finalmente, las recomendaciones generadas por el sistema son presentadas a los responsables del Sistema de Gestión de la Energía o, cuando las condiciones operativas lo permiten, implementadas automáticamente mediante sistemas inteligentes de control.

Uno de los principales aportes del Modelo 5GEM consiste en transformar la naturaleza de la mejora continua.

Mientras el Sistema de Gestión de la Energía tradicional desarrolla una mejora continua **reactiva**, donde las acciones correctivas son implementadas después de identificar una desviación, el Modelo 5GEM propone una **mejora continua predictiva**, capaz de anticipar escenarios futuros y actuar antes de que las pérdidas energéticas se materialicen.

Este cambio modifica profundamente la filosofía de la gestión energética.

La planificación deja de depender exclusivamente del análisis histórico y se apoya en simulaciones dinámicas.

La implementación incorpora ajustes automáticos sobre parámetros operativos.

La verificación evoluciona hacia un monitoreo permanente del comportamiento energético.

La actuación se fortalece mediante inteligencia prescriptiva capaz de recomendar continuamente nuevas estrategias de optimización.

En consecuencia, el ciclo PHVA mantiene plenamente su vigencia, pero adquiere capacidades que anteriormente no estaban disponibles.

El caso desarrollado en la empresa **Ladrillera Sagitario** permite comprender claramente el potencial de este modelo.

Durante la investigación fue necesario desarrollar campañas específicas de medición, construir manualmente la línea base energética, analizar el comportamiento de los tres transformadores principales y comparar posteriormente los resultados del Pre-Test y el Post-Test para evaluar el efecto producido por las acciones implementadas. Todo este proceso requirió una importante inversión de tiempo y dependió del análisis realizado por especialistas.

En un entorno basado en el Modelo 5GEM, estas actividades podrían desarrollarse de forma prácticamente automática. El gemelo digital mantendría permanentemente actualizada la representación virtual de la planta, mientras que la inteligencia artificial analizaría continuamente el comportamiento energético de los transformadores, simularía diferentes configuraciones de carga y recomendaría las acciones de mayor impacto antes de que las pérdidas energéticas afectaran el desempeño del proceso.

Esto no significa que el sistema sustituya al especialista en gestión energética. Por el contrario, el modelo fortalece su capacidad para tomar decisiones, proporcionando

información de mayor calidad y reduciendo significativamente el tiempo requerido para analizar escenarios complejos.

Desde una perspectiva científica, el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)** constituye la principal contribución de esta obra. Mientras la evidencia presentada en el caso de estudio demuestra la eficacia de la **ISO 50001** para mejorar el desempeño energético, el modelo propuesto plantea una evolución metodológica que integra los principios de la norma con las tecnologías emergentes de la Industria 4.0 y la Industria 5.0.

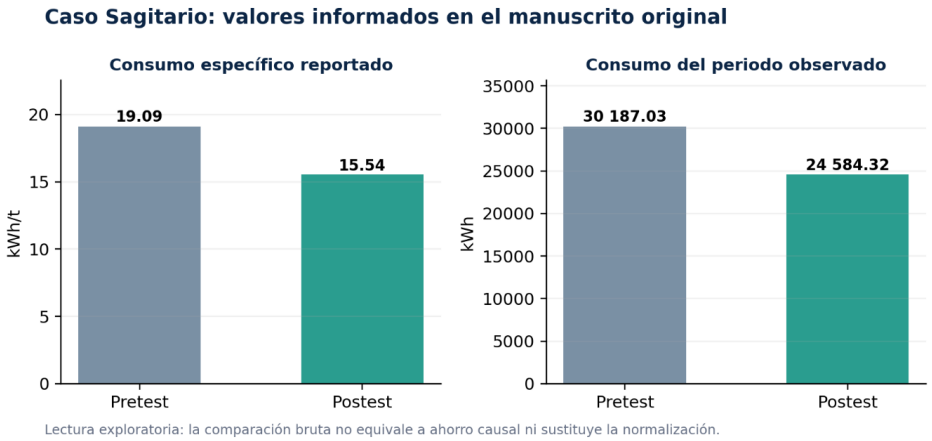
Debe señalarse, sin embargo, que el **5GEM** constituye una **propuesta conceptual** sustentada en los fundamentos científicos desarrollados a lo largo de esta investigación y en el potencial demostrado por las tecnologías digitales actualmente disponibles. Su aplicación práctica representa una línea de investigación futura que requerirá validaciones experimentales en diferentes sectores industriales para cuantificar objetivamente el incremento del desempeño energético alcanzado mediante la incorporación de gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial.

En este sentido, el Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación no pretende sustituir la **ISO 50001**, sino proyectar su evolución hacia un nuevo paradigma de gestión energética inteligente, donde la mejora continua deja de ser únicamente un proceso metodológico para convertirse en un sistema adaptativo, predictivo y permanentemente optimizado. Se propone, por tanto, un marco conceptual que integra la solidez normativa de la ISO 50001 con las capacidades tecnológicas de la transformación digital, ofreciendo una base para el desarrollo de futuras investigaciones y para la implementación de una nueva generación de Sistemas de Gestión de la Energía orientados a los desafíos de la industria del siglo XXI.

Caso Ladrillera Industrial: de resultado reportado a evidencia verificable

El caso corresponde a Cía. Minera e Industrial Sagitario S.A., planta de ladrillos de arcilla en Lima. El manuscrito informa tres transformadores de 500, 600 y 1 000 kVA, suministro de 10 kV, potencia contratada de 1 500 kW y motores de hasta 400 HP. Se implementaron acciones organizacionales y técnicas: sistema de gestión, balance de cargas, bancos de condensadores y arrancador suave.

Figura 3. Comparación pretest–postest informada por el caso



Fuente: elaboración propia con cifras del manuscrito original. No constituye ahorro normalizado.

Hallazgo reportado, no reestimado. El manuscrito informa 19,09 a 15,54 kWh/t (−18,59 %), 30 187,03 a 24 584,32 kWh en el periodo observado, inversión de S/50 500, beneficio/costo 4,29 y TIR de 35 %. Sin base de datos y supuestos financieros no es posible auditar esos valores ni calcular IC95 %.

Contexto, intervención y datos disponibles

Caso de estudio: Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en la Industria Ladrillera

Los fundamentos conceptuales y metodológicos desarrollados en los capítulos anteriores permiten comprender la importancia de la gestión de la eficiencia energética y el papel que desempeña la Norma ISO 50001 como herramienta para mejorar el desempeño energético de las organizaciones. Sin embargo, el verdadero valor de estos principios solo puede demostrarse cuando son aplicados en escenarios reales, donde las condiciones operativas, las restricciones técnicas y las exigencias productivas permiten observar el desempeño del Sistema de Gestión de la Energía.

El presente capítulo expone el caso de estudio correspondiente a la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en la Industrial ladrillera., empresa dedicada a la fabricación de ladrillos de arcilla para el sector de la construcción. La organización presentaba un elevado consumo de energía eléctrica asociado a sus procesos productivos,

acompañado por deficiencias en el monitoreo energético, ausencia de indicadores de desempeño, problemas relacionados con la distribución de cargas, presencia de energía reactiva y distorsión armónica, factores que afectaban directamente la eficiencia operativa y los costos de producción.

Frente a esta problemática, se diseñó e implementó un Sistema de Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001, utilizando como eje metodológico el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA). La intervención comprendió el desarrollo de una revisión energética, la construcción de la línea base, la definición de indicadores de desempeño energético, la formulación de planes de acción y la ejecución de diversas mejoras técnicas y organizacionales orientadas a optimizar el consumo eléctrico del proceso productivo.

A diferencia de una tesis de investigación, cuyo propósito principal consiste en demostrar una hipótesis, este capítulo presenta el caso de estudio desde una perspectiva aplicada, resaltando la forma en que los principios desarrollados en el Sistema de Gestión de la Energía pueden trasladarse a una realidad industrial para generar resultados medibles y verificables. En este sentido, el interés no se centra únicamente en los valores obtenidos, sino en el proceso metodológico seguido para identificar la problemática, diseñar las acciones de mejora y evaluar objetivamente el desempeño energético antes y después de la implementación.

El desarrollo del caso permite apreciar la interacción entre los componentes fundamentales del Sistema de Gestión de la Energía: la revisión energética, la identificación de los usos significativos de energía, el establecimiento de indicadores, la aplicación del ciclo PHVA y la evaluación permanente del desempeño. Asimismo, evidencia la importancia de integrar aspectos técnicos, organizacionales y económicos dentro de una misma estrategia de gestión, lo que sugiere que la eficiencia energética constituye un proceso multidisciplinario que involucra a toda la organización.

El manuscrito original reportó mejoras posteriores a la implementación en el desempeño energético del proceso productivo, reflejadas en la reducción del consumo específico de energía, la disminución del consumo eléctrico total y la obtención de beneficios económicos derivados de la optimización de los recursos energéticos. Estos resultados

fueron acompañados por indicadores técnicos, análisis económicos y pruebas estadísticas; deben considerarse exploratorios hasta completar la normalización, la incertidumbre y la validación longitudinal.

Este caso de estudio representa el fundamento empírico de la presente obra. Sobre la base de esta experiencia práctica se desarrollará posteriormente una propuesta prospectiva orientada a la evolución de los Sistemas de Gestión de la Energía hacia modelos inteligentes sustentados en gemelos digitales, simulación predictiva e inteligencia artificial. En consecuencia, el análisis desarrollado en este capítulo documenta la aplicabilidad de la ISO 50001 en un entorno industrial real, sino que constituye el punto de partida para reflexionar sobre las oportunidades que ofrecen las tecnologías digitales para fortalecer la gestión energética en el contexto de la Industria 4.0 y la futura Industria 5.0.

CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía requiere comprender las características particulares de la organización donde será aplicado. Cada empresa posee procesos productivos, tecnologías, niveles de consumo y condiciones operativas que determinan su comportamiento energético. Por ello, antes de desarrollar cualquier estrategia de optimización resulta indispensable analizar el contexto organizacional, identificar las principales fuentes de consumo de energía y conocer las condiciones técnicas bajo las cuales opera el sistema productivo.

El presente caso de estudio se desarrolló en la industria ladrillera, empresa dicada a la fabricación y comercialización de ladrillos de arcilla para el sector de la construcción. a lo largo de su proceso de crecimiento, incorporó tecnologías de automatización industrial que le permitieron modernizar progresivamente sus procesos de producción. Actualmente, la empresa desarrolla sus actividades mediante líneas de producción altamente mecanizadas, empleando sistemas automatizados para el secado y cocción de ladrillos, lo que le ha permitido consolidarse como una de las principales empresas del sector ladrillero en el país.

La planta industrial desarrolla como actividad principal la fabricación de ladrillos de diferentes características para aplicaciones estructurales y de construcción. Entre sus principales productos se encuentran ladrillos para techo, ladrillos huecos, bovedillas, tejas y otros derivados cerámicos destinados al mercado nacional. La empresa distribuye

aproximadamente el treinta por ciento de su producción en Lima Metropolitana y el veinte por ciento en diversas regiones del país, manteniendo una importante participación dentro del mercado peruano de materiales de construcción.

Desde el punto de vista organizacional, la empresa orienta su gestión hacia la mejora continua de sus procesos productivos con el propósito de incrementar la productividad y reducir los costos de operación, manteniendo los estándares de calidad que caracterizan a sus productos. Su visión institucional plantea consolidarse como una empresa líder en la fabricación de ladrillos de arcilla, fortaleciendo permanentemente su competitividad mediante la innovación tecnológica y el mejoramiento de sus procesos industriales. Estos principios se complementan con valores relacionados con el compromiso ambiental, la responsabilidad, el trabajo en equipo y el desarrollo sostenible, aspectos que resultan coherentes con la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

Uno de los aspectos más relevantes del contexto organizacional corresponde a la naturaleza intensiva del proceso productivo. La fabricación de ladrillos requiere una importante demanda de energía eléctrica para alimentar motores, sistemas de trituración, mezclado, prensado, transporte interno, ventilación, secado y automatización industrial. En consecuencia, la energía constituye uno de los recursos estratégicos para la operación de la empresa y representa un componente significativo dentro de sus costos de producción.

Las operaciones se encuentran automatizadas y son supervisadas mediante un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), encargado de monitorear las principales variables del proceso productivo. La producción se organiza en dos líneas principales que realizan las operaciones de molienda, zarandeo, mezclado, laminado, prensado, corte, secado y cocción del material cerámico. Estas líneas reciben el suministro eléctrico a través de tres transformadores de distribución con capacidades nominales de 500 kVA, 600 kVA y 1 000 kVA, encargados de abastecer de energía a las diferentes áreas de la planta.

El proceso productivo inicia con la preparación de la materia prima, donde la tierra y el caolín son sometidos a operaciones de molienda y zarandeo para eliminar partículas de gran tamaño. Posteriormente, ambos materiales son mezclados y laminados hasta obtener la plasticidad requerida para el proceso de extrusión. La mezcla ingresa luego a una prensa

extrusora de alta potencia, donde adquiere la forma definitiva del ladrillo antes de pasar por las etapas de corte, secado y cocción. Finalmente, los productos terminados son sometidos a controles de calidad y preparados para su despacho. Todo este proceso depende de un conjunto de motores eléctricos, ventiladores, bombas, sistemas hidráulicos y equipos automatizados cuyo desempeño energético influye directamente sobre la eficiencia global de la organización.

Desde la perspectiva energética, la empresa contrata el suministro eléctrico en media tensión de 10 kV, con una potencia contratada de 1 500 kW, distribuida posteriormente hacia las distintas áreas de producción mediante los tres transformadores principales. Esta infraestructura permite alimentar motores de elevada potencia, algunos superiores a los 400 HP, así como sistemas de ventilación, transporte de materiales y automatización industrial. La magnitud de estas cargas convierte a la gestión de la energía en un elemento determinante para la competitividad de la empresa.

El análisis preliminar realizado durante la investigación evidenció que la organización enfrentaba diversos problemas relacionados con el comportamiento energético de sus procesos. Entre los principales se identificaron un elevado consumo de energía eléctrica reflejado en la facturación mensual, ausencia de indicadores de desempeño energético, insuficiente monitoreo del consumo, bajo control del factor de potencia, presencia de distorsión armónica y variaciones significativas en el consumo específico de energía respecto a la producción obtenida. Estas condiciones dificultaban la identificación de pérdidas energéticas y limitaban la capacidad de la organización para implementar estrategias de mejora sostenibles.

Con el propósito de comprender las causas de esta problemática, la investigación desarrolló un análisis utilizando herramientas de ingeniería como el diagrama de Ishikawa, la matriz de correlación de causas, el análisis de Pareto y la estratificación de factores críticos. Los resultados mostraron que las principales oportunidades de mejora no se encontraban únicamente en la infraestructura eléctrica, sino también en aspectos relacionados con la gestión organizacional, la ausencia de indicadores, la insuficiente auditoría energética y el limitado seguimiento del desempeño energético. Estas conclusiones permitieron seleccionar como alternativa de solución la implementación de un Sistema de

Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001 y el ciclo PHVA, orientado a institucionalizar la mejora continua dentro de la empresa.

METODOLOGÍA

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía requiere una metodología que permita analizar rigurosamente el comportamiento energético de la organización, identificar las oportunidades de mejora y evaluar objetivamente los resultados obtenidos después de la intervención. En el presente caso de estudio se empleó una metodología de investigación aplicada, orientada a resolver un problema específico relacionado con el elevado consumo de energía eléctrica en los procesos productivos de la Industria ladrillera

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, debido a que el análisis se sustentó en información numérica obtenida mediante mediciones directas del consumo eléctrico, registros históricos de producción, indicadores energéticos y parámetros eléctricos medidos en campo. La utilización de datos cuantificables permitió comparar objetivamente el comportamiento energético antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, favoreciendo la trazabilidad de los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio correspondió a una investigación de tipo aplicada, ya que tuvo como propósito utilizar los principios establecidos por la Norma ISO 50001 para resolver una problemática real dentro de una organización industrial. A diferencia de una investigación básica, orientada a la generación de conocimiento teórico, la investigación aplicada busca desarrollar soluciones prácticas que puedan implementarse directamente en el entorno donde se presenta el problema. En este caso, el conocimiento científico relacionado con la gestión energética fue utilizado para mejorar el desempeño energético de los procesos productivos de la empresa.

El diseño metodológico correspondió a un diseño cuasi experimental, debido a que permitió comparar el comportamiento de la variable dependiente antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía, sin alterar las condiciones normales de operación de la empresa. Este diseño resulta apropiado cuando las investigaciones se desarrollan en escenarios industriales reales, donde no es posible controlar completamente todas las variables del proceso, pero sí evaluar el efecto de una intervención específica sobre el comportamiento del sistema.

La investigación se desarrolló bajo un nivel explicativo, orientado a identificar la relación existente entre la implementación del Sistema de Gestión de la Energía y la mejora del desempeño energético de la organización. Este enfoque permitió no solo describir el comportamiento del consumo eléctrico, sino también explicar cómo las acciones derivadas de la aplicación de la ISO 50001 influyeron sobre la reducción del consumo específico de energía y el mejoramiento del desempeño energético.

Para el desarrollo del estudio se definieron dos variables principales. La variable independiente correspondió a la Gestión de la Eficiencia Energética basada en la Norma ISO 50001, estructurada a partir del ciclo de mejora continua Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA). Esta variable comprendió actividades relacionadas con la planificación energética, la implementación de acciones de mejora, el seguimiento del desempeño y la adopción de acciones correctivas orientadas a incrementar la eficiencia energética de la organización.

La variable dependiente fue el consumo eléctrico, evaluado mediante indicadores de desempeño energético expresados principalmente en kilovatios-hora por tonelada producida (kWh/Ton), así como mediante el análisis del consumo eléctrico total registrado durante el periodo de evaluación. Esta variable permitió medir objetivamente el efecto producido por la implementación del Sistema de Gestión de la Energía sobre el comportamiento energético del proceso productivo.

La población objeto de estudio estuvo constituida por el consumo eléctrico asociado a los procesos productivos de la empresa, considerando especialmente las etapas correspondientes a la producción de ladrillo crudo, desde la molienda hasta el secado. Se excluyeron los consumos relacionados con el horno de cocción debido a que este operaba bajo condiciones prácticamente constantes durante todo el año y no formaba parte de las acciones de mejora evaluadas en la investigación. La unidad de análisis utilizada fue el consumo eléctrico expresado en kilovatios-hora (kWh).

La muestra estuvo conformada por 32 registros horarios obtenidos durante jornadas normales de producción. Cada registro incluyó información correspondiente al consumo de energía eléctrica de los tres transformadores principales, la producción obtenida durante el mismo periodo y el cálculo del indicador específico de consumo energético. Esta

información permitió comparar objetivamente el desempeño energético antes y después de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

La recopilación de la información se realizó mediante la técnica de la observación directa, complementada con instrumentos de medición especializados. Para registrar el comportamiento energético se utilizaron analizadores de redes instalados temporalmente en los tres transformadores de distribución de la planta, permitiendo medir variables como energía activa, corriente, tensión y otros parámetros eléctricos relevantes para el análisis del desempeño energético. Adicionalmente, se emplearon formatos de registro diseñados específicamente para consolidar la información relacionada con la producción y el consumo energético de cada periodo de medición.

La validez de los instrumentos fue determinada mediante juicio de expertos, quienes evaluaron la pertinencia, claridad y relevancia de las dimensiones e indicadores considerados en la investigación. Asimismo, la trazabilidad de las mediciones se apoyó mediante la utilización de equipos calibrados y del software especializado Data View, el cual permitió registrar automáticamente la información obtenida durante las mediciones, reduciendo la posibilidad de errores asociados al procesamiento manual de los datos.

El procedimiento metodológico inició con el análisis del contexto organizacional y el diagnóstico del comportamiento energético de la empresa. Posteriormente se recopiló el historial de consumo eléctrico correspondiente al periodo julio de 2018 – julio de 2019, información utilizada para construir la línea base energética y establecer los indicadores de desempeño energético. Con base en este diagnóstico se identificaron los principales problemas relacionados con el consumo eléctrico y se formularon las acciones de mejora que posteriormente fueron implementadas mediante el ciclo PHVA.

Una vez implementadas las mejoras, se desarrolló la etapa de evaluación mediante la comparación de los resultados obtenidos durante el Pre-Test y el Post-Test. Para ello se registró nuevamente el comportamiento energético de los tres transformadores principales, se calcularon los indicadores específicos de consumo y se compararon con la línea base establecida al inicio del estudio. Este procedimiento permitió comparar el desempeño observado antes y después; por sí solo no identifica el efecto causal del Sistema de Gestión de la Energía.

Finalmente, los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico inferencial utilizando la prueba no paramétrica de Wilcoxon, con el propósito de contrastar las hipótesis planteadas y determinar si las diferencias observadas entre el Pre-Test y el Post-Test resultaban estadísticamente significativas. Complementariamente, se desarrolló un análisis económico mediante indicadores como la relación beneficio-costo, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo evaluar la viabilidad financiera de la implementación del Sistema de Gestión de la Energía.

La metodología empleada permitió integrar herramientas de ingeniería, procedimientos estadísticos y principios de gestión establecidos por la Norma ISO 50001 dentro de un mismo proceso de intervención. Este enfoque permitió organizar resultados exploratorios sobre el desempeño posterior al Sistema de Gestión de la Energía y proporcionó el sustento científico necesario para las conclusiones derivadas del presente caso de estudio.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La implementación del Sistema de Gestión de la Energía constituyó la fase central del caso de estudio, ya que permitió trasladar los principios establecidos por la Norma ISO 50001 desde el plano conceptual hacia la operación real de la empresa. Esta etapa no se limitó a ejecutar un conjunto de acciones técnicas destinadas a reducir el consumo eléctrico; por el contrario, implicó desarrollar un proceso integral de transformación organizacional orientado a incorporar la gestión energética dentro de la planificación, operación y control permanente de los procesos productivos.

La implementación se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por la Norma ISO 50001, utilizando como eje estructural el ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA). Este enfoque permitió organizar las actividades de manera secuencial, asegurando que cada acción estuviera sustentada en el diagnóstico energético previamente realizado y que los resultados obtenidos fueran posteriormente evaluados mediante indicadores objetivos de desempeño energético (ISO, 2018).

El proceso inició con el establecimiento de las condiciones organizacionales necesarias para el funcionamiento del Sistema de Gestión de la Energía. En primer lugar, se designó un representante de la dirección responsable de coordinar la implementación del

sistema y se conformó un comité energético integrado por representantes de la gerencia general, producción, mantenimiento y el equipo responsable del proyecto. Paralelamente, se formularon las políticas energéticas que orientarían las actividades relacionadas con la gestión del consumo eléctrico dentro de la organización. Estas acciones permitieron institucionalizar la gestión energética como parte de la estrategia empresarial y garantizar el compromiso de la alta dirección durante todo el proceso de implementación.

Superada esta etapa inicial, se desarrolló la fase de planificación energética. Para ello se analizaron los registros históricos de consumo eléctrico y producción correspondientes al periodo julio de 2018 – julio de 2019, estableciendo los indicadores de desempeño energético y construyendo la línea base que posteriormente serviría como referencia para evaluar los resultados de la intervención. Asimismo, se identificaron los principales usos significativos de energía y se determinaron las áreas con mayor potencial de mejora dentro del proceso productivo.

La revisión energética permitió identificar diversas condiciones que afectaban el desempeño energético de la empresa. Entre ellas destacaban el funcionamiento del primer transformador por encima de su capacidad nominal, elevados niveles de potencia reactiva, presencia de distorsión armónica, distribución inadecuada de cargas y ausencia de mecanismos sistemáticos para el monitoreo del consumo energético. Estos hallazgos sirvieron como fundamento para la formulación de las acciones de mejora que posteriormente serían implementadas.

Con base en este diagnóstico se estructuró un programa de intervención compuesto por tres líneas estratégicas de actuación.

La primera línea estuvo orientada a la implementación del Sistema de Gestión de la Energía basado en la Norma ISO 50001. Esta intervención comprendió la institucionalización del ciclo PHVA como metodología permanente de trabajo, la sensibilización del personal respecto a la importancia del uso eficiente de la energía y el establecimiento de procedimientos relacionados con la planificación, seguimiento y evaluación del desempeño energético. Más que incorporar nuevas tecnologías, esta primera acción buscó transformar la manera en que la organización administraba el recurso

energético, promoviendo una cultura de mejora continua sustentada en indicadores y procedimientos claramente definidos.

La segunda línea de intervención estuvo dirigida a optimizar el comportamiento del sistema eléctrico mediante la reducción de los desperdicios energéticos identificados durante la revisión energética. Para ello se planteó la reactivación y automatización de los bancos de condensadores, el balance de cargas eléctricas entre los transformadores y la implementación de medidas orientadas a disminuir la energía reactiva y mejorar el factor de potencia del sistema. Estas acciones permitieron reducir las pérdidas asociadas a sobrecargas y mejorar las condiciones generales de operación de la infraestructura eléctrica.

La tercera intervención correspondió a la incorporación de un arrancador electrónico suave (Soft Starter) para el motor principal de 400 HP. Durante el diagnóstico energético se identificó que el sistema de arranque tradicional generaba elevadas demandas instantáneas de corriente, incrementando innecesariamente el consumo de energía y sometiendo a esfuerzos adicionales tanto al motor como al sistema eléctrico. La sustitución por un arrancador electrónico permitió controlar progresivamente la corriente durante el arranque, reduciendo las pérdidas energéticas y mejorando la confiabilidad operacional del equipo.

INTERPRETACIÓN REVISADA

La prueba de Wilcoxon puede mostrar una diferencia de distribución entre pares, pero no controla producción, mezcla, horas, temperatura, secuencia temporal ni intervenciones simultáneas. Con 32 registros horarios existe riesgo de autocorrelación y pseudorreplicación. La expresión $p = 0{,}000$ debe reemplazarse por $p < 0{,}001$ cuando corresponda. El tamaño del efecto y su intervalo son necesarios.

Protocolo para completar la reestimación

- Integrar consumo, producción, horas, producto, estado de líneas, temperatura, paradas y eventos de mantenimiento.
- Auditar sellos de tiempo, datos faltantes, cambios de medidor y rango de operación.
- Seleccionar periodo base representativo y documentar factores estáticos.

- Ajustar modelos candidatos; evaluar residuales, autocorrelación, error y validación temporal.
- Estimar ahorro ajustado e IC95 %; ejecutar sensibilidad a ajustes no rutinarios.
- Comparar contra una línea/control cuando sea posible y medir persistencia por 6–12 meses.
- Publicar tabla de resultados, diccionario de datos y código reproducible anonimizado.

Resultado que debe reportarse	Valor actual	Valor tras reanálisis
Ahorro energético ajustado	No calculable con el archivo suministrado	kWh e IC95 %
Mejora de EnPI	−18,59 % bruto reportado	% ajustado e IC95 %
Efecto estadístico	Wilcoxon significativo reportado	tamaño de efecto + IC + robustez
Ahorro económico	S/216 806,52/año estimado	tarifa, demanda, penalidades, TCO y sensibilidad
Persistencia	No documentada	6, 12 y 24 meses

HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN Y CASO DE NEGOCIO

La transformación debe avanzar por puertas de evidencia, no por una compra monolítica de tecnología. Cada fase tiene una decisión de continuidad y un entregable que puede auditarse

Fase	Entregable	Puerta de decisión
0. Propósito	Caso de uso, frontera, propietario, riesgo y valor.	¿Existe decisión recurrente y medible?
1. Medición	Plan de datos y M&V; inventario y sincronización.	¿Los datos son confiables?
2. Sombra	Modelo offline y shadow mode.	¿Predice mejor que la línea simple?
3. Asesor	Recomendaciones, explicación y registro de adopción.	¿Crea valor operacional neto?

Fase	Entregable	Puerta de decisión
4. Supervisado	Optimización con aprobación, límites y rollback.	¿Es segura y estable?
5. Escala	Plantilla interoperable, gobierno y TCO.	¿El valor persiste y se replica?

Economía del gemelo

El caso de negocio debe incluir sensores, integración OT/IT, ingeniería de datos, licencias, infraestructura, validación, ciberseguridad, capacitación, mantenimiento de modelos y costo de oportunidad. El beneficio debe separar energía, demanda, mantenimiento, calidad, disponibilidad y emisiones para evitar doble conteo.

Criterio go/no-go. Escalar solo si el valor incremental frente a la alternativa simple supera el costo total, la incertidumbre y el riesgo residual dentro del horizonte aprobado.

Gobernanza y seguridad

- El propietario del activo conserva autoridad operacional.
- El gestor energético es dueño del EnPI, la línea base y la M&V.
- Datos/IA son responsables de versión, deriva, explicación y revalidación.
- Ciberseguridad define zonas, conductos, identidades, acceso remoto, respaldo y respuesta.
- La dirección aprueba apetito de riesgo, autonomía y criterios de detención.
- El operador puede rechazar o detener una recomendación y su experiencia alimenta el aprendizaje.

La evolución de la gestión energética industrial demuestra que las organizaciones ya no pueden limitarse a controlar el consumo de energía mediante procedimientos tradicionales basados exclusivamente en información histórica. La acelerada transformación tecnológica impulsada por la Industria 4.0 y la Industria 5.0 exige sistemas de gestión capaces de interpretar grandes volúmenes de información, anticipar escenarios futuros y apoyar la toma de decisiones con un nivel de precisión y velocidad que supera las capacidades de los modelos convencionales.

A lo largo de este capítulo se ha puesto de manifiesto que tecnologías como los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva**, el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)** y la **inteligencia artificial** no constituyen herramientas independientes, sino componentes complementarios que fortalecen significativamente los principios establecidos por la **Norma ISO 50001**. Lejos de reemplazar el Sistema de Gestión de la Energía, estas tecnologías amplían su capacidad para monitorear, analizar, optimizar y mejorar continuamente el desempeño energético de las organizaciones.

La incorporación de estas herramientas permite que el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)** evolucione desde un modelo predominantemente reactivo hacia un proceso inteligente, dinámico y predictivo. La planificación puede apoyarse en simulaciones de escenarios futuros; la implementación puede sincronizarse permanentemente con el comportamiento del sistema físico; la verificación puede realizarse mediante monitoreo continuo en tiempo real; y la actuación puede fortalecerse mediante sistemas prescriptivos capaces de recomendar automáticamente las mejores decisiones energéticas.

Sobre esta base, el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)** constituye la principal aportación científica de esta obra. Su propuesta integra la estructura metodológica de la **ISO 50001** con las capacidades analíticas de los gemelos digitales y la inteligencia artificial, planteando una evolución conceptual del Sistema de Gestión de la Energía hacia un modelo capaz de aprender continuamente del comportamiento del proceso, anticipar desviaciones y optimizar el uso de la energía antes de que las pérdidas afecten el desempeño de la organización.

Es importante señalar que esta propuesta no pretende sustituir los principios de la **ISO 50001**, sino proyectar su evolución frente a los desafíos tecnológicos de la industria contemporánea. La evidencia presentada en el caso de estudio demuestra que la aplicación convencional del Sistema de Gestión de la Energía produce mejoras significativas en el desempeño energético. Sin embargo, la incorporación de tecnologías digitales abre la posibilidad de incrementar aún más estos beneficios mediante procesos de gestión más rápidos, precisos y adaptativos.

En este sentido, el **Modelo 5GEM** debe entenderse como un marco metodológico prospectivo que requiere ser validado en futuras investigaciones mediante aplicaciones experimentales en distintos sectores industriales. La integración entre gestión energética, inteligencia artificial y gemelos digitales representa una línea de investigación emergente con un elevado potencial para transformar la forma en que las organizaciones administran sus recursos energéticos durante las próximas décadas.

Finalmente, la eficiencia energética del futuro dependerá menos de la capacidad para reaccionar frente a los problemas y más de la capacidad para anticiparlos. Las organizaciones que logren integrar el conocimiento ingenieril con las tecnologías digitales estarán en mejores condiciones para construir procesos productivos más inteligentes, sostenibles y competitivos. Bajo esta perspectiva, la gestión energética deja de ser únicamente una herramienta para reducir costos y se convierte en un elemento estratégico para impulsar la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo industrial del siglo XXI.

La presente obra propone, así, una visión que conecta la experiencia demostrada por la **ISO 50001** con las oportunidades que ofrecen las tecnologías emergentes. Se espera que este enfoque sirva de referencia para investigadores, profesionales y organizaciones interesadas en liderar la próxima generación de Sistemas de Gestión de la Energía, contribuyendo al fortalecimiento de una industria más eficiente, resiliente y comprometida con el desarrollo sostenible.

REFLEXIONES FINALES

La energía constituye uno de los recursos estratégicos más importantes para el desarrollo económico y la competitividad de las organizaciones. En un escenario caracterizado por el crecimiento de la demanda energética, el incremento de los costos operativos y la necesidad de reducir el impacto ambiental de las actividades industriales, la gestión eficiente de la energía ha dejado de ser una alternativa para convertirse en un requisito indispensable para garantizar la sostenibilidad y la permanencia de las empresas en mercados cada vez más exigentes.

El desarrollo de esta obra permitió analizar la evolución de la gestión energética desde sus fundamentos conceptuales hasta las tendencias tecnológicas que actualmente están transformando la industria. A lo largo de los diferentes capítulos quedó demostrado que la eficiencia energética no debe entenderse únicamente como la reducción del consumo eléctrico, sino como un proceso integral de gestión que busca optimizar el desempeño de las organizaciones mediante la utilización racional de los recursos energéticos, el fortalecimiento de la cultura organizacional y la incorporación de procesos permanentes de mejora continua.

La revisión de la literatura científica evidenció que la **Norma ISO 50001** constituye actualmente el principal referente internacional para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía. Su estructura metodológica, basada en el ciclo **Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA)**, proporciona un marco sistemático que permite integrar la gestión energética dentro de la estrategia organizacional, facilitando la planificación, el monitoreo, la evaluación y la mejora continua del desempeño energético.

LA INDUSTRIA ENERGÉTICA QUE QUEREMOS EN 2030

El futuro no se define por el número de sensores, sino por la calidad de las decisiones que una organización puede explicar, verificar y sostener. Una fábrica eficiente en 2030 será capaz de anticipar su demanda, reconocer cuándo un ahorro se erosiona, simular una

modificación antes de arriesgar producción y adaptar su operación a costo, carbono y restricciones de red.

Industry 5.0 exige ampliar el objetivo: productividad, sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana. Una optimización que reduce kWh, pero aumenta riesgo, fatiga, rechazo o fragilidad no es una mejora sistémica. 5GEM debe juzgarse por el valor total que protege, no por la sofisticación del algoritmo.

Agenda de investigación

- Validación multicentro de 5GEM en sectores y escalas diferentes.
- Protocolos VVUQ específicos para gemelos energéticos de manufactura.
- M&V continua con deriva, cambios no rutinarios y contrafactuales.
- Interoperabilidad mediante ISO 23247-5 y -6 y semánticas energéticas.
- Diseño humano-céntrico de recomendaciones y niveles de autonomía.
- Ciberresiliencia y recuperación segura de gemelos de control.
- Evaluación de huella digital: energía y carbono del propio sistema de IA.
- Modelos económicos para pymes latinoamericanas y activos legados.

La eficiencia energética deja de ser un proyecto cuando la organización aprende más rápido que la variabilidad de su proceso. Ese es el propósito de un PHVA inteligente y la prueba decisiva de 5GEM.

Ficha de caso de uso 5GEM

Campo	Contenido requerido
Decisión	Acción, frecuencia, responsable y alternativa actual.
Frontera	Activos, procesos y exclusiones.
Resultado	EnPI, calidad, producción, costo, carbono y riesgo.
Datos	Fuentes, resolución, calidad, linaje y acceso.
Modelo	Tipo, versión, entrenamiento, error, incertidumbre y límites.
Autoridad	Alerta, recomendación, aprobación o control restringido.
M&V	Línea base, periodo, ajustes, IC y persistencia.

Campo	Contenido requerido
Seguridad	Amenazas, zonas, fallback, rollback y respuesta.
Salida	Criterio de éxito, detención y revalidación.

Tablero mínimo de evidencia

Dominio	KPI mínimo	Umbral definido por
Energía	EnPI ajustado; ahorro e IC95 %	Gestor energético / M&V
Modelo	CV(RMSE), NMBE, cobertura, deriva	Ingeniería / datos
Operación	OEE, calidad, paradas, seguridad	Producción / mantenimiento
Datos	Completitud, sincronización, latencia	OT/IT
Economía	VAN, TIR, TCO, costo evitado	Finanzas
Humano	Adopción, rechazo, carga y competencia	Operaciones / personas
Ciberseguridad	Incidentes, vulnerabilidades, recuperación	Responsable OT

El caso de estudio desarrollado en la industrial ladrillera, permitió trasladar estos fundamentos teóricos al contexto de una organización industrial real. La implementación del Sistema de Gestión de la Energía demostró que la aplicación disciplinada de la ISO 50001 puede generar mejoras significativas en el desempeño energético, reducir el consumo eléctrico y producir beneficios económicos sostenibles. Los resultados obtenidos confirmaron que la combinación entre liderazgo institucional, planificación energética, indicadores de desempeño, control operacional y evaluación permanente constituye una estrategia eficaz para optimizar el uso de la energía en procesos industriales de elevada complejidad.

Sin embargo, la experiencia obtenida también permitió identificar una realidad que trasciende el caso particular analizado. A pesar de los importantes avances logrados mediante la implementación de la ISO 50001, los Sistemas de Gestión de la Energía continúan sustentándose, en gran medida, en metodologías donde el análisis del

comportamiento energético ocurre después de que los eventos ya se han producido. La planificación se apoya principalmente en información histórica; la verificación depende de auditorías e indicadores periódicos; y las acciones correctivas suelen ejecutarse una vez detectadas las desviaciones del desempeño energético.

La transformación digital que actualmente experimenta la industria ofrece la posibilidad de superar esta limitación. Tecnologías como el **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)**, los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva**, el **Big Data** y la **inteligencia artificial** permiten que la gestión energética evolucione desde un modelo reactivo hacia un sistema inteligente capaz de analizar continuamente el comportamiento de los procesos, anticipar escenarios futuros y apoyar la toma de decisiones mediante modelos predictivos.

En este contexto surge la principal contribución de esta obra: el **Modelo de Gestión Energética de Quinta Generación (5GEM)**. Esta propuesta integra los principios metodológicos de la **ISO 50001** con las tecnologías digitales emergentes, planteando una evolución del Sistema de Gestión de la Energía hacia un modelo donde la información fluye permanentemente entre el sistema físico y su representación virtual, permitiendo fortalecer cada una de las etapas del ciclo PHVA mediante capacidades de simulación, monitoreo inteligente y análisis predictivo.

El modelo propuesto no pretende sustituir la **ISO 50001**, sino ampliar sus capacidades frente a los desafíos tecnológicos de la Industria 4.0 y la Industria 5.0. La fortaleza de la norma continúa vigente; sin embargo, la incorporación de tecnologías digitales permite incrementar considerablemente la velocidad, precisión y oportunidad con que las organizaciones pueden gestionar sus recursos energéticos.

Debe señalarse que el **Modelo 5GEM** constituye una propuesta conceptual sustentada en los fundamentos científicos revisados y en la experiencia obtenida durante el caso de estudio. Su validación experimental en diferentes sectores industriales representa una importante línea de investigación futura. Será necesario desarrollar aplicaciones prácticas que permitan evaluar el impacto real de la integración entre ISO 50001, gemelos digitales e inteligencia artificial sobre el desempeño energético de organizaciones pertenecientes a distintos sectores productivos.

Desde una perspectiva académica, esta investigación contribuye a ampliar el campo de estudio de la gestión energética al establecer un puente entre los Sistemas de Gestión de la Energía tradicionales y las tecnologías digitales emergentes. Asimismo, proporciona un marco de referencia para futuras investigaciones relacionadas con la automatización de la toma de decisiones energéticas, el desarrollo de modelos predictivos y la aplicación de inteligencia artificial en procesos industriales.

Desde el punto de vista profesional, la obra busca ofrecer a ingenieros, investigadores, consultores, docentes y responsables de mantenimiento una visión integrada que combine fundamentos normativos, evidencia práctica y perspectivas de innovación tecnológica. Se espera que los conceptos desarrollados sirvan como herramienta para fortalecer la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía y estimular el desarrollo de nuevas soluciones orientadas a mejorar la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones.

Finalmente, la eficiencia energética del futuro dependerá de la capacidad de las organizaciones para integrar conocimiento, tecnología e innovación. La energía ya no puede gestionarse únicamente mediante procedimientos administrativos o mejoras aisladas de infraestructura; requiere sistemas inteligentes capaces de aprender continuamente, anticipar escenarios y optimizar de manera permanente el comportamiento energético de los procesos productivos.

La transición hacia esa nueva generación de Sistemas de Gestión de la Energía ya ha comenzado. La convergencia entre la **ISO 50001**, los **gemelos digitales**, la **simulación predictiva** y la **inteligencia artificial** representa una oportunidad para construir organizaciones más eficientes, resilientes y sostenibles. En ese camino, la ingeniería energética tiene la responsabilidad de liderar el desarrollo de soluciones que respondan no solo a las necesidades actuales de la industria, sino también a los desafíos que planteará la transformación tecnológica de las próximas décadas.

Más que un punto de llegada, esta obra pretende constituir un punto de partida para futuras investigaciones y desarrollos que contribuyan a consolidar una nueva visión de la gestión energética industrial: una gestión basada en el conocimiento, fortalecida por la

inteligencia digital y orientada permanentemente hacia la mejora continua y el desarrollo sostenible.

Miguel W. Bernabé Custodio

Reg. CIP Nª 259761 Reg. IEEE: 97816921 Reg. RENACYT: P0393384

IEEE R9 Industry Engagement Committee

Chair-IEEE R9 Industry AI Researchers Blockchain Group

Biografía profesional

Es un Investigador Industrial en el Comité de Industria de IEEE Región 9, con amplia experiencia en gestión energética, eficiencia industrial y sostenibilidad. Su investigación se centra en la implementación de sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50001 y su impacto en la reducción de la huella de carbono en el sector industrial.

Investigador RENACYT, Es autor de múltiples publicaciones científicas en revistas indexadas a SCOPUS, donde aborda la integración de prácticas de gestión energética con metodologías Lean y de mejora continua para optimizar el consumo energético y reducir emisiones de CO_2.

Master Profesional en Gestión de la eficiencia energética y grado de Doctor. Especialista en análisis de la calidad de energía y Sub Estaciones Eléctricas en Media Tensión.

Correo de contacto: ing.mwbernabe@ieee.org

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

AEC. Asociación Española para la Calidad (AEC). 2017 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2019], de AEC: Disponible en https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/sistemas-de-gestion-energética ISSN: 1576-4915;

Agencia Andaluza De La Energía /Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo 2011, Ley de defensa y proteccion de los consumidores y usuarios [fecha de consulta: 25 de septiembre de 2019] Disponible en :https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/datos_energeticos_andalucia_2011.pdf ISBN: 84-7595-077-9

Aghaei, M., Moazami, A., Lobaccaro, G., & Cali, U. (Eds.). (2024). Digital twin technology for the energy sector: Fundamentals, advances, challenges, and applications. Elsevier.

Aghazadeh Ardebili, A., et al. (2024). Digital twins of smart energy systems: A systematic literature review on enablers, design, management and computational challenges. Energy Informatics, 7. https://doi.org/10.1186/s42162-024-00385-5

Asto Mendoza, Diana Rosmery, Análisis de Factibilidad de la Norma ISO 50001, para mejora de la Eficiencia Eléctrica en SENATI, Tesis de grado -Cajamarca Sur Amazonas, Perú. 2016. [fecha de consulta:25 setiembre del 2019, Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/32390

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 Enginnering Transactions.;117:6. https://doi.org/10.3303/CET25117113.

Billey, A., Xiao, G., Zheng, X., Cheng, J., & Davy, S. (2023). Energy digital twins in smart manufacturing systems: A literature review. Manufacturing Letters, 35. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.047

Borroto, Aníbal et al. Gestión y Economía Energética. Cienfuegos: Universo Sur, 2006.Tesis de grado [fecha de consulta:28 septiembre 2019, Disponible en: http://www.energytec-solutions.com/linked/gesti_n_y_econom_a_energ_tica.pdf ISBN 959-257-114-7.

Brown, T., Infield, D. B., & Leach, M. (2023). Digital twin applications for smart energy systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 176, 113180. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113180

Delgado Rojas, Julio Omar. Propuesta de auditoría Energé-tica para reducir el consumo de Energía Eléctrica, Empresa Agribrands Purina, Pimentel 2016, de la Universidad Cesar Vallejos, Tesis de grado Perú. [fecha de consulta: 20 septiembre 2019], Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/8860

Disnorte. *¿Qué es la eficiencia energética y para qué sirve?* Disnorte-dissur: 2018. [fecha de consulta: 25 de septiembre de 2019] Disponible en http://www.disnorte-dissur.com.ni/que-es-la-eficiencia-energética-y- para-que-sirve.html SSN 1680-9025. ISBN: 92-1-322247-5

DOE. (2012). DOE Guide for ISO 50001. s.l.: U.S. Introduction to the Department of Energy Executive Summary Quick Facts, Mission and Scope, Organizational Structure, Leadership Department of Energy, 2012. [fecha de consulta:18 de enero 2020], Disponible en: https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_Corporate_Overview-2012.pdf

Echeandía Diez, Rodrigo Fernando, (2016). Diseño de un Sistema de Gestión Energética para la aplicación de la Norma ISO 50001 en el campus de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, de la Universidad Católica Santotoribio de Mogrovejo, Tesis de grado Perú. [fecha de consulta: 30 de setiembre del 2019], Disponible en: http://tesis.usat.edu.pe/handle/usat/941

Editorial: AENOR Ediciones (Asociación Española de Normalización) 2012, Lugar de la edición: Madrid. España [Fecha de consulta:15 de noviembre de 2019] Disponible en:https://www.marcialpons.es/editoriales/aenor-ediciones-asociacion-espanola-de-normalizacion/3058/ ISSN 1695-5498.

Efficiency Valuation Organization. (2022). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), Core Concepts. EVO.

Endesa.de Twenergy: 2012. [Fecha de consulta:14 de noviembre de 2019], Disponible en https://twenergy.com/a/que-es-la-eficiencia- energética-39 ISBN: 978-92-1-323184-5.

Energiaygeoestrategia, Instituto Español de Estudios Estratégicos Comité Español del Consejo Mundial de la Energía Club Español de la Energía, Autores y editor, 2019 [Fecha de consulta:15 de noviembre de 2019] Disponible en http://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energiaygeoestrategia2019.pdf ISBN: 978-84-9091-414-4

Energy Star. Guidelines for Energy Management. s.l.2008 [Fecha de consulta:15 de noviembre de 2019]. Dispobible en: www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=guidelines. ISSN-10594248

European Commission. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union.

European Commission. (2024). Industry 5.0 Community of Practice: Final report of the pilot phase 2023–2024.

Fondo de energía no convencionales y gestion eficiente de la energía (FENOGE), fue creado en el artículo 10 la Ley 1715 Colombia [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en https://fenoge.com/

García Silva, Julio Israel y Vinza Carvajal, Iván Andrés, (2015). Implementación de un sistema de gestión energética en base a la norma ISO 50001 para la empresa “La Ibérica”, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador 2019 [Fecha de consulta:15 de noviembre de 2019] Disponible en:

http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4496 Gestión de la eficiencia energética, cálculo del consumo, indicadores y mejora Autores: Carretero Peña, Antonio, García Sánchez, Juan Manuel ISBN: 9788481437850

Guía de gestión energética municipal en base a la norma ISO 50001/ Herramientas Guía de gestión energética municipal, 2013 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2019]. Disponible en: http://www.comunidadism.es/herramientas/guia-de-gestion-energetica-municipal-en-base-a-la-norma-iso-50001 ISBN 978-958-761-597-5

Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético.Dirección General de Eficiencia Energética. Ministerio de Energía y Minas. [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en:http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Guia%20Sector%20Residencial.pdf ISBN 978-8492521-12-8

HERNÁNDEZ, Juan [en línea]. España: Fundación EOI, 2013 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible en: https://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora_2013.pdf ISBN: 978-84-15061-40-3

Howk Prinsel y Rios Gálvez, . Propuesta de implementación de un Sistema de Gestión de Energía bajo la Norma ISO 50001, para la reducción de costos en taller de mantenimiento mecánico de una empresa minera, de la Universidad de ESAN, Perú. [fecha de consulta: 15 de octubre de 2019]. Disponible en: https://repositorio.esan.edu.pe/handle/ESAN/1510

HUANG, Eric ISO 50001: conozca la nueva norma de gestión de energía. En: América Economía, 2011 [fecha consulta: 25 de setiembre de 2019] Disponible en http://www.americaeconomia.com/análisis-opinion/iso-50001-conozca-la-nueva-norma-degestion-de-energia.

Instituciones editoras: Conuee / GIZ Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía México, D.F., 19 agosto del 2014-Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía I. [fecha consulta: 25 de diciembre de 2019] Disponible en:

https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/SGEn/manuales/ManualGestionEnergia_V2_1.pdf ISBN 9968-. 904-08-2,

International Electrotechnical Commission. (2019–2024). IEC 62443 series, Security for industrial automation and control systems.

International Energy Agency. (2025). Industry — Energy Efficiency 2025. IEA. Recuperado de https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/industry (el sector industrial representa cerca del 40 % del consumo final total de energía en 2024 y explicó dos tercios del incremento de la demanda energética mundial desde 2019).

International Energy Agency. (2025a). Energy Efficiency 2025. IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025

International Energy Agency. (2025b). Energy Management for Industry: Driving efficiency implementation. IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/energy-management-for-industry

International Organization for Standardization. (2014). ISO 50015:2014, Measurement and verification of energy performance of organizations—General principles and guidance.

International Organization for Standardization. (2014a). Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidance (ISO 50006:2014). ISO.

International Organization for Standardization. (2014b). Energy management — Measurement and verification of organizational energy performance — General principles and guidance (ISO 50015:2014). ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018, Energy management systems—Requirements with guidance for use.

International Organization for Standardization. (2020). ISO 50004:2020, Guidance for implementation, maintenance and improvement of an ISO 50001 energy management system.

International Organization for Standardization. (2021). Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles (ISO 23247-1:2021). ISO.

International Organization for Standardization. (2021). Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture (ISO 23247-2:2021). ISO.

International Organization for Standardization. (2021). Energy management systems — Requirements for bodies providing audit and certification of energy management systems (ISO 50003:2021). ISO.

International Organization for Standardization. (2021a). ISO 50003:2021, Requirements for bodies providing audit and certification of energy management systems.

International Organization for Standardization. (2021b). ISO 50005:2021, Guidelines for a phased implementation.

International Organization for Standardization. (2021c). ISO 23247-1:2021 to ISO 23247-4:2021, Digital twin framework for manufacturing.

International Organization for Standardization. (2023). ISO 50006:2023, Evaluating energy performance using energy performance indicators and energy baselines.

International Organization for Standardization. (2024). Energy management systems — Requirements with guidance for use — Amendment 1: Climate action changes (ISO 50001:2018/Amd 1:2024). ISO.

International Organization for Standardization. (2024a). ISO 50001:2018/Amd 1:2024, Climate action changes.

International Organization for Standardization. (2025). ISO 50002-1:2025; ISO 50002-2:2025; ISO 50002-3:2025, Energy audits.

International Organization for Standardization. (2025a). Energy audits — Part 1: General requirements including the use of energy performance indicators (ISO 50002-1:2025). ISO.

International Organization for Standardization. (2025b). Energy audits — Part 3: Guidance for energy audits in processes (ISO 50002-3:2025). ISO.

International Organization for Standardization. (2026). ISO 23247-5:2026 and ISO 23247-6:2026, Digital thread and digital twin compositions in manufacturing.

ISO 50001. Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso. Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2011.[fecha de consulta: 11 de marzo de 2020]. Disponible en:https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es

ISO/IEC. (2023a). ISO/IEC 42001:2023, Artificial intelligence—Management system.

ISO/IEC. (2023b). ISO/IEC 23894:2023, Artificial intelligence—Guidance on risk management.

Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008, GUM). BIPM.

Kibira, D., et al. (2024). Manufacturing Digital Twin Standards. National Institute of Standards and Technology.

Martínez Marrero, Graviela Barbara, (2016). Evaluación del desempeño energético de una red minorista de venta de acuerdo a los requisitos de la NC ISO 50001: 2011, de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.[fecha de consulta: 11 de diciembre de 2019]. Disponible en :https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/7173.

Nachimba Sánchez, Nelson Israel y Peña Pérez, Hugo Javier, (2017). Diagnóstico Energético en el Hotel Spa Termal Monte Selva del Cantón Baños Provincia de Tungurahua bajo la Norma ISO 50001, de la Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Ecuador. [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en :http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6978

National Institute of Standards and Technology. (2024). Digital Twins for Advanced Manufacturing: Verification, validation and uncertainty quantification activities.

NORMA INTERNACIONAL Traducción oficial Official translation/Traduction officielle. Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso –ISO 50001 Primera edición2011-06-15, [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en https://www.coursehero.com/file/42009807/ISO-50001-2011pdf/

Norma Técnica Peruana NTP-ISO 50001, 2012 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA. Requisitos conorientación para su uso. [fecha de consulta:20 enero 2020], Disponible en: https://www.academia.edu/33249406/NORMA_T%C3%89CNICA_NTP-ISO_50001_PERUANA_2012

Optimagrid, Buenas Prácticas para el Ahorro de Energía en la Empresa, [fecha de consulta: 25 septiembre2019],Disponible en:https://4.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/11268EB8-CE46-5D93-D5CC-6F82D70A6841.pdf ISSN 1316-1296.

Panchi Guamangallo, Alex Danilo, (2015). Diseño de un sistema de gestión de Energía en la Empresa Industria Metálica Cotopaxi aplicando la Norma ISO 50001, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.[fecha de consulta:20 octubre 2019], Disponible en:http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12281?show=full&locale-attribute=en

Plata Duran, Ronal Fernando. Propuesta para la implementación de un Sistema Integral de Gestión Energética basado en la Norma ISO 50001, en el edificio administrativo de la sede principal de la empresa de energía de Boyacá, de la Universidad EAN, Colombia.2019 [fecha de consulta:10 enero 2020], Disponible en: https://repository.ean.edu.co/handle/10882/9475

Revisión sistemática: Analysis of Digital Twin Applications in Energy Efficiency: A Systematic Review. (2025). Sustainability, 17(8), 3560. https://doi.org/10.3390/su17083560 (50 estudios analizados; ahorros energéticos reportados de hasta 30 % mediante implementación de gemelos digitales).

SEAI. 2012. Energy Management Action Programme (Energy MAP). s.l.: Sustainable Energy Authority of Ireland, 2012. [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en: www.seai.ie/energymap/About_Energy_Map/. ISBN 978-92-79-59815-9

Sistema de Gestión de la energía ISO 50001, Ministerio de Energía y Minas,Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso [fecha de consulta:15 diciembre 2019], Disponible en: https://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=12&idTitular=9019

Tahmasebinia, F., Lin, L., Wu, S., Kang, Y., & Sepasgozar, S. (2023). Exploring the benefits and limitations of digital twin technology in building energy. Applied Sciences, 13(15), 8814. https://doi.org/10.3390/app13158814

Wallner, B., Zwöffer, B., Trautner, T., & Bleicher, F. (2023). Digital twin development and operation of a flexible manufacturing cell using ISO 23247. Procedia CIRP, 120, 1149–1154. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.126

Wooley, A., et al. (2023). When is a simulation a digital twin? A systematic literature review. Manufacturing Letters. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.014

Yao, J. F., et al. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art, 6. https://doi.org/10.1186/s42492-023-00137-4

Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E., & Walmsley, T. G. (2022). Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 161, 112407. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407

Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E., & Walmsley, T. G. (2022). Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 161, 112407. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407

Zuloeta Vigo, Paul Alex Simon, (2018). Optimización de la Eficiencia Energética en la empresa Atlántica SRL. a través de la implementación de un Sistema deGestiónde la Energía basado en la Norma ISO 50001, de la a Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. [fecha de consulta: 25 septiembre2019], Disponible en http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3198.