



**INSTITUTO LATINOAMERICANO DE  
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y  
TERRITORIO**

**PROGRAMA DE POSGRADO  
INTERDISCIPLINARIO EN ENERGÍA Y  
SUSTENTABILIDAD**

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA AUXILIAR EN UNA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA BAJO LAS NORMAS ISO 50001 E ISO 50002: UN ESTUDIO DE  
CASO REAL**

**ESTEBAN RODOLFO HOGBERG AVALOS**



**INSTITUTO LATINOAMERICANO DE  
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y  
TERRITORIO**

**PROGRAMA DE POSGRADO  
INTERDISCIPLINARIO EN ENERGÍA Y  
SUSTENTABILIDAD**

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA AUXILIAR EN UNA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA BAJO LAS NORMAS ISO 50001 E ISO 50002: UN ESTUDIO DE  
CASO REAL**

**ESTEBAN RODOLFO HOGBERG AVALOS**

Disertación de Maestría presentada al Programa Interdisciplinario de Posgrado en Energía y Sustentabilidad del Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de Integración Latinoamericana, como requisito para la obtención del título de Master en Energía y Sustentabilidad.

Área de concentración: Energía y Sustentabilidad

Orientador: Jorge Javier Gimenez Ledesma

Coorientador: Walber Ferreira Braga

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

H715d

Hogberg, Esteban Rodolfo.

Diagnóstico energético del sistema auxiliar en una central hidreléctrica bajo las normas ISO 50001 e ISO 50002: un estudio de caso real / Esteban Rodolfo Hogberg Avalos. - Foz do Iguaçu, 2025.

112 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Jorge Javier Giménez Ledesma.

Coorientador: Walber Ferreira Braga.

1. Sustentabilidade e meio ambiente. 2. Dióxido de carbono. 3. Usinas hidrelétricas. 4. Energia elétrica - Consumo. I. Ledesma, Jorge Javier Giménez. II. Braga, Walber Ferreira. III. Título.

CDU 620.91

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA AUXILIAR EN UNA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA BAJO LAS NORMAS ISO 50001 E ISO 50002: UN ESTUDIO DE  
CASO REAL**

Disertación de Maestría presentada al Programa Interdisciplinario de Posgrado en Energía y Sustentabilidad del Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de Integración Latino-Americana, como requisito para la obtención del título de Master en Energía y Sustentabilidad.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Jorge Javier Giménez Ledesma

Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade – PPGIES  
UNILA

---

Coorientador: Prof. Dr. Walber Ferreira Braga

Instituto Latino-americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território – ILATIT  
UNILA

---

Prof. Dr. Luis Evelio Garcia Acevedo

Instituto Latino-americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território – ILATIT  
UNILA

---

Profa. Dra. Mauren Pomalis Coelho da Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas de Energia – PPGESE  
UFRPE

Foz de Iguazú, 04 de julio de 2025

HOGBERG, Esteban. Diagnóstico energético del sistema auxiliar en una central hidroeléctrica bajo las normas ISO 50001 e ISO 50002: un estudio de caso real. 2025. 112 p. Disertación (Maestría en Energía y Sustentabilidad.) - Universidad Federal de Integración Latino-Americana, Foz de Iguazú.

## RESUMEN

El estudio presenta un diagnóstico energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la Central Hidroeléctrica Acaray, siendo el objetivo el de evaluar el desempeño energético con un enfoque en términos de eficiencia energética, sostenibilidad, ambiental y social. La investigación se basó en las normas INTN NP ISO 50001 primera edición, del año 2015 e INTN NP ISO 50002 primera edición, del año 2023, utilizadas como referencia para la estructuración del sistema de gestión energética y la aplicación del diagnóstico energético. Se definieron y estructuraron las etapas del diagnóstico energético, asegurando un enfoque sistemático y normativo, en base a las normas técnicas seleccionadas. Los resultados del estudio incluyeron la evaluación del desempeño energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar que fueron analizados: (i) el sistema del centro de control de las bombas de drenaje; (ii) el sistema de iluminación; y (iii) el sistema de compuertas hidromecánicas. Se determinó una línea de base energética como referencia, identificando los principales consumidores de energía y las características de los sistemas en términos técnicos, económicos, ambientales y sociales. Conjuntamente, se cuantificaron las emisiones de dióxido de carbono derivadas del consumo energético de cada sistema, expresando dichas emisiones en equivalencias al carbono que capturarían plantas urbanas, identificando el impacto ambiental de los sistemas analizados. El diagnóstico energético determinó que el sistema de iluminación es el de mayor consumo, con un consumo anual de 68061 kWh/año. Le acompaña, el sistema del centro de control de bombas de drenaje, registrando un consumo de 1706,4 kWh/año. Mientras que, el sistema de compuertas hidromecánicas tuvo un consumo de 48,7 kWh/año, siendo el sistema de menor consumo debido a su régimen de operación reducido y restringido. En términos económicos, el consumo energético total representa un costo de 3531,5 dólares estadounidenses. Por otro lado, en términos ambientales, se estimó las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético de los sistemas analizados. En la calculadora de la EPA de los Estados Unidos, resultó en 27,5 toneladas anuales, equivalente al carbono que capturarían anualmente 454 plantas urbanas. Mientras que, en la calculadora de emisiones de dióxido de carbono de la SOS *Mata Atlántica* del Brasil, resultó en 3,8 toneladas anuales, equivalente al carbono que capturarían anualmente 27 árboles nativos de la *mata Atlántica*.

**Palabras clave:** Diagnóstico Energético; Eficiencia Energética; Servicio Auxiliar; ISO 50001; ISO 50002.

HOGBERG, Esteban. Diagnóstico energético do sistema auxiliar de uma usina hidrelétrica segundo as normas ISO 50001 e ISO 50002: um estudo de caso real. 2025. 112 p. Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu.

## RESUMO

Este estudo apresenta um diagnóstico energético de parte dos sistemas do serviço auxiliar da Usina Hidrelétrica de Acaray. O objetivo é avaliar o consumo de energia e seu respectivo impacto em termos de eficiência energética, sustentabilidade, impacto ambiental e social. A pesquisa foi baseada nas normas INTN NP ISO 50001 primeira edição, de 2015 e INTN NP ISO 50002 primeira edição, de 2023, que foram utilizadas como referência para a estruturação do sistema de gestão de energia e aplicação do diagnóstico energético. As etapas do diagnóstico energético foram definidas e estruturadas, garantindo uma abordagem sistemática e normativa com base nas normas técnicas selecionadas. Os resultados do estudo incluíram uma avaliação do desempenho energético de parte dos sistemas do serviço auxiliar analisados: *(i)* o sistema do centro de controle da bomba de drenagem; *(ii)* o sistema de iluminação; e *(iii)* o sistema de comportas hidromecânicas. Foi estabelecida uma linha de base energética, identificando os principais consumidores de energia e avaliando os sistemas em termos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Em conjunto, foram quantificadas as emissões de dióxido de carbono derivadas do consumo de energia de cada sistema, expressando essas emissões em termos de equivalentes de carbono que as plantas urbanas capturariam, identificando o impacto ambiental dos sistemas analisados. O diagnóstico energético determinou que o sistema de iluminação foi o mais intensivo em energia, com um consumo anual de 68061 kWh/ano. É seguido pelo sistema de controle da bomba de drenagem, registrando um consumo de 1706,4 kWh/ano. Enquanto isso, o sistema de comporta hidromecânica consumiu 48,7 kWh/ano, sendo o sistema com o menor consumo devido ao seu regime de operação reduzido e restrito. Em termos econômicos, o consumo total de energia representa um custo de 3531,5 dólares americanos. Em termos ambientais, as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia dos sistemas analisados foram estimadas. A calculadora da EPA dos EUA resultou em 27,5 toneladas por ano, equivalente ao carbono que 454 plantas urbanas capturariam anualmente. A calculadora de emissões de dióxido de carbono da SOS Mata Atlântica no Brasil resultou em 3,8 toneladas por ano, equivalente ao carbono que 27 árvores nativas da mata Atlântica capturariam anualmente.

**Palavras-chave:** Diagnóstico Energético; Eficiência Energética; Serviço Auxiliar; Norma ISO 50001; Norma ISO 50002.

HOGBERG, Esteban. Energy diagnosis of the auxiliary system in a hydroelectric power plant under ISO 50001 and ISO 50002 standards: a real case study. 2025. 112 p. Dissertation (Master's Degree in Energy and Sustainability.) - Federal University of Latin American Integration, Foz de Iguazú.

### ABSTRACT

The study presents an energy diagnosis of part of the auxiliary service systems of the Acaray Hydroelectric Power Plant. The objective is to evaluate energy consumption with its respective impact in terms of energy efficiency, sustainability, environmental and social impact. The research was based on the INTN NP ISO 50001 first edition, from 2015 and INTN NP ISO 50002 first edition, from 2023, standards used as a reference for structuring the energy management system and applying energy diagnostics. The stages of the energy diagnosis were defined and structured, ensuring a systematic and normative approach, based on the selected technical standards. The study results included an energy performance assessment of several auxiliary service systems analyzed: *(i)* the drainage pump control center system; *(ii)* the lighting system; and *(iii)* the hydromechanical gate system. An energy baseline was established as a reference, identifying the main energy consumers and evaluating the systems in technical, economic, environmental, and social terms. Jointly, the carbon dioxide emissions derived from the energy consumption of each system were quantified, expressing these emissions in equivalents to the carbon that urban plants would capture, identifying the environmental impact of the systems analyzed. The energy diagnosis determined that the lighting system is the most energy intensive, with an annual consumption of 68061 kWh/year. It is accompanied by the drainage pump control center system, recording a consumption of 1706,4 kWh per year. Meanwhile, the hydromechanical gate system consumed 48,7 kWh/year, making it the system with the lowest consumption due to its reduced and restricted operating regime. In economic terms, total energy consumption represents a cost of US\$ 3531,5. In environmental terms, the carbon dioxide emissions associated with the energy consumption of the analyzed systems were estimated. The US EPA calculator resulted in 27.5 tons per year, equivalent to the carbon that 454 urban plants would capture annually. The SOS *Mata Atlántica* carbon dioxide emissions calculator in Brazil resulted in 3.8 tons per year, equivalent to the carbon that 27 native Atlantic forest trees would capture annually.

**Keywords:** Energy Audit; Energy Efficiency; Auxiliary Service; ISO 50001; ISO 50002.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del conjunto de turbina hidráulica y generador eléctrico.....	22
Figura 2: Conjunto estator-polos magnéticos de la central hidroeléctrica Acaray. ....	23
Figura 3: Familia de la norma ISO 50000.....	28
Figura 4: Ciclo Planificar; Hacer; Verificar; Actuar.....	33
Figura 5: Proceso del estudio de línea de base utilizado.....	36
Figura 6: Clasificación por etapas de la estructura de procesos. ....	40
Figura 7: Flujograma de la planificación. ....	41
Figura 8: Delimitación del alcance de la investigación, y las fronteras por sistemas.....	42
Figura 9: Flujograma de procesos.....	46
Figura 10: Estructura del diagnóstico energético en la etapa 2.....	49
Figura 11: Procedimiento de cálculo de las emisiones de dióxido de carbono.....	53
Figura 12: Sistema de iluminación de la central hidroeléctrica Acaray. ....	58
Figura 13: Sistema del centro de control de las bombas de la presa Acaray. ....	58
Figura 14: Principales partes de la presa Acaray. ....	59
Figura 15: Estructuración de los procesos para el diagnóstico energético. ....	60
Figura 16: Sistema de iluminación en caminos internos.....	67
Figura 17: Curva corriente/tiempo sistema de iluminación en presa Acaray. ....	68
Figura 18: Curva corriente/tiempo sistema de iluminación de alumbrados en caminos internos.....	68
Figura 19: Curva de altura manométrica en relación al caudal vertido ....	70
Figura 20: Línea de base energética del CCB y sistema de iluminación.....	72
Figura 21: Línea de base energética de las compuertas hidromecánicas.....	73
Figura 22: Porcentaje de emisiones de dióxido de carbono por sistema. ....	76
Figura 23: Revisión sistemática. ....	88
Figura 24: Análisis sistemático. ....	89
Figura 25: Proceso de filtrado y análisis de documentos en planilla electrónica. ....	90
Figura 26: Distribución de documentos en función de las citasiones.....	90
Figura 27: Distribución de la base de datos auxiliar en función de las citasiones.....	91
Figura 28: Tabulación en planillas electrónicas de los datos del CCB de la presa ACY ....	96
Figura 29: Planilla de operación de las compuertas radiales de la presa Acaray.....	97
Figura 30: Software de búsqueda referencial.....	98
Figura 31: Calculadora de Equivalencias de Gases de Efecto Invernadero.....	99

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Lista de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ....	4
Cuadro 2: Portafolio bibliográfico con mayor número de citasiones. ....	12
Cuadro 3: Estructura complementarias a la norma ISO 50001.....	27
Cuadro 4: Nivel de detalle del diagnóstico energético. ....	31
Cuadro 5: Indicadores de desempeño. ....	43
Cuadro 6: Proceso de planificación del diagnóstico energético. ....	43
Cuadro 7: Adquisición de datos en el diagnóstico energético. ....	45
Cuadro 8: Lista de los sistemas casos de estudio.....	46
Cuadro 9: Identificación de equipos que consumen energía.....	47
Cuadro 10: Características de los sistemas según el tipo de tecnología instalada. ....	47
Cuadro 11: Características de los sistemas según el tipo de accionamiento.....	48
Cuadro 12: Cantidad individual de componentes por sistema.....	48
Cuadro 13: Principales actividades en el proceso de los planes de medición.....	50
Cuadro 14: Lista de puntos de medición de los sistemas.....	50
Cuadro 15: Sistemas intervinientes en el proceso de generación. ....	57
Cuadro 16: Instrumentos de grandezas eléctricas. ....	60
Cuadro 17: Periodo, frecuencias y ubicación de las mediciones. ....	61
Cuadro 18: Mediciones del sistema de iluminación en la presa ACY.....	66
Cuadro 19: Mediciones del sistema de iluminación de alumbrados en caminos internos.....	67
Cuadro 20: Mediciones del sistema del centro de control de bombas. ....	69
Cuadro 21: Definición de los ejes de búsquedas y palabras claves por eje. ....	88
Cuadro 22: Búsqueda referencial en CAPES y SCOPUS.....	92
Cuadro 23: Búsqueda referencial en GOOGLE ACADEMICO. ....	93
Cuadro 24: Portafolio bibliográfico con un número moderado de citasiones. ....	94
Cuadro 25: Documentos sin citasiones seleccionados tras el análisis auxiliar.....	95

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: Mediciones <i>in situ</i> referentes a las compuertas radiales en presa ACY. ....	62
Tabla 2: Cálculos teóricos referentes a las compuertas radiales en presa ACY. ....	63
Tabla 3: Histórico de operaciones de las compuertas radiales en presa ACY. ....	65
Tabla 4: Mediciones referentes a la compuerta flotante en presa ACY. ....	65
Tabla 5: Factor de carga del motor de la bomba. ....	70
Tabla 6: Determinación de las emisiones de dióxido de carbono. ....	75
Tabla 7: Determinación del costo de la energía consumida. ....	75

**LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

ANDE	Administración Nacional de Electricidad
ABNT	Asociación Brasileña de Normas Técnicas
ACY	Acaray
CCB	Centro de Control de Bombas
CF	Compuerta Flotante
CR	Compuerta Radial
CTS	Ciencia, Tecnología y Sociedad
eGRID	<i>Emissions &amp; Generation Resource Integrated Database</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
INTN	Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología
ISBN	<i>International Standard Book Number</i>
ISO	Organización Internacional de Normalización
ISSN	<i>International Standard Serial Number (ISSN)</i>
LED	Diodo Emisor de Luz
NP	Norma Paraguaya
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PHVA	Planificar; Hacer; Verificar; Actuar
PLC	Controlador Lógico Programable
PND 2030	Plan de Desarrollo Nacional de Paraguay 2030
Proknow-C	<i>Knowledge Development Process Constructivist</i>

## SUMARIO

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	7
1.2 JUSTIFICATIVA.....	8
1.3 CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4 PUBLICACIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO .....	9
1.5 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	10
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1 CICLO PHVA Y SU APLICACIÓN EN LA GESTIÓN ENERGÉTICA BAJO LA NORMA ISO 50001.....	13
2.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	16
2.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	18
2.4 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES .....	20
<b>3 FUNDAMENTOS TEORICOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 CENTRALES HIDROELÉTRICAS.....	22
3.2 NORMA ISO.....	25
3.3 CICLO PHVA .....	32
3.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	34
3.5 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES .....	37
<b>4 METODO DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO .....</b>	<b>40</b>
4.1 ETAPA 1: PLANEAMIENTO INICIAL .....	40
4.2 ETAPA 2: MEDICIONES Y ANÁLISIS .....	49
4.3 ETAPA 3: INFORME FINAL Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PROPUESTOS .....	52
4.4 IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES .....	52
4.5 ESTUDIO DE CASO .....	56
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
5.1 SISTEMAS HIDROMECÁNICOS.....	61
5.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	66
5.3 SISTEMA DEL CENTRO DE CONTROL DE BOMBAS.....	69

5.4 LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA .....	70
5.5 ENFOQUE AMBIENTAL Y SOCIAL .....	74
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>87</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se ha consolidado como una estrategia para alcanzar la sostenibilidad en el sector eléctrico. En este contexto, las centrales hidroeléctricas representan una oportunidad para la implementación de sistemas de gestión energética, específicamente en el sistema auxiliar, permitiendo una operación más eficiente, económica, social y ambientalmente responsable.

En el estudio se da énfasis a un sistema de gestión energética, como herramienta para el cumplimiento de la eficiencia energética de los sistemas.

Según Urteaga *et al.* (2022), la eficiencia energética tiene el beneficio de contribuir a reducir las emisiones de dióxido de carbono, mediante la utilización óptima de la energía, reduciendo los costos y manteniendo el bienestar o servicio.

En este contexto, según INTN NP ISO 50001 (2015), la eficiencia energética se puede definir como la razón entre la energía requerida y la energía consumida, siendo una relación cuantitativa entre una salida de desempeño, servicios, productos o energía, y una entrada de energía.

En términos de eficiencia energética a nivel global, un indicador de referencia importante es la variación anual de la intensidad energética primaria, según Naciones Unidas (2023), la intensidad energética es definida como la relación entre el suministro total de energía y el producto interno bruto, en esencia es la cantidad de energía utilizada por unidad de riqueza creada.

En este sentido según International Energy Agency (2023), la tasa estimada de progreso en intensidad energética para 2023, se prevé que vuelva a caer, a 1,3% desde un 2% del año 2022, este indicador es clave para medir los avances en eficiencia energética, por lo que una menor intensidad energética indica un uso más eficiente de los recursos energéticos.

Según Urteaga *et al.* (2022), una intensidad energética baja refleja un uso óptimo de la energía para generar valor económico, y destaca la necesidad de adoptar medidas que mejoren el uso de la energía frente al aumento en la demanda.

A medida que la demanda de energía eléctrica aumenta a nivel global, la eficiencia energética se convierte en un tema crucial.

En el contexto local, de acuerdo al decreto n° 2553/24 del Paraguay (2024), que aprueba la política energética de la república del Paraguay, con proyección al año 2050, el gobierno del Paraguay ha establecido cinco objetivos estratégicos en el sector energético, los cuales son:

- (i) Garantizar una oferta energética sostenible, robusta y resiliente, orientada al bienestar de toda la población y al desarrollo productivo, priorizando el aprovechamiento de los recursos energéticos y mineros del país;
- (ii) Aprovechar las ventajas competitivas del sector energético como elemento estraté-

gico para el crecimiento socioeconómico, la transición energética, la creación de empleos y la inserción del país en el ámbito global;

- (iii) Consolidar el país como eje de la integración energética regional, fortaleciendo su posición en el contexto energético internacional;
- (iv) Asegurar el acceso a una energía asequible, segura y sostenible para satisfacer las necesidades de los sectores más vulnerables del país;
- (v) Potenciar el rol del consumidor y de otros actores del sector en el sistema energético, promoviendo su participación activa y beneficiosa.

La implementación de las acciones, tiene sustento institucional, mediante la creación del comité nacional de eficiencia energética, el mismo fue creado por decreto n° 6377/2011, con el objetivo de la preparación y ejecución del plan nacional para el uso eficiente de la energía para la república del Paraguay.

Según el decreto n° 6377/2011 del Paraguay (2011), el uso eficiente de la energía es considerada una de las medidas más efectivas, a corto y mediano plazo, para lograr una reducción significativa de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, así como otros gases contaminantes.

En este contexto, el comité nacional de eficiencia energética presenta atribuciones formuladas como objetivos estratégicos, entre ellas se encuentran el de identificar proyectos y programas existentes relacionados con la eficiencia energética, así también, analizar e identificar fuentes de financiamiento de proyectos. Además, analizar la implementación de medidas fiscales, financieras y tributarias, que promuevan el uso eficiente de la energía. También, establecer criterios normativos de eficiencia energética, como la normalización y el etiquetado de productos, o la sustitución de fuentes energéticas poco eficientes. Otro objetivo, es el de crear campañas de promoción y difusión para concienciar a la ciudadanía, y finalmente, elaborar el plan nacional de uso eficiente de la energía, considerando todos sus aspectos técnicos, económicos y sociales.

Los protagonistas en la implementación del plan nacional de eficiencia energética son instituciones como el Viceministerio de Minas y Energía, la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), la Itaipu Binacional y otras instituciones, con el objetivo principal la adopción de medidas para mejorar el uso de la energía.

Cabe resaltar que, en diciembre del 2014, el gobierno de Paraguay firmó el decreto n° 2794/2014, por el cual se adoptó el Plan de Desarrollo Nacional de Paraguay 2030 (PND 2030) como instrumento para coordinar y orientar la política económica, social e internacional, de manera a alcanzar los objetivos de desarrollo del país para el año 2030.

De acuerdo con Ervin (2016), el PND 2030 se basa en tres principales ejes estratégicos, la reducción de la pobreza y el desarrollo social, el crecimiento económico inclusivo y la inclusión de

Paraguay en el mundo.

En el contexto global, el cambio climático constituye una emergencia que trasciende las fronteras de los países. Por lo que, los líderes mundiales en la conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático, en París, el 12 de diciembre de 2015 aprobaron el acuerdo de París.

El acuerdo de París, se basa en tres ejes principales u objetivos a largo plazo, donde sirven como guía para todos los países en las acciones para combatir al cambio climático, estos objetivos principales son:

- (i) Limitar el aumento de las temperaturas a 1,5 grados;
- (ii) Examinar la contribución de los países en la reducción de las emisiones, cada cinco años;
- (iii) Ayudar a las naciones más pobres, proporcionando financiación climática.

El acuerdo es un tratado internacional, el cual entró en vigencia el 4 de noviembre de 2016, en la actualidad, 193 países más la Unión Europea, han firmado el acuerdo de París y su implementación es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

De acuerdo con Naciones unidas (2015), los objetivos de desarrollo sostenible son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos, los mismo se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia.

Según Ervin (2016), tanto el plan de desarrollo nacional de Paraguay 2030, como los objetivos de desarrollo sostenible, que fueron adoptados por Paraguay, proporcionan una serie de objetivos de desarrollo que el país debe de alcanzar para el año 2030.

Los objetivos de desarrollo sostenible se presentan en el Cuadro 1. En este sentido, se resalta el objetivo número 7, que es garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

Del objetivo número 7, se derivan 5 metas, que de aquí a 2030, se debe de:

- (i) Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos;
- (ii) Aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas;
- (iii) Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética;
- (iv) Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias;
- (v) Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países

menos adelantados, los pequeños estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

Cuadro 1: Lista de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Nº	Objetivos
1	<b>Fin de la pobreza</b> - Acabar con la pobreza en todas sus formas en todas partes.
2	<b>Hambre cero</b> - Erradicación del hambre, lograr la seguridad alimentaria y una mejor nutrición y promover la agricultura sostenible.
3	<b>Salud y Bienestar</b> - Asegurar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4	<b>Educación de calidad</b> - Garantizar una educación de calidad y equitativa y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
5	<b>Igualdad de género</b> - Lograr la igualdad de género y la autonomía de todas las mujeres y niñas.
6	<b>Agua limpia y saneamiento</b> - Asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
7	<b>Energía asequible y no contaminante</b> - Garantizar el acceso a una energía accesible, fiable, sostenible y limpia para todos.
8	<b>Trabajo decente y crecimiento económico</b> - Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9	<b>Industria, innovación e infraestructuras</b> - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10	<b>Reducción de las desigualdades</b> - Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.
11	<b>Comunidades y ciudades sostenibles</b> - Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12	<b>Producción y consumo responsables</b> - Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13	<b>Acción por el clima</b> - Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14	<b>Vida submarina</b> - Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15	<b>Vida de ecosistemas terrestres</b> - Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
16	<b>Paz, justicia e instituciones sólidas</b> - Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas.
17	<b>Alianzas para lograr los objetivos</b> - Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Fuente: Elaboración propia en base a (Naciones Unidas, 2015), (ERVIN, 2016).

Así también, el objetivo número 13, que es el de adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos. De este objetivo se derivan 5 metas, que de aquí a 2030, se debe de: (i) fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los

desastres naturales en todos los países; *(ii)* incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales; *(iii)* mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana; *(iv)* cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el fondo verde para el clima capitalizándolo lo antes posible; *(v)* promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

Destacando estos objetivos con sus respectivas metas debido a su afinidad con el tema de la investigación de lograr la eficiencia energética, mínimo costo de energía con responsabilidad social y ambiental, que acompañe el desarrollo de los países.

Dentro del contexto expuesto, la eficiencia energética puede ser aplicada en diversos sectores de un sistema eléctrico, esta investigación da un enfoque a centrales generadores de energía, específicamente centrales hidroeléctricas, siendo una oportunidad la implementación de la misma en el servicio auxiliar del proceso de generación de energía eléctrica, muchas veces omitida por las concesionarias de energía.

En esta investigación se lleva a cabo un diagnóstico energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, la misma es propiedad de la Administración Nacional de Electricidad, con capacidad instalada de 214 MW, y se encuentra ubicada sobre el Río Acaray (ACY), próximo a la localidad de Hernandarias, Paraguay.

La central cuenta con dos casas de máquinas, la casa de máquinas I, con dos grupos generadores con potencias nominales de 56 MVA cada una, y la casa de máquinas II, cuenta con dos grupos generadores con potencias nominales de 75 MVA cada uno, ambas casas de máquinas con turbinas del tipo Francis.

Es importante mencionar que en el plan maestro de la ANDE periodo 2021-2040, según ANDE (2021), expone que para el año 2021 la central hidroeléctrica Acaray cumplió 53 años de operación con los primeros grupos instalados en los años 1968 y 1969, por lo que los mismos, aunque se encuentran actualmente operativos, ya han superado ampliamente su vida útil.

Siendo esto un motivador para realización de estudios eléctricos y energéticos, como el caso de este estudio de un diagnóstico energético, delimitando el mismo al sistema del centro de control

de bombas (CCB) del sistema de drenaje, sistema de iluminación y sistemas de compuertas hidromecánicas que forman parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray.

Por ello un diagnóstico energético permite identificar como se distribuye el consumo de energía, posibilitando la toma de decisiones en materia de eficiencia energética, demostrando que la importancia de realizar un diagnóstico energético de los servicios auxiliares radica en la posibilidad de identificar el consumo energético.

En este contexto, el diagnóstico energético del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, tiene como objetivo principal evaluar el uso de energía eléctrica en los sistemas pertenecientes al servicio auxiliar, específicamente en el sistema del centro de control de bombas de drenaje, sistema de iluminación y sistema de compuertas hidromecánicas, estos sistemas fueron seleccionados considerando su alto consumo energético y su impacto en la eficiencia global de la central.

En el proceso de elaboración del estudio, se adquieren y analizan datos relevantes, como el consumo de energía, el régimen de operación y se identifican las tecnologías de los sistemas, con el propósito de determinar los sistemas del servicio auxiliar y procesos necesarios para mejorar continuamente el desempeño energético, incluida la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía en la central hidroeléctrica Acaray.

Para realizar el estudio son utilizadas las normas de la familia de normas ISO 50000, que son guías en la implementación y administración de sistemas de gestión de energía, las mismas están establecidas por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN) y fueron desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), de acuerdo con OECD (2016), la ISO no es una organización internacional tradicional, ni una organización intergubernamental debido a la ausencia de un tratado constitutivo, ni es una organización no gubernamental. La misma tiene un carácter híbrido, como una organización cuasi gubernamental, a medio camino entre lo intergubernamental y lo no gubernamental.

En Paraguay fue adoptada la norma ISO 50001 como referencia técnica para la gestión de la energía, específicamente la INTN Norma Paraguaya (NP) ISO 50001 primera edición, del año 2015, utilizada en el documento como marco de referencia y una guía reconocida internacionalmente para gestionar y mejorar la eficiencia energética de los sistemas. De esta forma permite a las organizaciones adoptar un enfoque para el uso eficiente de la energía en sus procesos y operaciones.

En el estudio, conjuntamente, es utilizada la norma INTN NP ISO 50002 primera edición, del año 2023, en la determinación de los requisitos que conduzcan en la realización del diagnóstico energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar.

Finalizando, se destaca que, en los últimos años las investigaciones relacionadas con la eficiencia energética y sistemas de gestión energética presentan un crecimiento significativo, especialmente en aquellos países comprometidos con los objetivos de desarrollo sostenible.

En este sentido, la adopción de estándares internacionales, como la norma ISO 50001 ha impulsado la implementación de estrategias más eficientes para el uso de la energía en distintos sectores, incluyendo las centrales hidroeléctricas. A pesar de estos avances, existe una escasez científica y técnica en la evaluación energética de los servicios auxiliares de las centrales hidroeléctricas, información obtenida en la investigación, mediante una revisión sistemática de la literatura sobre el tema estudiado.

Los sistemas del centro de control de bombas, de iluminación y de las compuertas hidromecánicas, pertenecientes al servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, representan consumos eléctricos menores en comparación con la generación de las unidades generadoras.

De acuerdo con Dolores (1992), las plantas hidroeléctricas consumen menos del 1 % de la energía que producen en la alimentación de sus servicios propios para la generación. Aunque este consumo es solo un porcentaje mínimo de lo generado, es significativo, y si no se gestiona adecuadamente puede impactar negativamente en la seguridad y eficiencia de la central generadora. Sin embargo, aún no se estudian ampliamente, de forma a obtener documentos detallados que permitan establecer líneas de base energética ni identificar oportunidades de mejora en estos sistemas. Esta ausencia limita el desarrollo de políticas de gestión energética basadas en evidencia.

## 1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal es realizar un diagnóstico energético de parte del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray. A partir del objetivo principal se estableció los siguientes objetivos específicos:

- (i) Revisar, identificar y analizar los métodos utilizados y los principales estudios relacionados con las normas INTN NP ISO 50001 e INTN NP ISO 50002 aplicados al diagnóstico energético en centrales hidroeléctricas;
- (ii) Estructurar una metodología basada en las normas INTN NP ISO 50001 e INTN NP ISO 50002 en el diagnóstico energético a parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray;
- (iii) Realizar de forma cuantitativa el diagnóstico energético, con el fin de presentar una línea de base de los sistemas del centro de control de bombas, de iluminación y de las compuertas hidromecánicas, pertenecientes al servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray;
- (iv) Cuantificar las emisiones de dióxido de carbono, e identificar las características de las operaciones de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, desde un enfoque técnico, ambiental y social.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

El presente estudio se justifica por la necesidad de la evaluación del desempeño energético, con un enfoque ambiental y social, de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray. Es importante destacar que, realizar un diagnóstico energético en estos sistemas ofrece la oportunidad de identificar el uso y consumo de la energía eléctrica, proponiendo mejoras operativas, fomentando el uso racional de la energía. Por lo que, esta investigación busca aportar soluciones que integren el enfoque energético con criterios de sostenibilidad, alineados con los ODS.

## 1.3 CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este estudio, permitió generar contribuciones como:

- (i) Estudio práctico del diagnóstico energético en centrales hidroeléctricas: En relación a la implementación en un caso práctico, la misma fue aplicada a una central hidroeléctrica, permitiendo evaluar su desempeño energético basado en las normas INTN NP ISO 50001 e INTN NP ISO 50002. Destacándose por ser innovadora en la aplicación de un enfoque de eficiencia energética en la central hidroeléctrica Acaray, lo cual sirve como base para futuras implementaciones en instalaciones similares del país o de la región.
- (ii) Estructura metodológica basada en normas internacionales: La investigación estructuró un proceso para el diagnóstico energético, adaptada al contexto de centrales hidroeléctricas. Utilizando como referencia las normas INTN NP ISO 50001 e INTN NP ISO 50002, permitiendo que el estudio se convierta en una guía de referencia para estudios similares, debido a que presenta un proceso de aplicación del diagnóstico energético, el cual es presentado de forma sistemática y estandarizada, que facilita la identificación, medición y gestión del consumo energético.
- (iii) Enfoque interdisciplinar, integrando un enfoque técnico, ambiental y social: En la investigación se estudian los sistemas desde un enfoque interdisciplinar, teniendo en cuenta aspectos técnicos como el consumo, tecnología y eficiencia. Además, se incorpora un enfoque ambiental y social al cuantificar el consumo energético en términos de emisiones de dióxido de carbono y su efecto en la comunidad local. También se promueve el bienestar social mediante posibles mejoras operativas, minimizando los riesgos y enfatizando la sostenibilidad.
- (iv) Ámbito académico y práctico: Se elaboraron publicaciones científicas derivadas del estudio, contribuyendo al conocimiento en el ámbito de la eficiencia energética y el diagnóstico energético en centrales hidroeléctricas, promoviendo nuevas investigaciones con un mismo enfoque.

#### 1.4 PUBLICACIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO

- (i) Estudio de eficiencia energética en el centro de control de bombas de la central hidroeléctrica Acaray post actualización tecnológica. Artículo presentado en el evento denominado: 5º Congresso de Engenharia e Ciências Aplicadas das Três Fronteiras, el cual fue desarrollado del 17 al 20 de septiembre del 2024, en la Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz de Iguazú, Brasil. El mencionado artículo fue publicado en el libro de resúmenes del evento, con *International Standard Serial Number* (ISSN) numero 2675-4452. Mas informaciones disponibles en: <https://www.even3.com.br/mec3f2024-438909/>.
- (ii) Estudio de viabilidad en la implementación de tecnología diodo emisor de luz (LED) y su contribución a la eficiencia energética en la presa Acaray. Artículo presentado en el *Workshop* de Trabajos de Investigación durante el evento denominado: XX Encuentro Científico Tecnológico 2024, el cual fue desarrollado del 07 al 11 de octubre del 2024, en la Universidad Nacional del Este - Facultad Politécnica, Ciudad del Este, Paraguay. Mas informaciones disponibles en: <https://www.ect2024.fpune.edu.py/>.
- (iii) Diagnóstico y estrategias que contribuyan a la eficiencia energética de los servicios auxiliares. Artículo presentado en el evento denominado: Vigésimo Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRE, XX ERIAC, el cual fue desarrollado el 25 a 29 de mayo del 2025, en el Nobile Hotel *Convention*, Ciudad del Este, Paraguay. El mencionado artículo será publicado en el acervo técnico del evento, con *International Standard Book Number* (ISBN). Mas informaciones disponibles en: <https://xxeriac.com.py/>.
- (iv) Revisão sistemática da literatura acerca de diagnósticos energéticos e da aplicação das normas ISO 50001 e ISO 50002 em usinas hidrelétricas: um estudo pelo método Proknow-C. Artículo presentado en el evento denominado: VI Congresso de Tecnologias, Engenharias e Ciências Exatas, el cual será desarrollado del 01 al 03 de julio del 2025, en la Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Foz de Iguazú, Brasil. Mas informaciones disponibles en: [https://server2.midas.unioeste.br/sgev/eventos/VI CONTECE](https://server2.midas.unioeste.br/sgev/eventos/VI%20CONTECE).
- (v) Tecnología y sostenibilidad en la gestión energética: Un estudio de caso real sobre la norma ISO 50001 y su contribución a la sociedad. Artículo enviado para su consideración, a la revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Con ISSN en papel, número 1668-0030 o ISSN *online*, número: 1850-0013. La revista se enfoca en estudios de la ciencia y la sociedad. CTS es regional y evalúa los artículos bajo una perspectiva plural e interdisciplinaria. Mas informaciones disponibles en: <https://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/index>.

## 1.5 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

**En el capítulo 1**, se desarrolla la introducción, exponiendo la problemática del estudio, proporcionando un contexto tanto a nivel global como local, lo que permite un mejor panorama y comprensión del tema de investigación. Se presentan el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación del estudio, y las contribuciones técnicas, sociales, ambientales y académicas, incluyendo las publicaciones derivadas del estudio.

**En el capítulo 2**, se lleva a cabo la revisión sistemática de la literatura, considerando los resultados del método Proknow-C. Se realiza un análisis bibliográfico, estableciendo una discusión fundamentada en los antecedentes y estudios relacionados con el tema de investigación.

**En el capítulo 3**, se describen los principales conceptos técnicos relacionados a las centrales hidroeléctricas, la familia de normas ISO 50000, y los lineamientos metodológicos del diagnóstico energético. Se justifica la selección de los enfoques y metodologías. Además, se presentan los fundamentos conceptuales y teóricos incluyendo temas como diagnóstico energético, ciclo PHVA, línea de base energética y los beneficios ambientales y sociales asociados a la implementación de las normas.

**En el capítulo 4**, se detalla el enfoque metodológico utilizado para la implementación del diagnóstico energético. Se detallan las etapas desarrolladas, los procedimientos metodológicos, la planificación, la adquisición de datos, las mediciones en campo y los cálculos aplicados. Además, se incluye el método de estimación de emisiones de dióxido de carbono, con su equivalencia en plantas urbanas, como indicador del impacto ambiental y el enfoque social del estudio.

**En el capítulo 5**, se presentan y analizan los resultados obtenidos del diagnóstico energético realizado en la central hidroeléctrica Acaray. Se explica el proceso aplicado a los sistemas seleccionados, desde el punto de vista de los métodos utilizados, las herramientas y procesos. Se presentan los datos recopilados, la línea de base energética de cada sistema, así como la evaluación del desempeño técnico, con un agregado del enfoque ambiental y social. Determinando las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético de cada sistema.

**Posteriormente**, se expone la conclusión del estudio, en la que se evalúa el cumplimiento de los objetivos propuestos y se analiza sobre los resultados de la investigación. Además, se sugieren trabajos futuros que puedan ampliar o profundizar la aplicación del diagnóstico energético en centrales hidroeléctricas u otras instalaciones del sector. El estudio se complementa con la bibliografía utilizada como referencial teórico. Continuando con los apéndices, donde se explica a detalle el proceso de la revisión sistemática y sus resultados. También se incluye el histórico de operaciones de las compuertas radiales y el histórico del consumo del centro de control de bombas de la presa Acaray. El documento concluye con el anexo, que contiene informaciones complementarias sobre la investigación.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo presenta los antecedentes científicos que fundamentan el desarrollo del estudio, desde el enfoque de un análisis del estado del arte.

Se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando el método conocido como *Knowledge Development Process Constructivist* (Proknow-C). Esto permitió seleccionar los documentos alineados al tema de estudio, teniendo en cuenta factores como: (i) año de publicación, considerando documentos publicados desde el año 2016 hasta la fecha; (ii) número de citas; y (iii) contribución conceptual. Finalmente, se realiza un análisis de los documentos seleccionados, identificando las principales metodologías, enfoques y contribuciones teóricas presentes en la literatura.

De acuerdo con Lacerda, Ensslin y Ensslin (2012), Proknow-C es utilizado como herramienta en la búsqueda y el análisis de documentos, donde de forma estructurada son definidos los pasos a seguir en la revisión sistemática y de esta forma obtener un portafolio bibliográfico alineado con el objetivo del estudio, siguiendo etapas de selección, filtrado y validación documental.

A partir de este proceso, fueron identificados y citados los documentos más relevantes, como: (i) artículos; (ii) tesis; (iii) documentos; y (iv) patentes.

Los cuales sirvieron de base teórica y metodológica dando una perspectiva estratégica del estudio. De acuerdo con Moyano y Villamil (2021), la realización de revisiones de la literatura científica permite tener un conocimiento actualizado sobre un tema de interés. En el estudio, los procesos de la revisión bibliográfica fueron: (i) definición de los ejes de búsquedas; (ii) identificación las palabras claves; (iii) combinaciones específicas de las palabras claves; (iv) búsqueda referencial en las bases de datos académicas; (v) selección del portafolio bibliográfico; y (vi) análisis del portafolio bibliográfico. De esta forma, se obtuvo un portafolio bibliográfico, que representa el estado del arte de las búsquedas en eficiencia energética, centrales hidroeléctricas, diagnóstico energético y aplicación de las normas ISO 50001 e ISO 50002.

El proceso detallado de las etapas y aplicación del método Proknow-C, se encuentra disponible en el Apéndice A.

Por otra parte, para el portafolio bibliográfico, se identificaron los documentos que se encuentran alineados con el estudio, dando como resultado 45 documentos seleccionados. Los cuales fueron organizados y jerarquizados de acuerdo al número de citas, como es observado en el Cuadro 2, donde se presentan los 16 documentos con el mayor número de citas, detallando el título del documento y la disponibilidad en las bases de datos. De esta forma, se proporciona una base teórica para el desarrollo del estudio.

En este sentido, la aplicación de una revisión bibliográfica, garantiza la alineación de los documentos del portafolio con los objetivos del estudio, fundamentado la investigación.

Cuadro 2: Portafolio bibliográfico con mayor número de citaciones.

Nº	Documento	Cit.	REF	Base de datos
1	Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental	72	(MOYANO; VILLAMIL, 2021)	Google Académico; CAPES
2	A review of energy management assessment models for industrial energy efficiency	52	(HASAN; TRIANNI, 2020)	Google Académico; SCOPUS
3	Identification of drivers, benefits, and challenges of ISO 50001 through case study content analysis	42	(FUCHS; AGHAJANZADEH; THERKELSEN, 2020)	Google Académico; CAPES; SCOPUS
4	Energy audit model based on a performance evaluation system	38	(ZANARDO <i>et al.</i> , 2018)	Google Académico; CAPES; SCOPUS
5	Challenges presented in the implementation of sustainable energy management via ISO 50001:2011	27	(RAMPASSO <i>et al.</i> , 2019)	Google Académico; CAPES; SCOPUS
6	ISO 50001: 2018 and its application in a comprehensive management system with an energy-performance focus	26	(POVEDA <i>et al.</i> , 2019)	Google Académico; CAPES
7	Analysis of energy savings and CO2 emission reduction contribution for industrial facilities in USA	20	(SELIM <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico; CAPES
8	Ranking energy performance opportunities obtained with energy audit in dairies	16	(JOSIJEVIĆ; ŠUŠTERŠIĆ; GORDIĆ, 2020)	Google Académico; CAPES; SCOPUS
9	Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001: 2011	14	(LADEUTH; LÓPEZ; SOCARRÁS, 2021)	Google Académico; CAPES; SCOPUS
10	Energy audit: types, scope, methodology and report structure	13	(SHARMA; SALKUTI; KIM, 2021)	Google Académico; CAPES
11	Eficiencia energética, una herramienta para mitigar la pobreza y las emisiones	11	(ZAVALIA <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico
12	Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV	9	(VALLE; CABRERA; WONG, 2021)	Google Académico
13	The role of Energy Management System based on ISO 50001 for Energy-Cost Saving and Reduction of CO2-Emission: A review of implementation, benefits, and challenges	9	(PRASETYA <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico; CAPES
14	Las PYMES y la eficiencia energética con la ISO 50001	6	(ZAMBRANO; PÉREZ, 2021)	Google Académico
15	Eficiencia energética: una tarea para las universidades	6	(GALEANO; BETANCO, 2021)	Google Académico; CAPES
16	Energy audit proposal for industry applied to a case study in the plastics sector	5	(GARCÍA <i>et al.</i> , 2019)	Google Académico; CAPES; SCOPUS

Fuente: Elaboración propia.

Los 29 documentos restantes del portafolio bibliográfico, se encuentran disponibles en su totalidad en el Apéndice B. En el cual se detallan los demás resultados de la revisión bibliográfica. Finalmente, se realizó un análisis estructurado de los documentos del portafolio bibliográfico. Evaluando la relevancia de los documentos en función de su alineación con los objetivos de la investigación. Este proceso permitió una mejor comprensión y organización sistemática del estado del arte. Los documentos se agruparon por temas semejantes o relacionados, lo que permitió una estructuración más coherente y entendible del contenido. Analizando en detalle en las secciones siguientes.

## 2.1 CICLO PHVA Y SU APLICACIÓN EN LA GESTIÓN ENERGÉTICA BAJO LA NORMA ISO 50001

Se presentan investigaciones relacionadas con la metodología del ciclo Planificar, Hacer, Verificar, Actuar (PHVA) y su relevancia en la gestión energética en la optimización del uso de la energía en diversos sectores.

En el contexto de la gestión energética, según Moyano y Villamil (2021), el ciclo PHVA se destaca como una herramienta clave en la mejora continua, debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diversos sectores y estructuras organizacionales. De forma similar, Hasan y Trianni (2020), analizan modelos de gestión energética enfocados en mejorar la eficiencia energética industrial y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, destacando la relevancia de la norma ISO 50001 como marco metodológico.

Por otra parte, Fuchs, Aghajanzadeh y Therkelsen (2020), analizan diversos estudios de casos de organizaciones certificadas en ISO 50001, resaltando que los principales motivadores son sostenibilidad y beneficios como reducción de los costos con mejoras operativas, destacando finalmente a la ISO 50001 y su impacto en eficiencia y sostenibilidad energética. Continuando con el marco de la gestión energética, la norma ISO 50001 se posiciona como una guía fundamental, por ejemplo, Según Zambrano y Pérez (2021), analizan su aplicabilidad en las pequeñas y medianas empresas. Destacando que la norma ISO 50001 se presenta como una herramienta estratégica que permite implementar sistemas de gestión energética adaptados a las características de estas organizaciones, promoviendo un uso más racional de la energía y reduciendo costos operativos. Siendo un abordaje de interés en esta investigación.

Por su parte, Rampasso *et al.* (2019), evalúan la implementación de la norma ISO 50001, basándose en una revisión sistemática de literatura. Resaltando los obstáculos encontrados, como falta de recursos, dificultades en establecer líneas base energéticas y falta de apoyo gerencial. Además, señalan la necesidad de políticas claras y enfoques multidisciplinarios para maximizar los beneficios de la norma, como la eficiencia energética y la reducción de emisiones, promoviendo así un desarrollo más sostenible.

En este sentido, en la realización del presente estudio, se presentaron obstáculos como: (i) indisponibilidad de instrumentos de medidas con capacidad de registros en tiempos prolongados y visualización de las formas de ondas; (ii) dificultades en establecer una línea de base energética, considerando el periodo de mediciones de un año; (iii) históricos de consumos y de los mantenimientos escasos en formato digital, retrasando las labores en la búsqueda de los documentos físicos.

Continuando, de acuerdo con Gonçalves (2017), la norma ISO 50001 se caracteriza por su enfoque en la efectividad, implementación y relación con el desarrollo sostenible en el sector indus-

trial. Este estudio combina una extensa revisión bibliográfica con análisis de casos prácticos, permitiendo identificar tanto los beneficios como las limitaciones de esta norma internacional. Los resultados del análisis confirman que la implementación de la ISO 50001 es efectiva para mejorar el desempeño energético, reducir costos de energía y optimizar el uso y consumo de recursos en empresas industriales.

En este contexto, en el estudio, mediante los resultados se logró identificar el desempeño energético de los sistemas, cuantificando los costos de la energía y las emisiones de dióxido de carbono, presentando una línea de base energética la cual fue analizada en busca de estrategias para la reducir el consumo y optimizar el uso y consumo de la energía en la central hidroeléctrica.

De igual manera, según Almeida (2024), presenta un análisis del desempeño de la gestión de energía eléctrica del IFRO Campus Porto Velho Calama, con base en los criterios de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 50001. Proponiendo un estudio de caso de implementación de un Sistema de Gestión de Energía para investigar el consumo de energía en los últimos 2 años, concluyendo que un sistema de gestión energética basado en la ISO 50001 podría optimizar el consumo y fomentar una cultura sostenible.

De forma similar Gazola, Silva y Miguel (2016), exponen que las alternativas con mayores impactos hoy en día se basan en minimizar el consumo de energía y mejorar la eficiencia, esto mediante implementaciones en la Itaipu Binacional siguiendo la norma de la ABNT NBR ISO 50001:2011 de gestión de energía.

Así también Comaru (2020), presenta un estudio de caso sobre la evaluación de la implementación de un Sistema de Gestión de Energía, basado en la norma ISO 50001 en el Tribunal de Cuentas del Estado de Ceará. Se analizaron las instalaciones eléctricas, realizando un diagnóstico energético para identificar oportunidades de mejora. El estudio incluye el estado inicial de las instalaciones, el análisis teórico de los conceptos técnicos y la aplicación práctica de las directrices de la ISO 50001.

Por otro lado Calegari (2022), aborda la implementación de la norma ISO 50001, proponiendo un marco metodológico que incluye directrices estratégicas y considera aspectos gubernamentales relevantes, esto a través de una revisión sistemática de literatura.

Por su parte Lovati *et al.* (2018), analizan la implementación de un sistema de gestión energética en Ternium Brasil, en una empresa siderúrgica, un sector altamente intensivo en energía y emisiones de carbono. Destaca la necesidad de estructurar la gestión energética con objetivos, metas y planes de acción para optimizar el consumo energético, minimizar costos operativos y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. El estudio utiliza la norma ISO 50001 como base metodológica, adaptándola a procesos siderúrgicos complejos.

Así también López (2018), adopta como metodología las auditorías energéticas y normas

eléctricas en el desarrollo de un plan de gestión energética en Molinos Calcáreos SAC. Se emplearon técnicas de recolección de datos mediante instrumentos validados y análisis analítico-deductivo.

Cabe destacar que Poveda *et al.* (2019), presentan un enfoque integral para sistemas de gestión en calidad, seguridad, salud ocupacional, medioambiente, y eficiencia energética basado en las normas ISO 9001, 45001, 14001, y 50001. Se detalla una ruta de implementación en empresas, presentando beneficios como reducción del consumo energético y progreso en el cumplimiento normativo, el enfoque innovador demostró utilidad práctica y retorno de inversión, destacándose como herramienta útil para pequeñas y medianas empresas.

En materia de gestión energética, según Borri (2023), una revisión bibliográfica sobre la eficiencia energética y el consumo en las industrias brasileñas, con un enfoque en la norma ISO 50001 como sistema de gestión energética, integra la eficiencia energética en la gestión empresarial, optimizando procesos y reduciendo desperdicios. La investigación detalla cómo esta norma, basada en el ciclo PHVA es utilizada, Igualmente Serna (2019) elabora una revisión bibliográfica e implementa la norma ISO 50001 en la central San Carlos, desarrollando un modelo matemático simulado en *Matlab* que optimiza los indicadores de desempeño energético.

Así también, mediante el análisis de los documentos presentados, se evidencia que la norma ISO 50001 es aplicable en distintos sectores, como también su contribución a lo sostenibilidad y eficiencia energética.

Los estudios de (MOYANO; VILLAMIL, 2021), (HASAN; TRIANNI, 2020), y (FUCHS; AGHAJANZADEH; THERKELSEN, 2020) sirvieron como base para fundamentar el enfoque del ciclo PHVA y su vinculación con la mejora continua en la gestión energética en el estudio.

Por su parte, los aportes de (ZAMBRANO; PÉREZ, 2021), (GONÇALVES, 2017) y (RAMPASSO *et al.*, 2019) sustentaron la determinación de los objetivos y estructuración del marco metodológico del estudio, en lo que se refiere al diagnóstico energético y a la implementación de un sistema de gestión energética en institucionales o industriales.

En relación de análisis de casos reales, los estudios de (ALMEIDA, 2024), (GAZOLA; SILVA; MIGUEL, 2016), (COMARU, 2020), Y (CALEGARI, 2022) fueron utilizados para comprender cómo estructurar los procesos del diagnóstico energético e identificar indicadores de desempeño energético.

Finalmente, los documentos de (LOVATI *et al.*, 2018), (ALTAMIRANO, 2018), (POVEDA *et al.*, 2019), (BORRI, 2023) Y (SERNA, 2019), contribuyeron al desarrollo del análisis comparativo del desempeño energético y a la identificación de estrategias, abarcando aspectos como la tecnología, sociedad, gestión energética y ambiental.

## 2.2 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

En este apartado, se presentan estudios relacionados con el diagnóstico energético, destacando su importancia como herramienta en la evaluación del consumo energético y en la identificación de oportunidades de mejora.

Inicialmente, de acuerdo con Zanardo *et al.* (2018), presentan un modelo diseñado para diagnosticar el desempeño energético en empresas del sector industrial brasileño, donde los altos costos eléctricos y el bajo desarrollo en eficiencia energética afectan su competitividad. El modelo utiliza una metodología multicriterio y el Proceso Analítico Jerárquico para priorizar factores críticos en industrias brasileñas.

Sharma, Salkuti y Kim (2021), exponen metodologías aplicadas en auditorías energéticas, destacando su importancia en la mejora de la eficiencia, calidad de la energía, reducción de costos y desperdicios. Detalla tipos de auditorías, software utilizado, estructuras de informes, y campos profesionales involucrados. Siendo un documento guía para auditores y gerentes de energía en múltiples sectores.

Por su parte Ladeuth, López y Socarrás (2021), diagnostican el consumo eléctrico en la Universidad de La Guajira, utilizando como guía la norma ISO 50001:2011 y el ciclo PHVA. Los resultados destacan un consumo elevado debido al uso ineficiente de equipos. De manera similar, la presente propuesta sigue esta misma línea metodológica, con el enfoque del diagnóstico energético y el ciclo PHVA para evaluar y mejorar el desempeño energético de los servicios auxiliares de una central hidroeléctrica. En el mismo contexto, Josijević, Šušteršič y Gordić (2020), proponen una metodología de auditoría energética basada en la norma ISO 50002, utilizando análisis multicriterio para priorizar medidas de eficiencia energética. Aplicado a un caso de estudio en una empresa lechera de Serbia, la metodología permitió identificar ahorros anuales de 11 a 15% en electricidad y 20 a 23% en energía térmica. Destacando el potencial de optimizar el consumo energético y reducir costos con períodos de retorno menores a dos años.

Otro aporte es el de García *et al.* (2019), con una auditoría energética de tipo eléctrica y de nivel 2, en el sector industrial. organizadas en etapas como revisión organizacional, diagnóstico energético, identificación de potencial de ahorro y propuestas de mejora en eficiencia energética. Además Stocker (2021), evalúa el desempeño energético de una microcervecera en Buenos Aires, siguiendo la norma ISO 50001 y el modelo de auditoría energética de nivel 1 según la norma ISO 50002. Analizando el consumo de electricidad y gas licuado, evaluando la eficiencia energética de la caldera y los principales equipos.

En una línea similar Miño *et al.* (2018), evalúan el consumo energético en Textiles Indus-

triales Ambateños S.A., utilizando la norma ISO 50001. Elaborando líneas base de consumo energético y se definiendo metas respaldadas por indicadores mensurables. Igualmente Simbaña (2020), presenta un estudio donde utiliza una metodología basada en la Auditoría Energética para guiar la implementación de un sistema de gestión de energía conforme a la norma ISO 50001 en Plásticos y Brochas Wilson S.A. Se emplearon herramientas como analizadores de redes, permitiendo establecer indicadores de desempeño energético y una línea base para evaluar mejoras. Martínez *et al.* (2021), desarrollan un diagnóstico energético a la Tequilera Las Juntas S.A., utilizando la metodología del Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero, y la norma ISO 50002 para auditorías energéticas. El proceso incluyó análisis detallado del consumo energético, identificando un potencial de reducción del 25%. Posteriormente, se empleó la norma ISO 50001 para establecer planes, objetivos y metas energéticas, garantizando la mejora continua del desempeño energético.

Por su parte Ruiz (2020), emplea una auditoría energética aplicada al proceso de generación de vapor en una central termoeléctrica de biomasa. Incluye un análisis del consumo energético en un periodo de ocho meses, identificando usos significativos y desarrollando una línea base de consumo. Realizando una valoración técnica y económica de medidas de mejora.

También, Bezerra, Monte y Alves (2020), realizaron un diagnóstico energético a una empresa de metalurgia. Se evaluaron instalaciones eléctricas, como el sistema de iluminación y climatización. Combinando un análisis técnico, con la comprensión de la cultura organizacional en la utilización de la energía eléctrica, como también de las políticas energéticas, para fundamentar acciones de conservación de energía y promover eficiencia energética.

Cabe destacar que Campos (2018), utiliza un enfoque descriptivo y analítico para estudiar la gestión energética y ambiental en instituciones de educación superior de Brasil, con un análisis específico en Paraíba. Se basa en la revisión de conceptos, programas y sistemas de gestión energética y ambiental, identificando prácticas actuales y oportunidades de mejora. Incluyendo la evaluación de iniciativas sostenibles implementadas en los campus y el análisis de políticas y programas relacionados con el uso eficiente de recursos.

Finalmente Simone *et al.* (2019), presentan un método para estudiar la gestión energética y lograr el diagnóstico energético. Las medidas adoptadas en el trabajo es la del tipo pasivo sustituyendo primero lámparas, siendo así una actualización tecnológica de los equipos, con oportunidades de ahorro mediante la utilización de tecnologías más eficientes y la instalación de equipos inteligentes.

En los documentos referentes a diagnóstico energético, se puede notar diferentes enfoques metodológicos aplicados, mayormente realizados al sector industrial, institucional o educativo. Documentos como los de, (ZANARDO *et al.*, 2018) y (SHARMA; SALKUTI; KIM, 2021) sirvieron como referencia para estructurar el proceso del diagnóstico energético en esta investigación, como

por ejemplo en la identificación del tipo de diagnóstico energético aplicado, siendo en el estudio un diagnóstico tipo específico, que abarca un análisis detallado de un proyecto o sistema en específico y en el uso de los métodos adaptados a contextos reales como, la consideración de las horas no laborales y las noches, para garantizar la consideración de las variables que afectan al desempeño energético. Así también, estudios como los de, (LADEUTH; LÓPEZ; SOCARRÁS, 2021), (JOSIJEVIĆ; ŠUŠTERŠIČ; GORDIĆ, 2020) y (GARCÍA *et al.*, 2019) fueron considerados para el análisis y comparación de las normas técnicas y niveles de auditoría aplicables a los sistemas eléctricos, como los servicios auxiliares de una central hidroeléctrica. Por otra parte, estudios como los de (STOCKER, 2021), (MIÑO *et al.*, 2018) y (SIMBAÑA, 2020), abordaron la aplicación de indicadores de desempeño energético y la elaboración de líneas base, procesos realizados en el estudio. Finalmente, los documentos de (MARTÍNEZ *et al.*, 2021), (RUIZ, 2020), (BEZERRA; MONTE; ALVES, 2020), (CAMPOS, 2018) y (SIMONE *et al.*, 2019), contribuyen a la comprensión del impacto de realizar un diagnóstico energético para; (i) la toma de decisiones; (ii) en la identificación de oportunidades de mejora y (iii) en la aplicación de la eficiencia energética con beneficios directos tanto para la operación técnica como para la sostenibilidad ambiental y social.

### 2.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se presentan las metodologías y casos prácticos sobre la eficiencia energética, estos documentos explican que el uso eficiente de la energía contribuye a reducir costos operativos, reducir impactos ambientales y optimizar el desempeño energético en diversos sectores.

En este contexto, según Urteaga *et al.* (2022), la eficiencia energética en Paraguay se puede mejorar mediante acciones como la sustitución de tubos fluorescentes por tecnología LED, destacando la necesidad de políticas públicas efectivas. Por su parte Eloi *et al.* (2019), difunden conocimientos sobre eficiencia energética entre estudiantes de instituciones educativas en João Monlevade, MG. El proyecto, enfocado en niños de primero a quinto grado, utiliza actividades lúdicas para enseñar el uso eficiente de energía, promoviendo la conservación de recursos y la reducción de costos energéticos en hogares y escuelas. Incluyó un prediagnóstico energético en una escuela para identificar errores comunes y proponer mejoras simples.

Soares *et al.* (2021), en su revisión bibliográfica sobre eficiencia energética en edificios, utilizando la base de datos *Web of Science*, ha demostrado un mayor porcentaje en estudios sobre técnicas pasivas, de 74,1%, que se refieren a técnicas que no requieren el uso de equipos o modificación del mismo, sino que se basan en la optimización de las operaciones y aspectos constructivos, por otro lado, las técnicas activas, de 8,6% son técnicas que requieren del uso de equipos y sistemas para reducir el consumo de energía, como capacitores o reguladores de tensión. De esta forma se resaltan

áreas de oportunidad para futuras investigaciones. Cabe destacar que Rosario *et al.* (2021), exponen el aumentado de los estudios sobre eficiencia energética en la industria, donde los mismos abarcan eficiencia energética y toma de decisiones multicriterio.

Continuando en materia de eficiencia energética, Galeano y Betanco (2021), destacan la importancia de implementar sistemas de gestión energética en universidades que tienen la responsabilidad de fomentar prácticas sostenibles, promover la eficiencia energética reducir costos y minimizar el impacto ambiental.

Por su parte, Morais y Martins (2019), documenta un caso exitoso de sustitución de lámparas en la Universidad Federal Rural del Semiárido, la sustitución incluyó el 92,7% de las lámparas del edificio, disminuyendo la potencia instalada de 19,2 kW a 8,8 kW, teniendo una reducción de carga de 10,4kW, sin comprometer la calidad de la iluminación. Estos estudios muestran cómo la adopción de tecnologías más eficientes puede tener un impacto significativo en costos y sostenibilidad.

Igualmente Araujo, Mejía y González (2023), emplean una metodología de revisión bibliográfica y bibliométrica para analizar metodologías utilizadas en la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias. La revisión enfatiza la necesidad de adaptar las metodologías convencionales para abordar las particularidades de las universidades, permitiendo identificar prácticas efectivas y áreas de mejora.

En ese contexto Casabianca, Snoj y Marusic (2020), exponen que el análisis de la eficiencia energética en los edificios es un proceso que requiere de numerosas herramientas, identificando que estas pueden ser planillas de cálculo, o hasta la utilización de un software complejo.

También, Castiglio (2019), presenta un diagnóstico energético en un edificio del Instituto de Pesquisas Hidráulicas de la Universidad Federal de Río Grande del Sur, enfocándose en la caracterización del consumo eléctrico y las condiciones operativas de motores, bombas y sistemas de iluminación. Igualmente Valle, Cabrera y Wong (2021), nos demuestran los resultados obtenidos en la sustitución del sistema de iluminación de un edificio, por tecnologías más eficientes como las luminarias tipo LED, así también comenta que cualquier medida de ahorro energético en iluminación tendrá una repercusión importante en los costes.

Finalmente Barragán, Contreras y Estévez (2022), se enfocaron en la modernización del alumbrado público en el municipio de Mosquera, mediante la implementación de luminarias de alta eficiencia energética. Incluyó un análisis técnico y financiero del sistema existente, priorizando el uso eficiente de los recursos obtenidos por el impuesto de alumbrado.

Culminando el estado del arte se presenta el documento que fue desarrollado gracias al Banco Interamericano de Desarrollo, donde de acuerdo a Lucantonio, Sosa y Aiello (2022), el sector energético del Paraguay, se destaca por la oferta energética, donde el 76% proviene de fuentes renovables, como el 40% hidroenergía y el 36% biomasa, mientras que el 24% corresponde a derivados

del petróleo importados. De forma contradictoria, el consumo final es un 39% basado en derivados del petróleo y un 41% en biomasa, concluyendo con los desafíos para el Paraguay.

Por su parte, Armas (2023), diseñó un plan de mantenimiento basado en la toma de decisiones multicriterio para mejorar la disponibilidad de bombas centrífugas, utilizando la metodología de un proceso analítico jerárquico. De esta forma se identificaron enfoques y aplicaciones prácticas sobre la eficiencia energética desde distintos puntos de vistas como: (i) tecnológica; (ii) educativa; (iii) institucional; y (iv) social.

Estudios como los de (URTEAGA *et al.*, 2022) y (MORAIS; MARTINS, 2019) enfatizan sobre la sustitución de tecnologías convencionales por alternativas más eficientes, como la iluminación LED, destacando sus beneficios en el ahorro energético y en la reducción de emisiones. Por su parte, (ELOI *et al.*, 2019) y (GALEANO; BETANCO, 2021) destacan el rol de las instituciones educativas como impulsadoras de las buenas prácticas energéticas. Por otra parte, los documentos de (ARAUJO; MEJÍA; GONZÁLEZ, 2023), (CASABIANCA; SNOJ; MARUSIC, 2020) y (CASTIGLIO, 2019) fueron utilizados para el análisis del desempeño energético en edificaciones, aportando herramientas que complementan el diagnóstico energético de este estudio. Finalmente, los estudios de (VALLE; CABRERA; WONG, 2021), (BARRAGÁN; CONTRERAS; ESTÉVEZ, 2022), (LUCANTONIO; SOSA; AIELLO, 2022) y (ARMAS, 2023) contribuyen con informaciones sobre el contexto energético Paraguayo y análisis técnico financiero, temas de abordaje técnico y social de este estudio, en relación con la eficiencia energética.

## 2.4 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES

En este contexto, Acosta (2020), realizó un análisis de las emisiones de dióxido de carbono utilizando las normas ISO 50001 e ISO 14064-1. A partir de las facturas de energía y una adquisición de datos de la carga, concluyendo que se propusieron medidas para mejorar la eficiencia energética sin comprometer el confort. Por su parte, Selim *et al.* (2021), exploraron el impacto de auditorías energéticas en 20 sectores industriales en Wisconsin, USA, con 152 evaluaciones realizadas. Se proponen sistemas para mejorar la eficiencia energética, como sistemas de gestión de la demanda eléctrica, motores, e iluminación. Explicando el ahorro de 98 millones kWh de electricidad, con una reducción de 100 mil toneladas de dióxido de carbono, destacando la importancia de identificar oportunidades para optimizar el consumo energético y reducir emisiones industriales.

Cabe destacar que, Lagos *et al.* (2021), explican cómo el uso racional de la energía puede reducir consumos y facturas sin comprometer la calidad de vida, proponiendo soluciones como reemplazo de equipos. Además, busca fomentar comunidades sostenibles mediante una gestión ener-

gética más eficiente y accesible. En este contexto, en el estudio, mediante los resultados del diagnóstico energético y la elaboración de la línea de base energética, se proponen soluciones como optimización de las operaciones en los sistemas estudiados, y remplazo de los equipos convencionales a equipos más eficientes.

Igualmente, Prasetya *et al.* (2021), exponen como la implementación de la norma ISO 50001 como un sistema de gestión energética es capaz de mejorar el rendimiento energético, reducir costos y disminuir emisiones de dióxido de carbono. Así también, a través de estudios de caso y revisiones bibliográficas, se destacan beneficios como la optimización de activos energéticos y la eficiencia a lo largo de la cadena de suministro, resaltando el impacto positivo de esta norma en la sostenibilidad ambiental, social y económica mediante una mejor gestión de recursos energéticos.

Los documentos analizados, no solo contribuyen a un enfoque técnico, también contribuyen a un enfoque interdisciplinar, el cual fue implementado en este estudio. En este sentido, documentos como el de (SELIM *et al.*, 2021) y (PRASETYA *et al.*, 2021) destacan que implementar sistemas de gestión energética no solo reduce emisiones de dióxido de carbono sino que también tiene beneficios económicos, como la reducción en costos operativos y en las facturas de energía eléctrica. Teniendo este estudio, objetivos análogos a lo mencionado. Por su parte, (ACOSTA, 2020) y (ZAVALLIA *et al.*, 2021) destacan el impacto social, al proponer estrategias que no comprometen el confort ni la calidad de vida, alineándose con la sostenibilidad. Estos documentos, se alinean con los enfoques del estudio, como: (i) emisiones de dióxido de carbono; (ii) costo energético; y (iii) calidad de vida. Por lo tanto, el estudio engloba una gestión energética con enfoques económicos, ambientales y sociales. Alineándose al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible. De esta forma el estado del arte expone la diversidad de estudios relacionados con la gestión, diagnóstico y eficiencia energética. Estos trabajos no solo resaltan la relevancia de las normas ISO 50001 e ISO 50002 como marco metodológico, sino que también evidencian su aplicabilidad en múltiples sectores, contribuyendo a un desarrollo sostenible y eficiente.

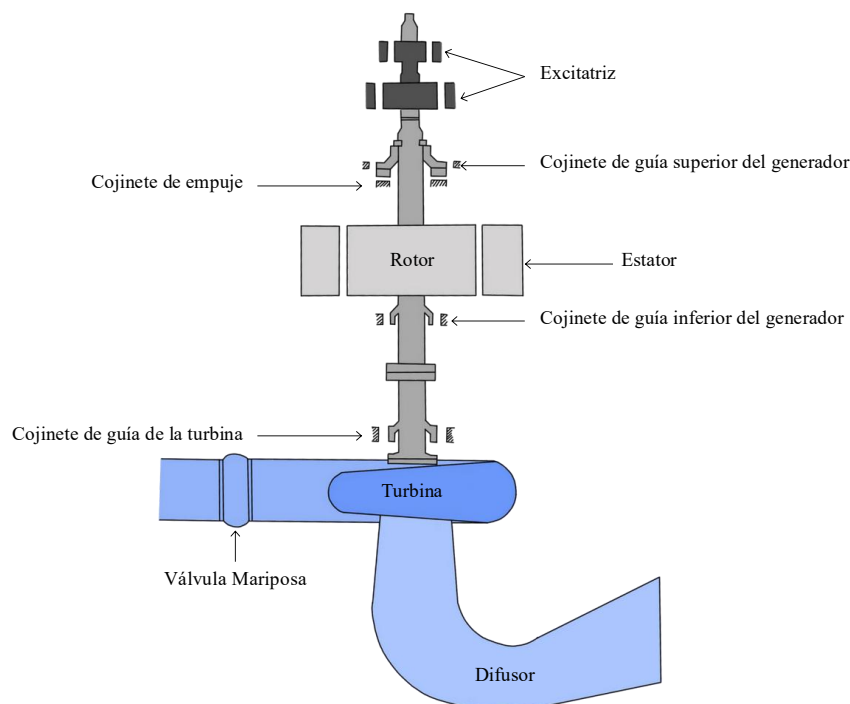
### 3 FUNDAMENTOS TEORICOS

#### 3.1 CENTRALES HIDROELÉTRICAS

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que aprovechan la energía potencial y cinética del agua para la generación de energía eléctrica, esto lo realiza mediante turbinas hidráulicas y generadores eléctricos. Según Kothari y Nagrath (2003), las centrales hidroeléctricas son el método más antiguo y económico de generación de energía, en el que se utiliza la energía potencial del agua. Este tipo de generación de energía, es considerada una fuente renovable y de baja emisión de gases contaminantes, siendo así una fuente de energía clave dentro del contexto de la transición energética y la sostenibilidad.

De acuerdo con Dolores (1992), la unidad hidrogeneradora o grupo generador, está formado por una turbina hidráulica y un generador acoplados mecánicamente entre sí, esto es observado en la Figura 1, donde el rotor se encuentra acoplado a la turbina hidráulica, transformando la energía hidráulica en movimiento angular del rotor, a su vez, el estator del generador eléctrico es fijo y se encuentra en un recinto cerrado, donde no dispone de una conexión física con el conjunto, más bien se basa en una conexión magnética mediante los polos magnéticos con que cuenta la unidad generadora, la cantidad de estos polos magnéticos varía en función a la velocidad y la frecuencia del generador.

Figura 1: Esquema del conjunto de turbina hidráulica y generador eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

En la parte superior de la Figura 1, se encuentra la excitatriz, que desempeña la función de

crear el campo magnético necesario para inducir la corriente eléctrica, la excitatriz es la encargada de alimentar las bobinas del rotor del generador con corriente continua, convirtiéndolo en un electroimán, este electroimán, a su vez, crea un campo magnético que interactúa con el campo magnético rotatorio del estator, induciendo la corriente alterna.

Por otra parte, los cojinetes guías o de empuje, tienen la función de soportar las fuerzas hidráulicas y las vibraciones del eje del rotor, en condiciones normales deben de mantener el eje centrado sobre los sellos mecánicos, estos cojinetes pueden ser lubricados por agua o aceite.

La válvula mariposa, se encarga de permitir el paso del agua a la turbina en el estado abierto, finalizando el camino del agua pasando a través del difusor. En el estado cerrado de la válvula, se impide el paso del agua, esta válvula es únicamente de apertura total, o cierre completo.

De esta forma se transforma la energía mecánica que proporciona la turbina hidráulica en energía eléctrica. En la Figura 2 es observado el conjunto estator y polos magnéticos de un caso real, siendo el mismo el de la central hidroeléctrica Acaray, apreciando los componentes mencionados como estator, rotor y los polos magnéticos.

Figura 2: Conjunto estator-polos magnéticos de la central hidroeléctrica Acaray.



Fuente: Elaboración propia.

Según la Wiatros *et al* (2023), la energía hidroeléctrica es de gran importancia en la matriz eléctrica global. En este sentido, actualmente representa la mayor fuente de electricidad renovable, destacando la flexibilidad para integrar la generación de energía eólica y solar.

Complementando, según Jiménez (2021), la generación hidroeléctrica es junto con la eólica, la fotovoltaica y la nuclear, una de las fuentes de energía que menos dióxido de carbono emiten hacia la atmósfera, por lo que se considera una fuente sostenible y de bajo costo para la producción de energía a gran escala, además se destaca el beneficio de la estabilidad al sistema eléctrico debido a su capacidad de responder rápidamente a variaciones en la demanda del sistema eléctrico, esto teniendo en cuenta que, de acuerdo con Forero (2019), el impacto de la intermitencia de las plantas solares es

de 48% y de las plantas eólicas es de 17% en el despacho ideal, lo que convierte a la generación hidroeléctrica en una opción eficiente y confiable en las matrices energéticas.

### 3.1.1 Tipos De Centrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se clasifican según su funcionamiento, tamaño y uso del embalse. De acuerdo con Kothari y Nagrath (2003), las centrales hidroeléctricas se clasifican en diferentes tipos como, de pasada con flujo libre del río, con embalse de media altura, o con gran embalse con alta altura.

Mientras que las turbinas hidráulicas se clasifican en, Pelton para plantas de almacenamiento, Francis para embalses, o Kaplan para centrales de pasada.

De modo resumido, se presentan con más detalles algunas de estas tipologías. Primeramente, con respecto a su asentamiento y morfología, se destacan los siguientes:

- (i) **Centrales de agua embalsada:** almacenan grandes volúmenes de agua mediante la construcción de una presa, garantizando generación continua debido a que el embalse almacena los caudales de los ríos afluentes. Según Núñez (2015), estas centrales poseen un embalse o presa para acumulación del caudal no utilizado durante las horas de poca carga, pueden ser operadas como plantas primarias de base, o como centrales secundarias de picos. Suelen tener una alta capacidad de generación y permiten el control de la generación en función a la demanda del sistema eléctrico.

Dentro de las centrales de agua embalsada, pueden distinguirse: (a) las centrales de regulación, que tienen capacidad para almacenar en el embalse grandes volúmenes de agua proveniente de los caudales de los ríos afluentes, regulando la generación de energía en función a la demanda. Son esenciales para cubrir las horas de punta de carga; y (b) las centrales de acumulación por bombeo, acumulan volúmenes de agua mediante bombeo del agua a un embalse superior durante los períodos de baja demanda, almacenando el agua en forma de energía potencial para las horas de punta de carga. A menudo, estas centrales cuentan con una máquina reversible, que es capaz de funcionar como bomba y como turbina.

- (ii) **Centrales de pasada o de agua fluente:** aprovechan el caudal natural de los ríos sin embalses, no existiendo por tanto almacenamiento de agua. Según Núñez (2015), las centrales de agua fluente utilizan en cada momento la cantidad de agua disponible del río. Esto representa un menor impacto ambiental, pero su generación es en función al caudal que lleva el río. Otra variante, es si la central se dispone de un desviado del río, estas centrales se denominan en derivación.
- (iii) **Pequeñas centrales hidroeléctricas:** son normalmente centrales de tamaño reducido, y están tomando especial importancia en el mundo de la energía hidráulica. Estas centrales

son de baja capacidad instalada, y son utilizadas en áreas aisladas o como complemento a otras fuentes de generación. Según Ortiz (2011), la organización latinoamericana de energía y del caribe, ha clasificado a las pequeñas centrales hidroeléctricas, con rangos de capacidad de generación, de 500 a 10000 kW.

Otra clasificación importante es de acuerdo a la altura del salto neto, las centrales hidroeléctricas en este sentido se clasifican en:

- (i) **Centrales de alta presión:** presentan saltos superiores a los 200 metros, siendo los caudales relativamente pequeños, aproximadamente 20 metros cúbicos/segundos, por unidad generadora. Mayormente se utilizan turbinas tipo Pelton, que según Núñez (2015), se caracteriza por su robustez y su rotor con impulsores en forma de cucharas, operan normalmente con grandes alturas de nivel y a muy bajas velocidades de rotación.
- (ii) **Centrales de media presión:** comprenden saltos entre 20 y 200 metros aproximadamente, con caudales de hasta 200 metros cúbicos/segundos por unidad generadora. Las turbinas utilizadas son mayormente del tipo Francis, según Núñez (2015), son turbinas hidráulicas ampliamente usadas en el mundo, pueden operar en un amplio rango de alturas de nivel y de caudales.
- (iii) **Centrales de baja presión:** es donde el salto hidráulico es inferior a los 20 metros, siendo los caudales por unidad generadora de hasta 300 metros cúbicos/segundos. Para estas alturas y caudales, son utilizadas sobre todo las turbinas Kaplan, según Núñez (2015), son turbinas de flujo axial y se caracteriza porque su rotor se asemeja a la hélice de un barco, son utilizadas en pequeños saltos, son utilizadas en pequeños saltos de agua. Por otro lado, si el salto es muy pequeño, se utilizan casi exclusivamente las turbinas tubulares o de bulbo.

### 3.2 NORMA ISO

En esta sección, se presenta el contexto de las normas ISO, según International Organization for Standardization (2025), las normas son el resultado de un acuerdo internacional entre expertos, representando los conocimientos de los expertos en su materia, considerando las necesidades de las empresas a las que representan.

Es importante mencionar que de acuerdo con International Organization for Standardization (2025), las normas se revisan cada 5 años, realizando correcciones editoriales o técnicas que deban aplicarse al documento existente.

Dentro del conjunto de normas, en esta sección se destacan: (i) normas de gestión de la calidad, utilizadas con el objetivo de obtener un trabajo más eficaz y reducir los errores de los pro-

ductos o procesos; *(ii)* normas de gestión ambiental para ayudar a reducir el impacto ambiental, disminuir los residuos y ser más sostenibles; y *(iii)* normas de gestión de la energía, para contribuir a reducir el consumo energético de los sistemas.

La norma ISO 9001:2015 de sistemas de gestión de calidad, es una norma que guía a las organizaciones para mejorar su desempeño y cumplir con los objetivos, con compromiso con la calidad de sus productos o servicios, independientemente de su tamaño o sector, según International Organization for Standardization (2025), los requisitos de la norma definen cómo: establecer, implementar, mantener y mejorar constantemente un sistema de gestión de calidad.

Por otra parte, la norma ISO 14000:2015 para gestión ambiental, es la que proporciona un marco de referencia para las organizaciones, en el diseño, implementación de un sistema de gestión ambiental y la mejora continua de su desempeño ambiental, según International Organization for Standardization (2025), la ISO 14001 es un testimonio de la dedicación de una organización a un futuro sostenible, que combina la responsabilidad medioambiental con el crecimiento empresarial estratégico.

Finalmente, la norma ISO 50001:2018 se enfoca en la gestión de la energía, sirviendo de guía para las organizaciones en un uso más eficiente de la energía eléctrica, mediante el desarrollo e implementación de un sistema de gestión energética, de acuerdo con International Organization for Standardization (2025), la norma ISO 50001:2018 proporciona requisitos para que las organizaciones: *(i)* desarrollen una política para un uso más eficiente de la energía; *(ii)* establezcan metas y objetivos para cumplir con esa política; *(iii)* utilicen datos para comprender mejor el uso de la energía y tomar decisiones al respecto; *(iv)* midan los resultados; *(v)* evalúen el funcionamiento de la política; *(vi)* y mejorar continuamente la gestión energética.

### 3.2.1 Familia De La Norma ISO 50000

En relación a las normas seleccionadas, se presentan las bases teóricas de la familia de la norma ISO 50000, esto con el objetivo de mejorar la comprensión de los temas desarrollados en el estudio. Se aborda la familia de la norma ISO 50000, detallando las mismas, con énfasis en las normas aplicadas en el estudio. Además, se presentan los conceptos teóricos necesarios, que facilitarán la comprensión y el entendimiento.

La estructura de la familia de la norma ISO 50000 posibilita la utilización conjunta de las normas de la misma familia, con el propósito de complementar los aspectos de un sistema de gestión energética. De esta manera, se encuentran publicadas normas técnicas complementarias a la norma ISO 50001:2018. De acuerdo con Poveda *et al* (2019), las normas ISO establecen requisitos y recomendaciones para un sistema de gestión, promoviendo, difundiendo y exigiendo buenas prácticas en

las organizaciones, tanto a nivel estratégico como operativo de procesos y proyectos. Donde la norma ISO 50001:2018 de gestión energética, establece los requisitos para un proceso sistemático, orientado por datos y basado en hechos, enfocado a la mejoría continua del desempeño energético, siendo el desempeño relacionado al consumo energético, al uso de la energía y a la eficiencia.

En el contexto de las normas según Fossa y Sgarbi (2017), fue necesario desarrollar normativas adicionales centradas en aspectos específicos de un sistema de gestión energética, con el objetivo de facilitar la comprensión y apoyar la aplicación de la ISO 50001:2018.

En este sentido, el Cuadro 3 presenta las principales normas que complementan a la norma ISO 50001:2018, donde se da una descripción de las mismas, con sus respectivos alcances. Estas normas actúan de forma complementaria a la ISO 50001:2018, proporcionando una estructura de procesos específicos que contribuyen a la aplicación práctica de un sistema de gestión energética.

La norma ISO 50002-1:2025, establece los requisitos para implementar un diagnóstico energético eficaz, orientado a identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético en la organización. Por otro lado, la norma ISO 50003:2021, establece los requisitos que deben cumplir los organismos encargados de auditar y certificar los sistemas de gestión energética, esta norma especifica los requisitos de: (i) competencia; (ii) coherencia; e (iii) imparcialidad, en las auditorías y la certificación de sistemas de gestión energética. Mientras que la norma ISO 50004:2020 es una guía para implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, esta norma proporciona orientación práctica con ejemplos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética, de acuerdo con el enfoque sistemático de la norma ISO 50001:2018.

Finalmente, la ISO 50006:2023 orienta sobre la medición del rendimiento energético mediante líneas base energéticas e indicadores de rendimiento energético, esta norma proporciona orientación a las organizaciones sobre cómo establecer, utilizar y mantener indicadores de desempeño energético y líneas base energéticas, como parte del proceso de medición del desempeño energético. Conjuntamente, estas normas complementarias constituyen un marco técnico y metodológico, que apoya a las organizaciones en la implementación efectiva de políticas energéticas sostenibles.

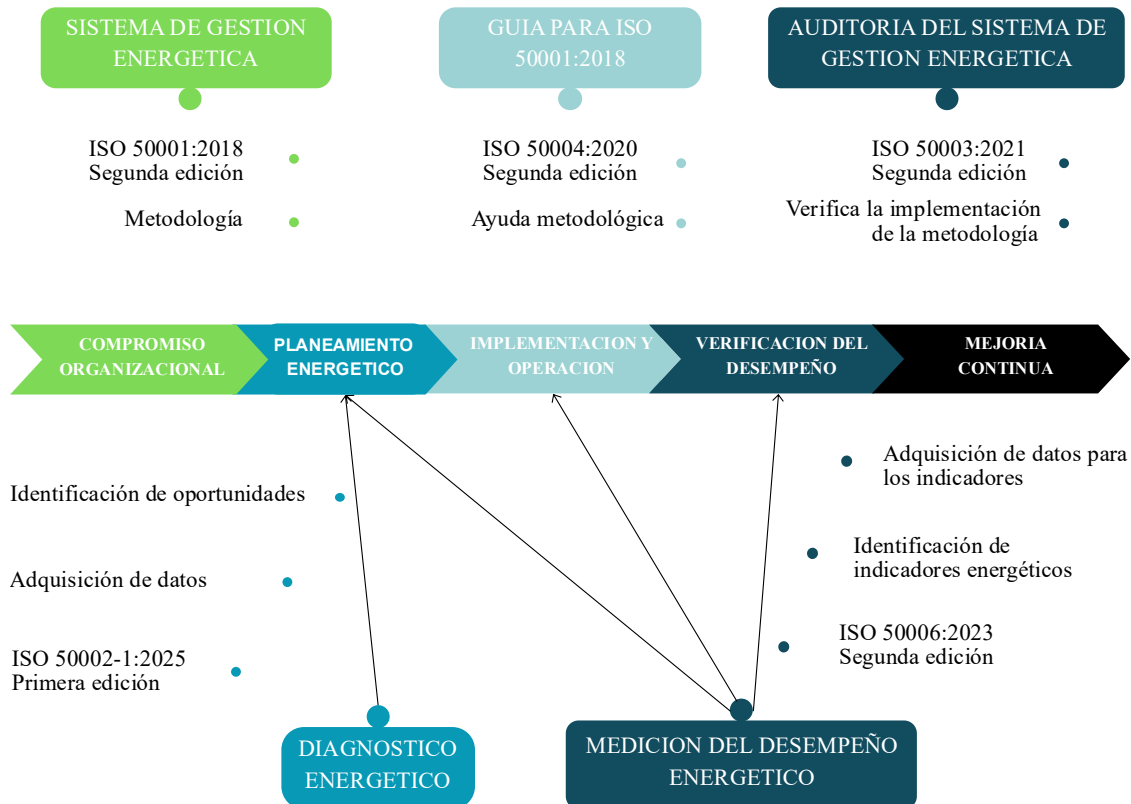
Cuadro 3: Estructura complementarias a la norma ISO 50001.

Norma	Descripción	Alcance
ISO 50002-1:2025	Diagnóstico energético	Requisitos con orientación para su uso.
ISO 50003:2021	Sistemas de gestión de la energía	Requisitos para organismos de auditoría y certificación de los sistemas de gestión de la energía.
ISO 50004:2020	Sistemas de gestión de la energía	Guía para implementar, mantener y mejorar un Sistema de gestión de energía.
ISO 50006:2023	Sistemas de gestión de la energía	Medición de la eficiencia energética mediante líneas y de origen energético, rendimiento energético, principios, generalidades y lineamientos.

Fuente: Elaboración propia en base a (FOSSA; SGARBI, 2017);(International Organization for Standardization, 2025).

De acuerdo con Fossa y Sgarbi (2017), este conjunto de normas, presentan informaciones de los principales componentes de la norma ISO 50001, y profundiza en el análisis de aspectos de evaluación de la conformidad de los sistemas con intención de certificación, con excepción de la norma ISO 50015, que se encuentra en desarrollo. La familia de la norma ISO 50000 es observada en la Figura 3.

Figura 3: Familia de la norma ISO 50000.



Fuente: Elaboración propia en base a (FOSSA; SGARBI, 2017); (International Organization for Standardization, 2025).

### 3.2.2 ISO 50001:2018

La norma especifica los requisitos de un sistema de gestión energética para una organización. De acuerdo con ISO (2018), la norma ISO 50001 se ha vuelto cada vez más importante desde su publicación hace siete años. En este sentido, para finales de 2016 se emitieron un total de 20216 certificados ISO 50001, según la propia encuesta ISO, que revela que las certificaciones de la norma aumentaron un 69 % durante ese año.

La aplicación de la norma es orientada a cualquier organización, sin importar su tamaño, sector, ubicación o tipo de energía utilizada. Además, se enfoca en actividades bajo el control de la organización que afectan el desempeño energético, promoviendo una gestión energética sistemática sin imponer metas específicas. Por otro lado, esta norma puede ser aplicada de forma independiente o integrada con otros sistemas de gestión existentes.

En el contexto de un sistema de gestión energética, es importante considerar las limitaciones establecidas por la propia norma. Según la INTN NP ISO 50001 (2015), el documento no se aplica al uso de productos por usuarios finales fuera del alcance y fronteras definidas del sistema de gestión energética. Asimismo, no es aplicable al diseño de productos fuera de las instalaciones, equipos, sistemas o procesos que consumen energía.

Por el contrario, la norma sí se aplica al diseño y adquisición de instalaciones, equipos, sistemas o procesos que consumen energía, siempre que se encuentren dentro del alcance y las fronteras del sistema de gestión energética, establecidos por la organización.

Esta aclaración resulta fundamental para delimitar correctamente los componentes evaluados en un diagnóstico energético, asegurando que los resultados obtenidos correspondan a las condiciones reales de consumo energético.

La norma ISO 50001:2018 establece un Sistema de Gestión Energética, que se basa en la estructura de mejora continua, conocida como Planificar, Hacer, Verificar y, Actuar (PHVA), el cual es utilizado en las organizaciones para obtener un sistema de gestión energética.

En este contexto, la norma proporciona a la organización una estructura sistemática que le permite: *(i)* establecer y alcanzar sus objetivos energéticos; *(ii)* implementar acciones correctivas o de mejora según sea necesario; y *(iii)* demostrar la conformidad del sistema con los requisitos definidos en la norma ISO 50001:2018.

De esta forma, se promueve una mejora continua del desempeño energético, consolidando una gestión más eficiente, responsable y alineada con los principios de sostenibilidad. Según Fuchs, Aghajanzadeh y Therkelsen (2020), la norma ISO 50001 es relativamente nueva en comparación con otras normas de gestión ISO importantes, como la ISO 9001 y la ISO 14001, por lo que existen pocas pruebas de propuestas de valor bien definidas para la implementación de un sistema de gestión de la energía ISO 50001.

Finalmente, la implementación de un sistema de gestión energética comprende la formulación de una política energética, así como el establecimiento de objetivos, metas y planes de acción enfocados a la mejoría continua, relacionando el consumo de la energía, el uso de la misma y la eficiencia. Además de que las acciones deben alinearse con los requisitos legales y otros compromisos asumidos por la organización.

### 3.2.3 ISO 50002-1:2025

En relación a la familia de normas ISO 50000, este estudio adopta como guía metodológica la ISO 50002-1:2025, debido a que esta norma está diseñada para complementar a la ISO 50001:2018, que se enfoca en el desarrollo de sistemas de gestión energética y el mismo requiere que el desempeño energético de los sistemas mejore progresivamente con el tiempo.

Un diagnóstico energético, conforme a lo establecido por la ISO 50002-1:2025, abarca “Un análisis detallado del desempeño energético de una organización, equipo, sistema o proceso. Se basa en la medición y observación adecuadas del uso, la eficiencia y el consumo de energía.” (INTN ISO 50002, 2023).

El propósito principal de la norma ISO 50002-1:2025, es establecer un conjunto mínimo de requisitos para llevar a cabo un diagnóstico energético eficaz, orientado a identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético.

Esta norma puede ser aplicada como complemento a la ISO 50001:2018, pudiendo ser aplicable a cualquier tipo de organización y a todas las formas de energía, independientemente de su uso o cantidad, proporcionando una base estructurada para evaluar y optimizar el consumo energético.

Si bien, un diagnóstico energético no es un requisito establecido para la norma por la ISO 50001:2018, es un proceso necesario en la investigación. Esto debido a que un diagnóstico energético implica un análisis detallado del desempeño energético de un sistema y se basa en mediciones y observaciones del uso y consumo de energía.

El proceso de un diagnóstico energético, según lo establecido por la norma, se compone de una serie de etapas que garantizan un análisis del desempeño energético de los sistemas, estas etapas incluyen: (i) la planificación del diagnóstico energético, donde se definen los objetivos, el alcance y los recursos necesarios; (ii) la reunión de apertura y la recolección inicial de datos relevantes; (iii) la elaboración del plan de mediciones, especificando los puntos críticos y los métodos de recolección; (iv) la realización de la visita *in situ*, para validar las condiciones reales de operación; (v) el análisis de los datos obtenidos, identificando patrones y oportunidades de mejora; (vi) la elaboración del informe de diagnóstico energético con las conclusiones y recomendaciones; y finalmente, (vii) la reunión de cierre, en la cual se comunican los resultados.

Se destaca que la importancia de utilizar la INTN NP ISO 50002:2023 como guía en un diagnóstico energético radica en que proporciona un marco metodológico para un análisis detallado del desempeño energético de una organización, equipo, sistema o proceso, basado en mediciones y observaciones del uso de la energía, de la eficiencia energética y del consumo, así también contribuye en la relevancia del diagnóstico, siendo un estándar internacional de eficiencia energética y sostenibilidad. En este sentido, INTN NP ISO 50001 (2015), define la eficiencia energética como la razón entre la energía requerida y la energía consumida, siendo una relación cuantitativa entre una salida de desempeño, servicios, productos o energía, y una entrada de energía.

Un diagnóstico energético, basado en la norma INTN NP ISO 50002:2023, debe cumplir con los siguientes principios:

- (i) Coherencia con el alcance, las fronteras y los objetivos establecidos;
- (ii) Mediciones del consumo energético y observaciones al uso de la energía;

- (iii) Representatividad de los datos en relación con los sistemas, procesos y equipos;
- (iv) Cuantificar el desempeño energético e identificar oportunidades de mejora;
- (v) Trazabilidad en el proceso de adquisición, validación y análisis de datos;
- (vi) Oportunidades de mejora del desempeño energético basadas en análisis técnicos, ambientales y económicos.

De acuerdo con INTN ISO 50002 (2023), los resultados del diagnóstico incluyen información sobre el uso y el desempeño actual, enumerando las recomendaciones por prioridad para mejoras en términos de rendimiento energético y beneficios financieros. En el estudio, mediante la realización del diagnóstico energético a los sistemas seleccionados, fue posible identificar el uso y consumo de la energía, analizando el desempeño actual de los sistemas, con propuestas de mejoras en términos técnicos, económicos, ambientales y sociales, implementando la norma INTN 50002 como guía para el logro de un diagnóstico energético eficaz.

En relación al nivel de detalle del diagnóstico energético, la elección depende de las necesidades de los sistemas u organización. Según Palma (2022), se pueden seleccionar uno o más niveles de evaluación como guía para determinar el alcance y el nivel de detalle del diagnóstico energético.

Es importante destacar que, “El nivel de detalle apropiado requerido para un diagnóstico depende del objeto del diagnóstico, los usos de energía, el consumo de energía y los recursos disponibles para el diagnóstico.” (INTN ISO 50002, 2023). En este sentido, los criterios requeridos para un diagnóstico se resumen en el Cuadro 4, donde se detallan los aspectos considerados para definir el nivel de detalle del diagnóstico energético según la norma INTN NP ISO 50002:2023.

Cuadro 4: Nivel de detalle del diagnóstico energético.

Nivel	Descripción
1	Descripción general cuantitativa basada en datos generales, destinada a determinar el potencial para mejorar el rendimiento energético, incluye una evaluación de los datos energéticos generales para analizar el uso y los patrones de energía, identifica oportunidades sin costo y de bajo costo para mejorar el desempeño energético.
2	Determina el consumo de energía a través de un análisis más detallado de equipos, sistemas y características operativas. Incluye mediciones y pruebas en el lugar donde se encuentre dentro del alcance de la auditoría. Presenta un análisis económico, que normalmente incluye un retorno de la inversión.
3	Investigación más detallada de oportunidades con consideración de estrategias empresariales en el diagnóstico. Proporciona niveles de precisión de grado de inversión para informar el proceso de inversión de capital. Los datos de energía deben monitorearse durante un período de tiempo suficiente para capturar las diversas condiciones de operación y las variables relevantes.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN NP ISO 50002, 2023).

Es importante mencionar que el diagnóstico energético puede ser realizado por la propia

organización, utilizando recursos internos. Finalmente, según INTN ISO 50002 (2023), al realizar un diagnóstico energético se debe cumplir unos requisitos establecidos como formación técnica adecuada, conocimiento de la norma ISO 50002:2023, y estar familiarizado con los sistemas caso de estudio.

### 3.3 CICLO PHVA

El ciclo PHVA, también conocido como Ciclo de Deming o PDCA del inglés *Plan-Do-Check-Act*. Es una metodología para la mejora continua de los procesos o sistemas. Se basa en dividir por etapas las operaciones en busca de la gestión eficaz, estas etapas son: (i) Planificar; (ii) Hacer; (iii) Verificar; y (iv) Actuar. Correspondiendo a un ciclo continuo que se repite de manera a fomentar la eficiencia, la calidad y la innovación en las organizaciones.

De acuerdo a García, Quispe y Ráez (2014), a partir del año 1950, Deming empleó el ciclo PHVA como introducción a todas y cada una de las capacitaciones que brindó, método que fue inicialmente desarrollado por Walter Shewhart en el año 1920, de esta forma el ciclo PHVA ha recorrido el mundo como símbolo de la mejora continua.

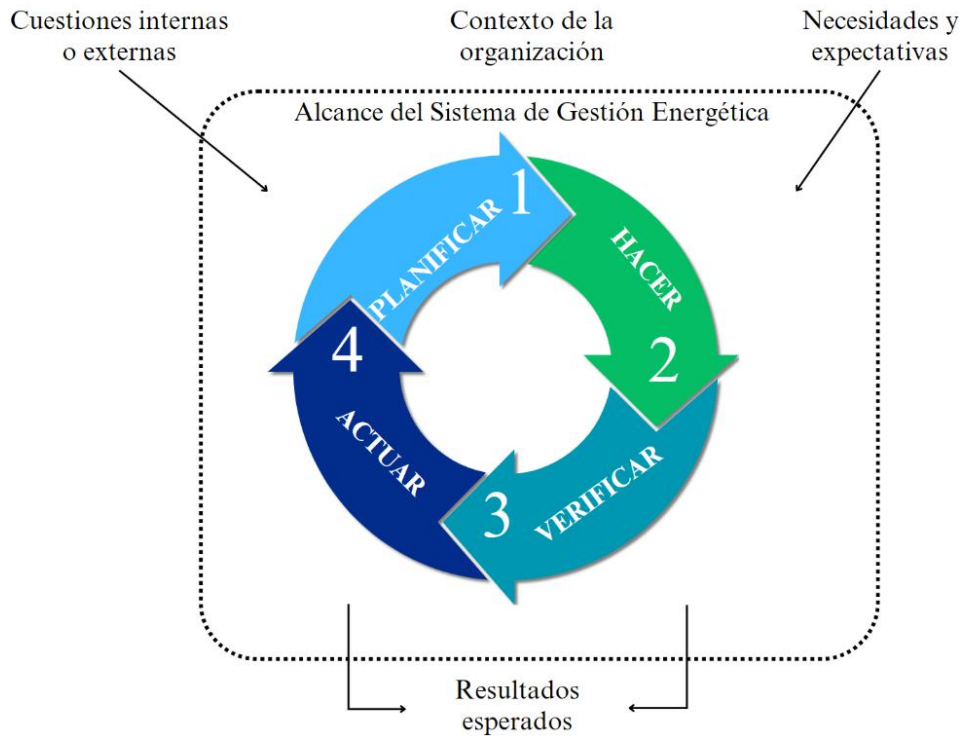
Este método es utilizado en sistemas de gestión, incluyendo los sistemas de gestión energética, su aplicación sistemática permite identificar oportunidades de mejora, implementar acciones correctivas y evaluar su efectividad de forma continua.

Según Moyano y Villamil (2021), el ciclo PHVA se destaca como una herramienta clave en la mejora continua, debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a diversos sectores y estructuras organizacionales.

A continuación, se describen los procesos de la estructura del ciclo PHVA conforme a la norma ISO 50001, la cual se basa en esta metodología de mejora continua, observado en la Figura 4, el proceso es:

- (i) **Planificar:** Implica comprender el contexto de la organización, identificando las informaciones necesarias, como: (a) objetivos; (b) misión; (c) visión; (d) metodología operacional. Estableciendo una política energética bien definida, así como designar un equipo responsable de la gestión de la energía. Además, este proceso incluye, (e) considerar acciones para gestionar riesgos y aprovechar oportunidades. Para planificar es necesario realizar un diagnóstico energético, que identifique los usos de la energía, defina los indicadores de desempeño energético, y establezca una línea base energética. Considerando estas etapas es posible fijar los objetivos, metas energéticas y los planes de acción necesarios para lograr mejoras en el desempeño energético conforme a la política energética establecida por la organización.

Figura 4: Ciclo Planificar; Hacer; Verificar; Actuar.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN NP ISO 50001, 2015).

- (ii) **Hacer:** Se implementan los planes de acción, controlando las actividades del sector de operación y mantenimiento, mediante un apoyo en sus operaciones y las comunicaciones. Es necesario considerar el desempeño energético en los procesos.
- (iii) **Verificar:** Se realizan tareas como el monitoreo, medición, y análisis de los planes de acción, los mismos deben ser realizados por los responsables de la gestión energética y de los directivos del desempeño energético.
- (iv) **Actuar:** Se tratan las no conformidades y se realiza la mejora continua del desempeño energético.

Se destaca que una de las características del ciclo PHVA es su ciclo iterativo, lo que significa que, al concluir un ciclo, los aprendizajes se utilizan en el siguiente ciclo, esto permite la mejora constante independiente del ciclo el cual se desarrolle.

Es importante mencionar que los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética son:

- (i) Puede ser aplicado a cualquier organización, sin importar su tipo, tamaño, complejidad, ubicación geográfica, cultura organizacional o los productos y servicios que ofrece;
- (ii) Corresponde a las actividades que impacten el desempeño energético y que estén gestionadas y controladas por la organización;
- (iii) Es aplicable sin restricciones en cuanto a la cantidad, uso o tipo de energía consumida;

- (iv) Exige la demostración de una mejora continua en el desempeño energético, pero no define niveles específicos de mejora que deben alcanzarse;
- (v) Puede utilizarse de manera independiente o alinearse con otros sistemas de gestión.

De esta forma el método se basa en una gestión basada en datos, evidencias y retroalimentación estructurada.

Finalmente, los beneficios de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001, son:

- (i) Proporciona una estructura metodológica sistemática orientada a la mejora continua del desempeño energético;
- (ii) Enfatiza la gestión energética a las actividades operativas;
- (iii) Contribuye a la reducción de costos operativos mediante el uso eficiente de la energía;
- (iv) Cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad, al disminuir las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético. Alineando las prácticas energéticas institucionales con los compromisos ambientales internacionales.

### 3.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético o *Energy Audit*, conforme a los estándares internacionales, constituye una herramienta dentro de los sistemas de gestión energética, ya que permite analizar de forma estructurada el uso y consumo de la energía dentro de una organización. Su finalidad es identificar, cuantificar y reportar oportunidades de mejora del desempeño energético, permitiendo optimizar procesos, reducir pérdidas y aumentar la eficiencia energética de los sistemas evaluados.

Este proceso se basa en principios que garantizan su eficacia, confiabilidad y utilidad para la toma de decisiones, brindando información precisa sobre la cual se pueden implementar acciones de mejora. Según Guerrero (2019), un diagnóstico energético constituye una herramienta para saber cuánto, cómo, dónde y porqué se consume la energía eléctrica dentro de una empresa. En el estudio, estas informaciones fueron de relevancia para el análisis del desempeño de los sistemas seleccionados, logrando no solo comprender lo mencionado, sino también aspectos ambientales y sociales.

El diagnóstico energético, tiene como objetivo de identificar los sistemas de mayor consumo y cuantificar la energía potencialmente desperdiciada.

De esta forma, se convierte en una herramienta estratégica para mejorar la eficiencia energética, optimizar recursos y reducir impactos ambientales. En este contexto, un diagnóstico energético abarca las siguientes etapas:

- (i) Identificación de los sistemas, las áreas principales, las fuentes de energía, la capacidad instalada, el régimen de operación y los consumidores energéticos. También se analizan

- las facturas del suministro de energía para conocer los patrones de consumo;
- (ii) Adquisición de datos técnicos mediante mediciones y registros, lo que permite identificar cómo se distribuye el consumo de energía entre los distintos o sistemas.
  - (iii) Evaluación de la situación energética, en el caso práctico del estudio, la evaluación permitió elaborar la línea de base energética, determinando la situación real de los sistemas.
  - (iv) Determinación de indicadores energéticos, permitiendo evaluar la eficiencia energética de las operaciones, sirviendo como base para identificar oportunidades de mejora y ahorro. Además, se proponen medidas correctivas que contribuyan a la mejora del desempeño energético, considerando también su viabilidad técnica y económica.

Este enfoque estructurado permite no solo mejorar el rendimiento energético, sino también alinear la operación de la instalación con principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

El diagnóstico energético en la central hidroeléctrica Acaray fue propuesto como un estudio diseñado para comprender el consumo de energía de los sistemas, planificando y llevando a cabo el diagnóstico, con el propósito de analizar las variables energéticas e identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y el uso adecuado de los recursos energéticos.

#### 3.4.1 Línea De Base

En el contexto de la gestión energética, se establece una la línea de base energética como un punto de referencia cuantitativo esencial para evaluar el desempeño energético de un sistema. Esta línea de base corresponde a un período determinado y permite realizar comparaciones objetivas entre el estado actual del consumo energético y el comportamiento previo a la implementación de mejoras.

Además, la línea de base cumple una función clave en el cálculo de los ahorros energéticos, al actuar como marco comparativo para medir los efectos de las acciones implementadas.

La línea de base se puede definir como, “referencias cuantitativas que proporcionan una base de comparación del rendimiento energético.” (INTN ISO 50001, 2015).

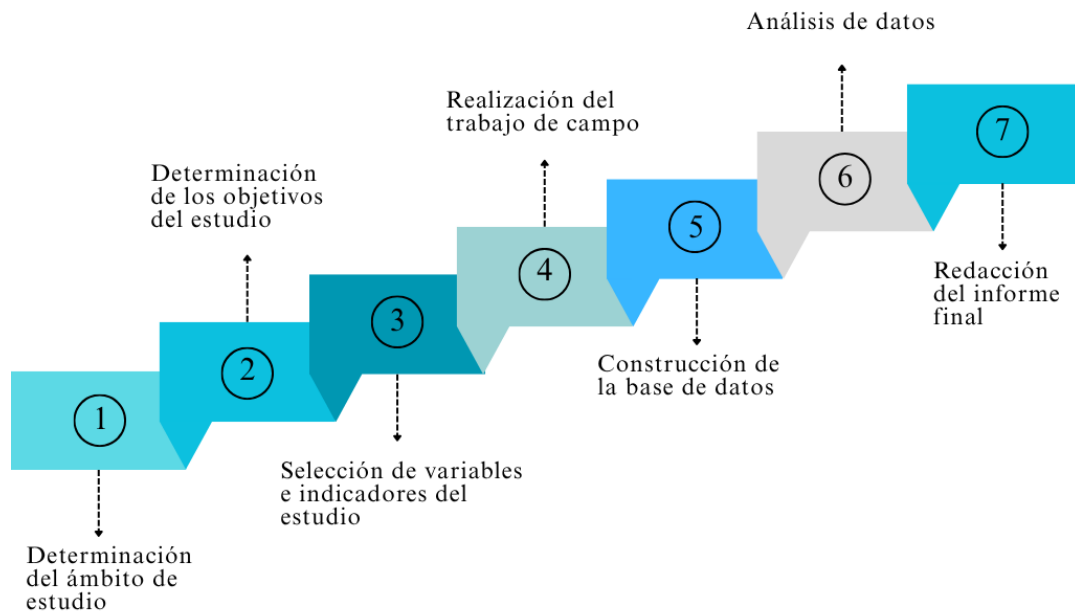
Complementando, en el documento metodología de estudios de línea de base, explica Mediano (2014), que la finalidad de una línea de base es describir la situación inicial, así como el contexto, a los efectos de que esta información pueda compararse con mediciones posteriores y de esta manera evaluar objetivamente la magnitud de los cambios logrados en virtud de una implementación.

En este sentido, según Comaru (2020), explica que la línea de base energética sirve de referencia para comparar el desempeño energético de la organización antes y después de las medidas que componen el sistema de gestión energética.

En la Figura 5 se observa el proceso aplicado en la determinación de la línea de base de los

sistemas estudiados.

Figura 5: Proceso del estudio de línea de base utilizado.



Fuente: Elaboración propia.

Así también, según Simbaña (2020), expone que la línea base energética se establece a partir de los resultados del diagnóstico energético, la cual establece una referencia que nos permite comprobar entre el estado actual de desempeño de la organización y el estado inicial en el que se encontraba antes de la implantación del sistema de gestión energética.

Cada etapa contribuye al desarrollo estructurado y ordenado de la línea de base, donde se desarrolló de la siguiente forma:

- Determinación del ámbito de estudio: se definió los límites y fronteras del análisis, identificando los sistemas y procesos en el diagnóstico energético;
- Determinación de los objetivos del estudio: se estableció el propósito principal del diagnóstico. El mismo es enfocado a evaluar la situación energética actual como base para futuras mejoras.
- Selección de variables e indicadores del estudio: se identificaron los indicadores de desempeño energético y como obtener los datos para cada sistema.
- Realización del trabajo de campo: incluyo todas las actividades necesarias para la adquisición de los datos *in situ*, pudiendo ser sobre el consumo y operación de los sistemas.
- Construcción de la base de datos: se organizó y digitalizo la información para su análisis técnico posterior.
- Análisis de datos: se interpretó los valores registrados y analizo los resultados con los indicadores definidos, permitiendo evaluar el desempeño de los sistemas.

- (vii) Redacción del informe final: se consolidó los hallazgos del diagnóstico, incluyendo la línea de base energética y recomendaciones, representando el cierre formal del estudio.

En este estudio, la línea de base representa la etapa final del diagnóstico energético, el cual nos proporciona los parámetros de base para la gestión energética. Según Stocker (2021), la línea de base energética sirve para poder estimar el consumo esperado de la energía. Así también explica que sirve como referencia al momento de implementar un sistema de gestión energética y poder observar avances o retrocesos en el desempeño energético.

En este sentido, a partir de esta línea de base, se podrán medir y comparar los cambios en el desempeño energético, asegurando un seguimiento sistemático de las mejoras implementadas. La organización debe mantener y documentar esta referencia como parte integral de su sistema de gestión energética.

En el documento, la importancia de la línea de base radica en que proporciona una referencia inicial, facilitando comparaciones futuras del desempeño energético de los sistemas y el monitoreo de mejoras en la eficiencia energética.

### 3.5 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES

La aplicación de las normas ISO 50001 e ISO 50002, permite establecer indicadores de desempeño energético, y determinar una línea de base energética técnica que puede ser utilizada para futuras decisiones. En este sentido, un diagnóstico energético, posibilita que la organización identifique y evalúe el uso y consumo de la energía eléctrica. Siendo el primer paso en la implementación de la mejora continua.

Desde un enfoque interdisciplinar, la implementación de estas normas también genera beneficios ambientales y sociales. Esto debido a que el enfoque de las normas es actuar más en la prevención que en la reparación de posibles daños ambientales, promoviendo así una gestión responsable de los recursos. En este sentido, los beneficios de la implementación de las normas pueden clasificarse en:

(i) **Beneficios ambientales:**

Desde un enfoque ambiental, la reducción del consumo energético de los sistemas, contribuye a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Esto debido a que, al disminuir el consumo, por consiguiente disminuye la demanda de generación eléctrica, pudiendo ser estas de fuentes fósiles o no renovables. De acuerdo con Bassani y Osorio (2017), la estructura de la norma está diseñada, principalmente, para reducir los costos, por lo que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero puede considerarse un efecto indirecto.

En este sentido, según Zavalía *et al.* (2021), explica que, con equipos más económicos y de

menor consumo, disminuiría el costo de las facturas, preservando los recursos naturales y se mitigarían las emisiones de gases de efecto invernadero, construyendo una sociedad ambientalmente más sostenible. Además, en los casos donde la fuente de generación es mediante la utilización de recursos naturales, se reduce la dependencia de esos recursos naturales, como el agua en el caso de las hidroeléctricas. Lo que disminuye los impactos negativos en los ecosistemas. En este contexto, según Bassani y Osorio (2017), si se logra una mayor eficiencia en el uso y consumo de la energía, con resultados positivos en el sentido económico. Lógicamente se detuvo el uso de recursos naturales, evitando su extracción del medio ambiente.

Finalmente, de acuerdo a la norma INTN NP ISO 50001 (2015), al mejorar el rendimiento energético y los costos asociados, las organizaciones pueden cumplir sus objetivos generales de mitigación del cambio climático al reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía.

(ii) **Beneficios sociales:**

Los beneficios sociales son relacionados con la mejora de la calidad de vida de las comunidades, pudiendo deberse a factores como un entorno más seguro, saludable y sostenible. De acuerdo con Zavalía *et al.* (2021), el uso racional y eficiente de la energía contribuye a mitigar la pobreza y mejorar la calidad de vida de las personas.

Destacando este beneficio para la sociedad, donde el uso racional y eficiente de la energía eléctrica, reduce el consumo eléctrico y el monto de la factura del costo de la misma, posibilitando el aumento de la calidad de vida del usuario, debido al ahorro económico. Esto sin comprometer la calidad del servicio o del sistema eléctrico. Es importante promover el uso racional de la energía eléctrica, así como las prácticas sostenibles. Fortaleciendo la participación de la sociedad en los procesos de transición energética y construcción de comunidades resilientes. Según Galeano y Betanco (2021), la participación de las universidades en programas enfocados en la eficiencia energética, además de beneficiar en lo económico, pueden crear protección, cuidado y responsabilidad en las comunidades.

Por otra parte, de acuerdo con Fuchs, Aghajanzadeh, y Therkelsen (2020), en las industrias los beneficios con mayor frecuencia fueron:

- a) La mejora de la sostenibilidad ambiental;
- b) Una cultura empresarial más sólida;
- c) El aumento de la productividad;
- d) La mejora de la imagen de la empresa con la sociedad.

Finalmente, se destaca que la norma ISO 50001 puede ser utilizado como una herramienta para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible número 7 y número 13, promoviendo comunidades más responsables del uso y consumo de la energía eléctrica. Así también, que los

beneficios no se limitan únicamente a los ya mencionados. Dada la flexibilidad de las normas ISO, pueden ser aplicadas en diversos sistemas, pudiendo así obtener otros beneficios ambientales y sociales, dependiendo del alcance o impacto de los sistemas con su entorno.

(iii) **Beneficios identificados en el estudio de caso:**

En relación al estudio, el diagnóstico energético realizado a parte de los sistemas del servicio auxiliar de la Central Hidroeléctrica Acaray. Se considero posibles beneficios técnicos, económicos, ambientales y sociales, como:

- a) Reducción del consumo energético, uso eficiente de la energía y mayor margen de generación derivado del ahorro energético.
- b) Disminución del impacto ambiental de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético.
- c) Aprovechamiento turístico del mirador de la presa Acaray, debido a la optimización del sistema de iluminación del vertedero
- d) Pesca sostenible en el embalse Acaray, promoviendo la conservación de la fauna ictícola original.
- e) Optimización de las operaciones, con beneficios pasivos como mejor gestión del caudal y los recursos naturales.

## 4 METODO DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

La investigación se clasifica como un estudio exploratorio, con un enfoque cuantitativo, orientado a identificar el desempeño energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la Central Hidroeléctrica Acaray.

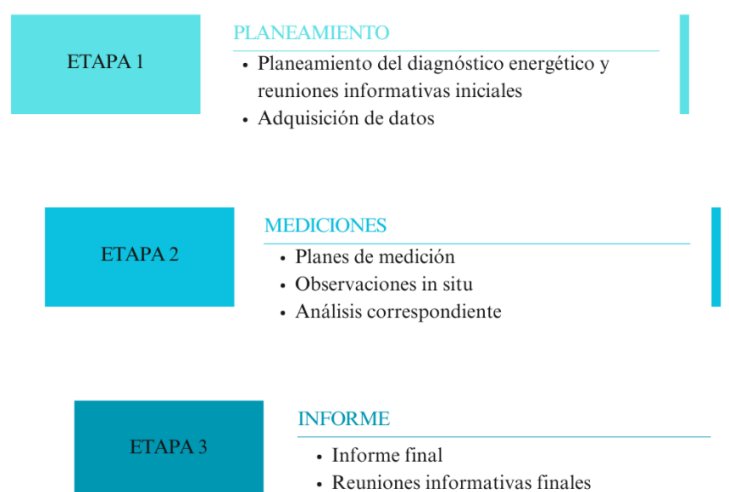
Según Gil (2002), la investigación exploratoria tiene como objetivo proporcionar un mayor conocimiento del problema, y en la mayoría de los casos, toma la forma de investigación bibliográfica o estudio de caso.

En este estudio, es desarrollado un diagnóstico energético en la central hidroeléctrica Acaray, alineado con los estándares de la norma INTN NP ISO 50001:2015 de gestión de la energía. Además, es utilizado la norma INTN NP ISO 50002:2023 como guía en los procesos para el diagnóstico energético.

El diagnóstico energético fue aplicado a parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, específicamente en el: (i) sistema del centro de control de bombas de drenaje; (ii) sistema de iluminación; y (iii) sistemas de compuertas hidromecánicas.

Este enfoque permitió estructurar de manera sistemática el análisis de cada uno de los sistemas. El análisis fue dividido en etapas, como se observa en la Figura 6, de esta forma facilita su comprensión y contribuye a la continuidad en el desarrollo del diagnóstico energético.

Figura 6: Clasificación por etapas de la estructura de procesos.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN ISO 50002, 2023).

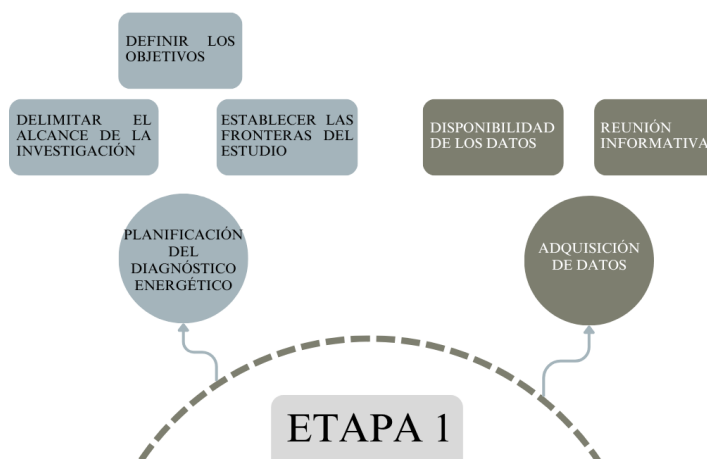
### 4.1 ETAPA 1: PLANEAMIENTO INICIAL

En esta etapa, se realizan las actividades que sirven como base al diagnóstico energético, realizando reuniones informativas preliminares permitiendo la discusión de los objetivos entre la organización y el consultor. Además, se recopilan datos sobre los sistemas estudiados.

### 4.1.1 Planificación Del Diagnóstico

La planificación es una etapa fundamental para definir el alcance, los objetivos del diagnóstico energético y para recopilar información preliminar sobre la organización, el proceso de planificación es observado en la Figura 7.

Figura 7: Flujoograma de la planificación.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN ISO 50002, 2023).

Es importante resaltar que este proceso no es exclusivo del investigador, requiere la colaboración de la organización en la que se realiza el diagnóstico energético. Por lo tanto, ambas partes deben estar en mutuo acuerdo y cumplir con los procedimientos establecidos por la norma INTN NP ISO 50002:2023.

En este contexto, las tareas iniciales del proceso de planificación del diagnóstico energético, consisten en delimitar el alcance de la investigación, establecer las fronteras del estudio, y definir los objetivos.

El alcance y las fronteras se definieron como se muestra en la Figura 8, teniendo en cuenta que los sistemas fueron elegidos considerando su importancia en la operación de la central hidroeléctrica, su alto consumo energético y su impacto en la eficiencia global de las operaciones.

Además, la selección se basó en la experiencia previa del consultor en los sistemas seleccionados, permitiendo un análisis detallado del funcionamiento de los mismos, facilitando el acceso a datos históricos de consumo, mantenimiento y operación.

Otro factor a destacar fue la accesibilidad a estos sistemas, ya que sus ubicaciones dentro de la planta permiten la realización de mediciones, inspecciones y recolección de datos de manera eficiente, minimizando la interrupción de las operaciones diarias.

En la Figura 8, se observan las imágenes referenciales de los sistemas seleccionados para el estudio, en el centro de control de bombas de la presa Acaray, se visualiza el sistema de interfaz hombre máquina del automatismo del sistema, el cual posibilita:

- (i) Identificar las bombas en servicio;
- (ii) Dar órdenes de accionamientos;
- (iii) Controlar los niveles de columna de agua en el pozo de drenaje;
- (iv) Seleccionar el modo de operación, en manual o automático;
- (v) Adquisición de datos del funcionamiento.

Por otro lado, en la Figura 8 se observa la imagen referencial del vertedero de la presa Acaray, donde se aprecia el lugar en que se encuentran ubicadas las compuertas radiales y la compuerta flotante (CF), así también se identifica el sistema de iluminación del vertedero de la presa, delimitando el estudio únicamente a las luminarias del vertedero, en colores rojo, blanco y azul en la imagen, y no considerando las luminarias del coronamiento de la presa, de color amarillo en la Figura 8. En la última imagen referencial, se delimita el sistema de iluminación, resaltando en líneas amarillas los caminos internos dentro de la central, de esta forma es posible identificar y delimitar los circuitos del sistema de iluminación.

Una vez definidos los objetivos, se identifican las necesidades y expectativas necesarias para alcanzar los resultados esperados del diagnóstico, además de determinar el nivel de detalle requerido para el análisis.

Figura 8: Delimitación del alcance de la investigación, y las fronteras por sistemas.



Fuente: Elaboración propia.

Además, en esta etapa se elabora el cronograma de actividades y se establecen los criterios para evaluar los sistemas, mediante los indicadores de desempeño energéticos o ambientales, observados en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Indicadores de desempeño.

SISTEMAS	UBICACIÓN	INDICADORES DE DESEMPEÑO
Centro Control de Bombas	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencia eléctrica, kW/(l/seg), relación entre la potencia consumida y el caudal de agua vertido por operación.</li> <li>Consumo energético, kWh/operación, energía utilizada por 24 horas.</li> <li>Factor de carga del motor de la bomba, adimensional, relación entre la potencia operativa promedio y la potencia nominal del motor.</li> <li>Emisiones de dióxido de carbono, impacto ambiental del bombeo basado en el consumo energético.</li> </ul>
Sistema de iluminación	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horas de operación diarias, h/día, duración de uso del sistema de iluminación por día.</li> <li>Consumo de energía, kWh, energía utilizada para iluminar considerando el tiempo de operación.</li> </ul>
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia luminosa, lm/W, relación entre la cantidad de luz emitida y la potencia consumida.</li> <li>Emisiones de dióxido de carbono, impacto ambiental basado en el consumo energético.</li> </ul>
Compuertas Radiales	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumo energético por apertura/cierre, kWh/operación, energía requerida para cada operación de las compuertas.</li> <li>Consumo energético por apertura/cierre, kWh/m, energía consumida para cada metro de apertura/cierre.</li> </ul>
Compuerta Flotante	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de actuación en la apertura/cierre (minutos), duración promedio de apertura y cierre de la compuerta.</li> <li>Reducción de emisiones de dióxido de carbono, impacto ambiental basado en el consumo energético.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se debe de asignar los recursos y comprometerse a cumplir los plazos establecidos en el cronograma. Así mismo, se requiere la disponibilidad de los datos relevantes antes del inicio del diagnóstico energético. Por último, se establece el contexto del diagnóstico energético, que se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Proceso de planificación del diagnóstico energético.

Nº	ACTIVIDADES	RESULTADOS
1	Delimitar el alcance de la investigación; establecer las fronteras del estudio.	Sistema de bombas de drenaje; Sistema de iluminación; Sistema de compuertas hidromecánicas.
2	Definir tanto el objetivo principal como los objetivos específicos.	OBJETIVOS.
3	Identificar las necesidades y expectativas; Los resultados esperados del diagnóstico.	Identificación de los recursos necesarios, y de los posibles resultados del diagnóstico.
4	Determinar el nivel de detalle requerido para el análisis.	Nivel 1.
5	Cronograma de actividades, Intervalos de tiempo para completar el diagnóstico energético.	Finalización el 24 de enero del 2025.
5	Criterios para evaluar y priorizar oportunidades de mejora en el desempeño energético.	Indicadores de desempeños del Cuadro 5.
6	Asignar los recursos y comprometerse con el cronograma.	Asignación de recurso humano.
7	Disponibilidad de los datos relevantes antes del inicio del diagnóstico energético.	Registros de mediciones en los mantenimientos.
8	Informe final.	Diagnóstico energético, estudio académico.
9	Contexto del diagnóstico energético.	Gestión del mantenimiento de los equipos.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN ISO 50002, 2023).

En este sentido, se deben definir cómo se realizará el informe final, incluyendo los formatos y contenidos. El contexto del diagnóstico energético, incluye comunicar a la organización los detalles sobre los sistemas y procesos que serán objeto de estudio, lo cual busca facilitar el desarrollo del diagnóstico energético, estas actividades se observan en el Cuadro 6.

#### 4.1.2 Reunión Informativa Inicial

Este proceso tiene como objetivo que el investigador informe a las partes interesadas sobre los objetivos del diagnóstico energético, el alcance, los límites y los métodos definidos para el diagnóstico energético. Teniendo en cuenta que el consultor es interno, y parte de la organización. Este proceso resultó en la asignación del personal para el acompañamiento de las actividades, materiales y herramientas necesarias para el diagnóstico energético.

#### 4.1.3 Adquisición De Datos

En esta sección se detalla la adquisición, verificación y el registro de los datos energéticos, que respalden los objetivos del diagnóstico. La adquisición de los datos fue realizada mediante: (i) registros de los datos históricos, como ensayos y mantenimientos; y (ii) mediciones *in situ* de los sistemas, utilizando instrumentos de medición.

En relación a los registros de los históricos, se obtuvieron registros de los consumos eléctricos de los equipos por sistema, la cantidad de operaciones por sistema, el histórico de mantenimiento y ensayos.

Por otro lado, las mediciones *in situ*, fueron realizadas para comparar con el histórico, verificando el desempeño actual de los sistemas, y complementar la adquisición de datos de los registros históricos.

En las mediciones *in situ*, se utilizaron los siguientes equipos de medición:

- (i) **Multimedidores digitales:** Utilizados para medir parámetros eléctricos como tensión, corriente, frecuencia y registro en modo de curvas de funcionamiento de los valores en función del tiempo, en cada una de las fases de los sistemas analizados.
- (ii) **Pinza amperométrica:** Utilizada para las mediciones de corriente de funcionamiento de los sistemas, adquiriendo datos importantes como la corriente de arranque y la corriente nominal de los sistemas.
- (iii) **Software de adquisición de datos:** Utilizado en la adquisición de datos, mediante equipos como Controladores Lógicos Programables (PLC), en la adquisición de la cantidad de operaciones de los equipos, tiempo de operación por equipo, y valores de accionamiento y desconexión automática del sistema de automatismo.

Con estos instrumentos, fue registrado los consumos energéticos actuales de los sistemas, en

condiciones normales de operación, además fue realizado adquisiciones de datos como: (a) lista de los sistemas analizados en el estudio; (b) lista de los equipos que consumen energía; (c) características detalladas de los sistemas, incluyendo variables relevantes que influyen en el desempeño energético; (d) adquisición de datos energéticos pasados y actuales; (e) equipos de medición, informaciones y análisis; (f) planos futuros; (g) documentaciones; (h) adquisición de estudios anteriores; (i) tarifa energética. Estas tareas de adquisición de datos se observan resumidas en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Adquisición de datos en el diagnóstico energético.

Nº	ACTIVIDADES	RESULTADOS
1	Lista de los sistemas, procesos y equipos que consumen energía.	Cuadro 8, Cuadro 9.
2	Características detalladas de los sistemas, incluyendo variables relevantes que influyen en el desempeño energético.	Cuadro 10, Cuadro 11, Cuadro 12.
3	Adquisición de datos energéticos pasados y actuales	Consumo de energía, variables relevantes, mediciones relevantes, histórico operacional y eventos registrados.
4	Equipos de medición, informaciones y análisis	Multimedidores, Pinza Amperométrica, herramientas informáticas de adquisición de datos.
5	Planos futuros	Modernización del servicio auxiliar.
6	Documentaciones	Planos eléctricos, manuales y placa característica de los equipos.
7	Adquisición de estudios anteriores	Revisión bibliográfica, informes técnicos internos.
8	Tarifa energética	Precio de referencia, Pliego tarifario número 21 ANDE.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN ISO 50002, 2023).

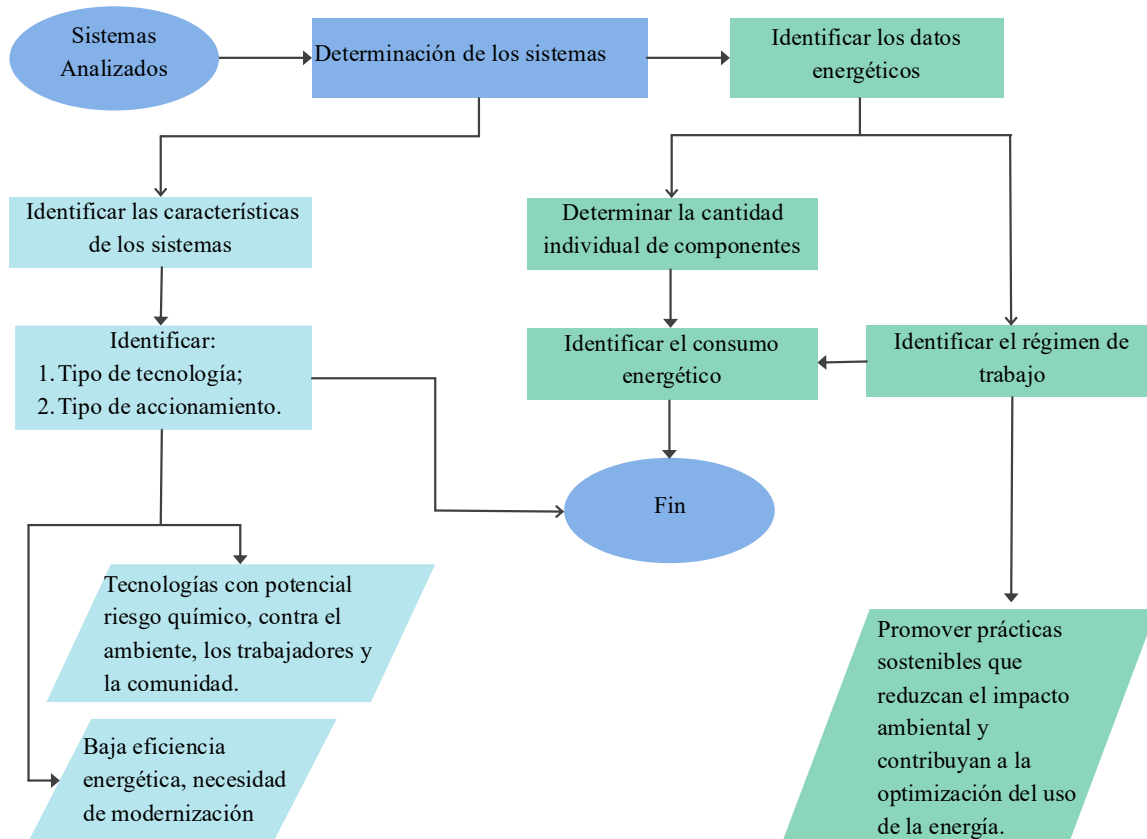
El proceso de la adquisición de datos de los sistemas estudiados, fue realizado según la Figura 9, donde se observa el flujograma de los procesos de la determinación de los sistemas y posterior adquisición de datos.

En la determinación de los sistemas, fueron seleccionados: (i) los sistemas del centro control de bombas; (ii) los sistemas de iluminación; (iii) los sistemas de compuertas radiales; y (iv) el sistema de la compuerta flotante.

En la adquisición de datos de los sistemas seleccionados, se realizaron dos actividades independientes, una de ellas es la identificación de las características de los sistemas y la otra es la identificación de los datos energético.

Las características detalladas de los sistemas, incluyen variables relevantes que influyen en el desempeño energético, como: (i) el tipo de tecnología instalada en los sistemas y; (ii) el tipo de accionamiento de los actuadores de los sistemas. Mientras que los datos energéticos de los sistemas, permiten identificar el uso y el consumo de la energía eléctrica, esto mediante: (i) la identificación del régimen de trabajo; (ii) la determinación de la cantidad individual de los equipos instalados y; (iii) la identificación del consumo energético de los sistemas.

Figura 9: Flujograma de procesos.



Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo de la actividad denominada lista de los sistemas, se identificaron y organizaron los sistemas de acuerdo a su ubicación, como se observa en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Lista de los sistemas casos de estudio.

Nº	SISTEMAS	UBICACIÓN	ADQUISICIÓN DE DATOS
1	Centro Control de Bombas	Presas ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros de los datos históricos, de los ensayos y mantenimientos.</li> <li>Mediciones <i>in situ</i> del sistema, utilizando los instrumentos de medición: (a) multímetro Fluke 289; (b) pinza amperométrica Sonel CMP 3000; y (c) <i>software</i> del PLC Siemens S7-1200, de adquisición de datos.</li> </ul>
2	Sistema de iluminación	Presas ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediciones <i>in situ</i> de los sistemas, utilizando los instrumentos de medición: (a) multímetro Fluke 289; y (b) pinza amperométrica Sonel CMP 3000</li> </ul>
3	Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	
4	Compuertas Radiales	Presas ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros de los datos históricos, de los ensayos y mantenimientos.</li> </ul>
5	Compuerta Flotante	Presas ACY	

Fuente: Elaboración propia.

En la lista de los procesos y equipos que consumen energía, se realizó una identificación y organización de los elementos de cada sistema de acuerdo al tipo de equipo o artefacto instalado, esto

se observa en el Cuadro 9, donde se identificó el equipo o artefacto principal del sistema, el cual representa el de mayor consumo dentro del circuito, esto considerando que en un sistema eléctrico, existen distintos componentes que consumen energía e interactúan entre sí para lograr el objetivo, como por ejemplo en el sistema del centro de control de bombas, presenta componentes auxiliares como luces pilotos, sirenas, interfaz hombre maquina y ventiladores.

Con respecto al sistema de iluminación, presenta componentes auxiliares como reactores, e *ignitores*. Finalmente, en el sistema de compuertas hidromecánicas, presenta luces pilotos y sirenas. Considerando lo mencionado, se identificó únicamente el equipo de mayor consumo por sistema y el que cumple con el objetivo principal del proceso.

Cuadro 9: Identificación de equipos que consumen energía.

SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
Centro Control de Bombas	Presa ACY	Bombas centrifugas
Sistema de Iluminación	Presa ACY	Luminarias
Sistema de Iluminación	Alumbrados en caminos internos	Luminarias
Compuertas Radiales	Presa ACY	Motores eléctricos
Compuerta Flotante	Presa ACY	Motores eléctricos

Fuente: Elaboración propia.

En relación al tipo de tecnología, el proceso se basa adquirir las informaciones que se encuentran en los sistemas, teniendo en cuenta, siendo un dato importante en la oportunidad de mejoras a nuevas tecnologías más eficientes. La adquisición de las informaciones del tipo de sistemas, se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Características de los sistemas según el tipo de tecnología instalada.

SISTEMAS	UBICACIÓN	RESULTADOS
Centro Control de Bombas	Presa ACY	Bombas centrifugas sumergibles. Tensión alterna: 220/380 V; Corriente: 22/12,5 A; Numero de fases: 3; Frecuencia: 50 Hz; Potencia máxima: 7,7 kW; Altura máxima: 45 m; Caudal máximo: 1.150 l/min.
Sistema de iluminación	Presa ACY	Vapores Metálicos.
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	Vapor de Mercurio/Sodio.
Compuerta Flotante	Presa ACY	Motores eléctricos asíncronos para el accionamiento del sistema mecánico de las compuertas.
Compuertas Radiales	Presa ACY	

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que, para el tipo de accionamiento de los sistemas, se identificó la tecnología utilizada en los sistemas, observando los mismos en el Cuadro 11, teniendo en cuenta el tipo de accionamiento de los actuadores como los motores, bombas o luminarias.

Cuadro 11: Características de los sistemas según el tipo de accionamiento.

SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
Centro Control de Bombas	Presa ACY	Sistema automático por sensor de nivel; Arranque por variador de frecuencia.
Sistema de iluminación	Presa ACY	Sistema automático por horómetro.
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	Sistema automático por fotocélula.
Compuertas Radiales	Presa ACY	Sistema manual por mando local.
Compuerta Flotante	Presa ACY	

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la adquisición de datos energéticos pasados y actuales: (i) los datos pasados se obtuvieron mediante los registros de mediciones realizadas en los mantenimientos quincenales, trimestrales y anuales de los años 2022, 2023 y 2024; (ii) los datos actuales se realizaron con forme la Figura 9, donde se requería mediciones actuales por parte del consultor, obteniendo un panorama real de la situación de los sistemas.

Para los datos energéticos pasados, los registros fueron estudiados y exportados a plantillas electrónicas, pudiendo observar el comportamiento de los sistemas analizados, en términos de corriente de funcionamiento, tensión de servicio y cualquier otra información relevante del mantenimiento. Estos datos son importantes debido a que expone las características de como el sistema consume energía eléctrica y el de su estado de funcionamiento, poniendo a disposición para la comunidad científica.

Continuando con la demanda de los sistemas, la determinación de la demanda de potencia eléctrica, es mediante la suma aritmética de todas las potencias instaladas en los sistemas analizados, por lo que esta tarea es dependiente de la actividad de determinación de la cantidad de componentes, esto es observado esa dependía en la Figura 9.

En relación a la cantidad individual, se determina la cantidad de componentes individuales de cada sistema, observando los mismos en el Cuadro 12, esto es necesario en la determinación de la potencia instalada del sistema, siendo la suma de todas las potencias unitarias de los equipos.

Cuadro 12: Cantidad individual de componentes por sistema.

SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
Centro Control de Bombas	Presa ACY	2 bombas centrifugas.
Sistema de iluminación	Presa ACY	19 luminarias.
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	26 luminarias.
Compuertas Radiales	Presa ACY	7 motores eléctricos.
Compuerta Flotante	Presa ACY	1 motor eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para el régimen de trabajo se determina el régimen de trabajo de las alternativas tecnológicas mediante adquisición de datos de los registros de parte diarios del sector de operación y en función a la automatización de los sistemas, estos datos reflejan las operaciones de los componentes, ya sea en 24 horas o mensuales, dando un panorama de la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas analizados.

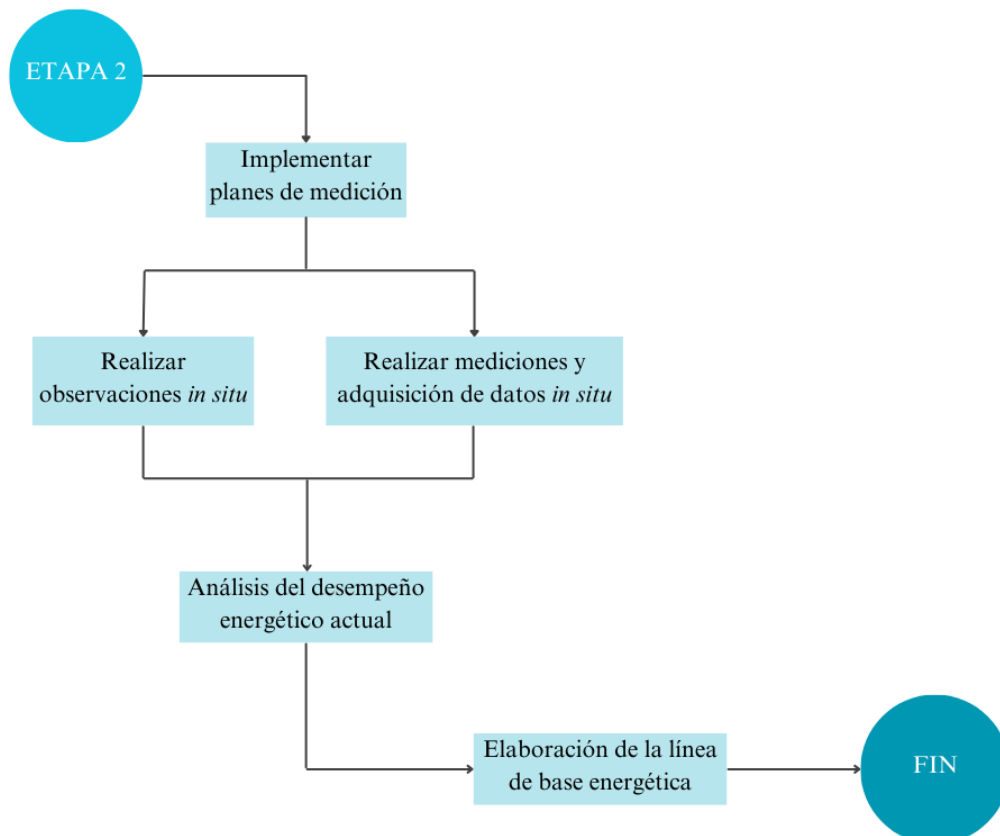
Finalmente, en la determinación del consumo de energía eléctrica, una vez definida la demanda de los sistemas, se determina mediante cálculos matemáticos de energía eléctrica, el consumo de energía eléctrica, siendo el consumo teórico de los sistemas en su operación normal. Conjuntamente a esta actividad se realiza mediciones *in situ*, de forma a comparar el consumo energético medido, y el teórico.

#### 4.2 ETAPA 2: MEDICIONES Y ANÁLISIS

En esta etapa se realizan los planes de medición, teniendo en cuenta factores como los métodos, herramientas, frecuencia de la medición y el proceso para las observaciones *in situ*, observando la estructura del proceso en la Figura 10.

De esta forma se adquieren los datos para el análisis del desempeño energético de los sistemas, identificando los consumos y oportunidades de mejora.

Figura 10: Estructura del diagnóstico energético en la etapa 2.



De acuerdo con INTN ISO 50002 (2023), el plan de medición se puede revisar en función de los resultados encontrados durante el diagnóstico energético.

- (i) **Planes de medición:** en las mediciones y adquisición de datos *in situ*, observado en el Cuadro 13, se establece el plan de medición.

Cuadro 13: Principales actividades en el proceso de los planes de medición.

Nº	ACTIVIDADES	DESARROLLO
1	Lista de puntos de medición de los sistemas.	Cuadro 14.
2	Lista de los equipos de medición.	Multimedidores, Pinza Amperométrica.
3	Determinar la precisión, repetibilidad y la incertidumbre de medición requeridas para las mediciones.	Relacionados a las características constructivas de los instrumentos de medición.
5	Duración y frecuencia de las mediciones.	Las mediciones serán realizadas por ciclo de operaciones de los sistemas.
6	Frecuencia de adquisición de datos para cada medición.	Misma frecuencia que las mediciones.
7	Asignar responsabilidades para la realización de las mediciones.	Responsable directo, el consultor energético.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (INTN ISO 50002, 2023).

Bajo este contexto, se realizan los planes de mediciones, los cuales deben cumplir determinados puntos, primeramente, una lista de puntos de medición de los sistemas, ya sean principales o adicionales, y una lista de los equipos de medición.

En el desarrollo de esta actividad, se define donde se harán las mediciones de campo, para cada sistema estudiado. Teniendo en cuenta la facilidad de la adquisición de las mediciones, del acceso y disponibilidad de equipos de medición.

Cabe destacar, que la nomenclatura de los tableros que se presenta en el Cuadro 14, es la utilizada en la central hidroeléctrica Acaray, por lo que son los puntos de medición de acuerdo a cada sistema en su punto de alimentación de la energía eléctrica.

Cuadro 14: Lista de puntos de medición de los sistemas.

Sistema	Ubicación	Tablero
Centro Control de Bombas	Presa ACY	+CCB_PACY
Sistema de iluminación	Presa ACY	+TDCA_PACY
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	+TDCA_PORTERIA
Compuertas Radiales	Presa ACY	+CR01 al +CR07
Compuerta Flotante	Presa ACY	+CF

Fuente: Elaboración propia.

Continuando, se determina la precisión y repetibilidad requeridas para las mediciones, con su incertidumbre de medición asociada, así como la duración y frecuencia de las mediciones. De forma similar, se debe definir la frecuencia de adquisición de datos para cada medición, teniendo en cuenta que debe representar un período de tiempo adecuado en el que las actividades sean

representativas. Finalmente, se asignan las responsabilidades para la realización de las mediciones.

(ii) **Observaciones in situ:** este proceso se divide en dos secciones: (a) gestión del trabajo en campo; y (b) visita al local.

En lo referente a la gestión del trabajo, el consultor debe observar el uso de energía, evaluando el uso y consumo de energía de acuerdo con el alcance, los límites y los objetivos del diagnóstico energético. Así también se debe de comprender las rutinas operativas, y fomentar las ideas, oportunidades, cambios tecnológicos u operativos preliminares que podrían conducir a un mejor desempeño energético. Es importante garantizar que los datos históricos sean representativos del funcionamiento normal de los sistemas, para ello se utilizaron los históricos de los mantenimientos de los años 2022, 2023 y 2024.

Por otro lado, referente a la visita al local, teniendo en cuenta que el diagnóstico es interno, los accesos a las instalaciones y sistemas, acompañamientos e instalación de equipos cuando fuere necesario están garantizados. Así también el acceso a los documentos relevantes del área de mantenimiento, como manuales, planos y otros documentos técnicos. En esta etapa, el proceso fue simplificado, debido a que se trata de un diagnóstico energético interno, por lo que no se presentaron mayores trabajos.

(iii) **Análisis:** con el objetivo de realizar un diagnóstico energético eficaz, se evalúa la validez y disponibilidad de los datos proporcionados.

El análisis se realizó mediante identificación de las autorizaciones de los trabajos de mantenimientos y planillas de mediciones, verificando su correcto llenado y el personal involucrado. Así también se debe cumplir requisitos como el de utilizar métodos de cálculo transparentes y técnicamente adecuados.

Es importante documentar los métodos utilizados, asegurando que se hayan considerado las variables que afectan la incertidumbre de la medición y sus contribuciones a los resultados. Finalmente, considerar cualquier regulación o restricciones que puedan afectar las oportunidades para mejorar el desempeño energético.

De acuerdo con INTN ISO 50002 (2023), un análisis eficaz se compone del análisis del desempeño energético actual, donde el desempeño energético actual proporciona la base para evaluar las mejoras y debe incluir un desglose del consumo de energía por uso y fuente, los usos energéticos que representen un consumo sustancial, un patrón histórico de desempeño energético, las mejoras esperadas en el desempeño energético, finalizando con la evaluación de los indicadores de desempeño energético existentes y, en su caso, propuesta de nuevos indicadores.

Por otra parte, la identificación de oportunidades de mejora, identifica las oportunidades para mejorar el desempeño energético basándose en el análisis y temas relacionados como vida útil, la tecnología de usos energéticos existentes en comparación con las más eficientes del mercado, mejores

prácticas, uso futuro de energía y cambios en la operación.

- (iv) **Elaboración de la línea de base energética:** a partir del análisis de los datos recolectados, se determinó el consumo energético anual de cada sistema y se construyó una línea de base energética.

La línea de base energética, sirve como referencia para futuras acciones de eficiencia. Permitiendo identificar los sistemas con mayor consumo y analizar su desempeño, con un enfoque en acciones de mejora.

#### 4.3 ETAPA 3: INFORME FINAL Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PROPUESTOS

En la etapa final, se expone los requisitos para la elaboración del informe final que incluye los resultados del diagnóstico energético, con la identificación de las oportunidades en materia de uso eficiente de la energía. Finalmente, las reuniones informativas finales, son medios para discutir los resultados y planificar acciones futuras.

- (i) **Informe final del diagnóstico energético:** esta etapa es la documentación de los resultados en un informe final del diagnóstico energético.

Debiéndose apegar a unos criterios definidos por la norma INTN NP ISO 50002:2023. Por lo que se debe asegurar de que se hayan cumplido los requisitos del diagnóstico energético, como también identificar las mediciones relevantes realizadas durante el diagnóstico energético. Además de especificar si el análisis se basa en cálculo, simulación o estimación, siendo el caso de este documento un análisis basado en cálculos.

- (ii) **Reuniones informativas finales:** se presentan los resultados del diagnóstico energético de manera que facilite la toma de decisiones, es importante explicar los resultados y aclarar dudas.

Esta etapa final será realizada en la defensa de la maestría y una presentación de los resultados en la sala de adiestramiento de la central hidroeléctrica Acaray.

#### 4.4 IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES

Un diagnóstico energético, desde el punto de vista interdisciplinar conecta la tecnología, el medioambiente y la sociedad. Así, la norma ISO 50001 e ISO 50002 se convierten en herramientas para el logro de los objetivos, estando alineada con los objetivos de desarrollo sostenible número 7 y número 13, promoviendo comunidades más responsables y conscientes del uso de la energía.

En lo ambiental, referente a las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, se cuantificaron y evaluaron. Permitiendo comprender los efectos ambientales de la operación actual de los sistemas y estimar el potencial de reducción de dichas emisiones mediante la implementación de

estrategias de eficiencia energética.

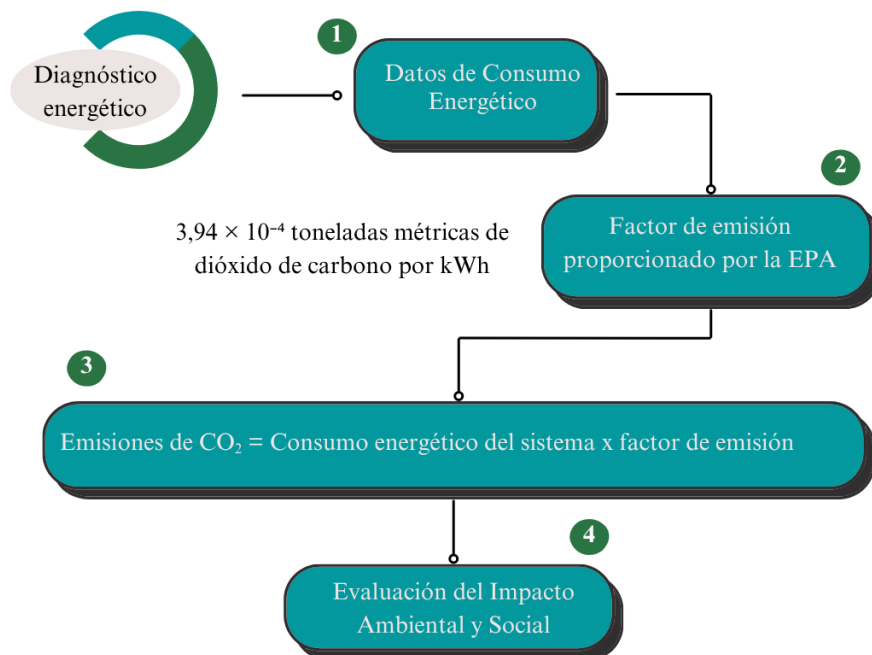
Así también, se determinó que las emisiones totales anuales de dióxido de carbono, serán cuantificadas mediante una equivalencia al carbono que sería capturado en un año, por plantas de zonas urbanas, que han crecido durante 10 años. Esta equivalencia permite visualizar el beneficio ambiental potencial de las acciones propuestas.

Desde el enfoque social, se tomaron en cuenta factores como: (i) la seguridad operativa y estructural de las instalaciones, específicamente la presa Acaray; (ii) la preservación del medio ambiente; (iii) la promoción de prácticas sostenibles; y (iv) la calidad de vida de la comunidad local.

En la determinación de las emisiones de dióxido de carbono y las equivalencias del carbono capturado, se utilizaron dos métodos de cálculo, esto con el objetivo de obtener una comparativa representativa.

Primeramente, se utilizó la metodología utilizada por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de los Estados Unidos, como es observado en la Figura 11. El procedimiento consiste en utilizar una calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero. La elección de esta herramienta online y de libre acceso en la estimación de las emisiones de dióxido de carbono, se justifica por la ausencia de coeficientes oficiales proporcionados por organismos ambientales del Paraguay, siendo una alternativa la utilización de los coeficientes de conversión de una agencia reconocida y establecida como lo es la EPA, garantizando así la validez y confiabilidad del análisis.

Figura 11: Procedimiento de cálculo de las emisiones de dióxido de carbono.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con US EPA (2015), esta calculadora permite convertir datos de consumo energético en valores equivalentes de dióxido de carbono de las emisiones derivadas de la utilización

de esa cantidad de energía. Según Selim *et al.* (2021), esta calculadora es sencilla y proporciona conversiones de una unidad de energía a la cantidad equivalente de emisión de dióxido de carbono esperada al utilizar esta cantidad.

En el caso de las emisiones de dióxido de carbono, se utilizó la funcionalidad de la calculadora, que consiste en el cálculo de las equivalencias correspondientes a las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la electricidad usada.

En este sentido, el cálculo del factor de emisión utilizado en este estudio se basa en la tasa de emisiones de dióxido de carbono derivadas del consumo de energía eléctrica en los Estados Unidos, específicamente de la base de datos del *Emissions & Generation Resource Integrated Database* (eGRID).

El factor de emisión se expresa en términos de toneladas métricas de dióxido de carbono emitidas por cada kWh de electricidad consumida, y es una equivalencia de cuantas toneladas de dióxido de carbono emite un sistema en base a su consumo energético. El cálculo del factor de emisión se presenta en la ecuación 1.

$$\text{Factor de emisión} = 823,1 \frac{\text{lb CO}_2}{\text{MWh}} \times \frac{1 \text{ ton métrica}}{2204,6 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ MWh suministrado}}{1 - 0,051 \text{ MWh generado}} \times \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} \quad [1]$$

Donde:

- (i) 823,1 lb CO<sub>2</sub>/MWh, corresponde a la tasa total de emisiones de salida de dióxido de carbono en libras por megavatio hora generados en el sistema eléctrico de EE. UU, según los datos de eGRID para el año 2022;
- (ii) Factor de conversión de libras a toneladas métricas, dado que 1 tonelada métrica equivale a 2204,6 libras;
- (iii) Factor de corrección por pérdidas técnicas, el valor 0,051 representa la pérdida estimada de energía en el sistema de transmisión y distribución, lo que significa que solo el 94,9% de la electricidad generada llega al consumidor final;
- (iv) Conversión de megavatios hora a kilovatios hora, para obtener el factor de emisión en función del consumo de energía en kWh.

El factor de emisión es fundamental en la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono en este estudio, ya que permite convertir los datos de consumo energético en valores de emisiones equivalentes, proporcionando una base para evaluar el impacto ambiental.

En este contexto, el factor de emisión resultante de la ecuación 1 y la utilizada en el estudio, corresponde a  $3,94 \times 10^{-4}$  toneladas métricas de dióxido de carbono por kWh. De esta forma es posible calcular la estimación de emisiones de dióxido de carbono, mediante la ecuación 2.

Emisiones de dióxido de carbono = Consumo energético del sistema x Factor de emisión [2]

En relación a los datos de consumo energético, fue considerando un periodo de consumo anual para cada sistema, utilizando los datos obtenidos en el diagnóstico energético. Los datos de consumo, se introdujeron en la calculadora de la EPA, obteniendo así las emisiones estimadas de dióxido de carbono para cada sistema analizado.

Este proceso permitió cuantificar las emisiones de dióxido de carbono actuales, estableciendo una línea de base para futuras estrategias de reducción del impacto ambiental, alineándose con las tendencias globales de sostenibilidad y eficiencia energética.

Mientras que, para la cuantificación del carbono capturado, fue utilizando otra funcionalidad de la calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero de la EPA, esto posibilitó expresar las emisiones de los sistemas en términos más comprensibles, como, por ejemplo, las emisiones de dióxido de carbono del sistema, que equivalen al carbono que capturarían plantas urbanas.

Adicionalmente a este método, se realizó la determinación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la calculadora de la SOS *Mata Atlántica* del Brasil, la herramienta se encuentra disponible en la página *web* de la fundación SOS *Mata Atlántica*, que es una organización no gubernamental ambiental brasileña, esta calculadora es de libre acceso y gratuita. La misma obedece a la misma metodología ya explicada, con la diferencia que presenta un factor de emisión distinto, debido a que cada país presenta una cantidad de emisiones de dióxido de carbono y generación con combustibles fósiles. Así también, se determinó la equivalencia del carbono que capturarían árboles nativos de la *Mata Atlántica*.

Se destaca que la calculadora de la SOS *Mata Atlántica* utiliza factores de conversión adaptados a la realidad climática y ambiental de Brasil, lo que hace más representativa para el estudio, siendo regional y de clima tropical, semejantes a las condiciones del área de estudio.

Es importante destacar, que los datos utilizados del consumo energético de los sistemas de las compuertas hidromecánicas y el sistema de iluminación, fueron obtenidos en el diagnóstico energético, donde se constató que los sistemas operan sin modificaciones de *retrofit*, manteniendo sus configuraciones originales, no siendo el caso en el sistema del centro de control de bombas, el cual ya se realizó un proceso de *retrofit* en el año 2023, el mismo incluyó la sustitución del sistema de control convencional con boyas electromecánicas y accionamiento por contactores, por un sistema automatizado por controladores lógicos programables, sensores y variadores de frecuencia en el arranque de las bombas. Considerando estas modificaciones, en el estudio, los datos de consumo energético corresponden al periodo *post* intervención.

## 4.5 ESTUDIO DE CASO

Referente al estudio de caso, la central hidroeléctrica Acaray, se clasifica como una central de embalse, acumulando un volumen de agua de 190 hectómetro cúbico en 60 kilómetros cuadrados de superficie inundada, esto mediante una presa mixta, constituida por una presa de tierra, unida a una presa de concreto. La central desvía el agua proveniente del río Acaray al río Paraná, aprovechando un desnivel natural de 56 metros entre ambos ríos, siendo elevado artificialmente mediante la presa a un desnivel de 87 metros.

La central hidroeléctrica Acaray constituye el aprovechamiento del río Acaray, mediante la instalación de cuatro unidades generadoras, en dos casas de máquinas. Las mismas utilizan turbinas tipo Francis, lo que permite una operación en los rangos de caudales turbinables de 66,7 y 82,5 metros cúbicos/segundos.

Las ventajas de este tipo de centrales son, que contribuyen al control de inundaciones y gestión de los recursos hídricos, con una capacidad para regulación del embalse. Asimismo, proporcionan estabilidad al sistema eléctrico en las horas de punta de carga.

Por otro lado, las desventajas que presenta es el impacto ambiental y social, como desplazamiento de comunidades y alteración de ecosistemas acuáticos. Además de una dependencia de las condiciones hidrológicas, limitando la generación en períodos de sequías.

### 4.5.1 Servicio Auxiliar

En una central hidroeléctrica, el consumo interno es reducido en comparación con la energía generada, y el mismo es debido al consumo de los sistemas pertenecientes al servicio auxiliar, según Núñez (2015), el servicio auxiliar de una central hidroeléctrica, se compone de aquellos sistemas o procesos requeridos para apoyar la generación de energía, conservando la operación confiable del sistema eléctrico interconectado.

De acuerdo con Dolores (1992), en una planta hidroeléctrica el servicio auxiliar relacionado con la operación y generación incluyen sistemas de corriente alterna y corriente continua, cuartos de control y otros, que se encuentran distribuidos en la casa de máquinas y sus cercanías. A pesar de que el servicio auxiliar no interviene directamente en el proceso de generación de energía, su funcionamiento tiene un impacto significativo en la operatividad, confiabilidad y costos operativos de la central.

Por otra parte, los sistemas que pertenecen al servicio auxiliar, representan una fracción importante del consumo energético total de la central generadora. Es importante resaltar que el servicio auxiliar es alimentado por la propia generación de energía, siendo el consumo interno muchas veces despreciado y no tomado en cuenta para los análisis de eficiencia.

Según Dolores (1992), el servicio auxiliar de una central hidroeléctrica consume menos del 1 % de la energía que producen, la energía eléctrica consumida es utilizada en la alimentación de sus servicios propios para la generación.

En este sentido, el funcionamiento de una central hidroeléctrica interviene múltiples sistemas, de naturaleza eléctrica, hidráulica y neumática. Entre ellos, se destacan los sistemas observados en el Cuadro 15.

Estos sistemas forman parte del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica, englobando aquellos sistemas que, si bien no participan directamente en el proceso de generación de energía, son indispensables para garantizar su operatividad y eficiencia.

El servicio auxiliar de una central generadora, desempeña la función de proporcionar las condiciones necesarias para el funcionamiento eficiente y seguro del proceso de generación de energía. Son todos los equipos necesarios para que las unidades generadoras puedan ser operadas en forma confiable, cómoda, económica y segura.

Cuadro 15: Sistemas intervinientes en el proceso de generación.

Nº	Sistema
1	Sistema de bombas de drenaje.
2	Sistema de iluminación.
3	Sistemas de compuertas hidromecánicas.
4	Sistemas de climatización.
5	Sistemas hidráulicos.
6	Sistemas neumáticos.
7	Sistemas de refrigeración.
8	Sistemas de protección.
9	Sistemas de operación.
10	Sistemas de alimentación de la energía en corriente alterna o continua.
11	Sistemas de grúas de izaje.

Fuente: Elaboración propia.

Este estudio se enfocó específicamente en tres sistemas parte del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, los mismos son: (i) el sistema del centro de control de bombas de drenaje; (ii) el sistema de iluminación; (iii) el sistema de compuertas hidromecánicas. Estos sistemas fueron seleccionados por su relevancia energética, facilidad de acceso y disponibilidad de datos operativos.

En la Figura 12 se observa el sistema de iluminación perimetral, los alumbrados en caminos internos de la central y la iluminación de la presa Acaray, destacando la envergadura del sistema. Así también se observa las compuertas hidromecánicas ubicadas en la presa Acaray.

Figura 12: Sistema de iluminación de la central hidroeléctrica Acaray.



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la Figura 13 se observa el sistema del centro de control de las bombas de drenaje, ubicado en la presa Acaray. Este sistema representa un servicio esencial dentro del conjunto de sistemas pertenecientes al servicio auxiliar, esto debido a que controla el funcionamiento de las bombas de drenaje encargadas de evacuar el agua proveniente de las filtraciones internas y precipitaciones atmosféricas. El sistema está compuesto por dos bombas centrífugas, tableros de control, sensores de nivel y sistemas de automatización que permiten su operación en función del nivel de agua en el pozo de drenaje, este sistema garantiza la seguridad estructural de la presa y mantiene las condiciones operativas de la presa.

Figura 13: Sistema del centro de control de las bombas de la presa Acaray.



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se contextualiza el alcance del estudio y su aplicación real en la central hidroeléctrica.

## 5 RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos del diagnóstico energético realizado en una parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, específicamente: (i) el sistema del centro de control de bombas de drenaje de la presa Acaray; (ii) el sistema de iluminación del vertedero de la presa Acaray, e sistema de iluminación en caminos internos de la instalación; y (iii) el sistema de compuertas hidromecánicas.

Los sistemas se establecieron considerando: (i) la relevancia de los sistemas en la operación; (ii) su consumo energético; (iii) su influencia en la eficiencia general. En relación a los sistemas no seleccionados, la selección estuvo fundamentada en la experiencia previa del investigador y la accesibilidad a estos sistemas. Los sistemas analizados son observados en la Figura 14, presentando las principales partes de la presa Acaray.

Figura 14: Principales partes de la presa Acaray.



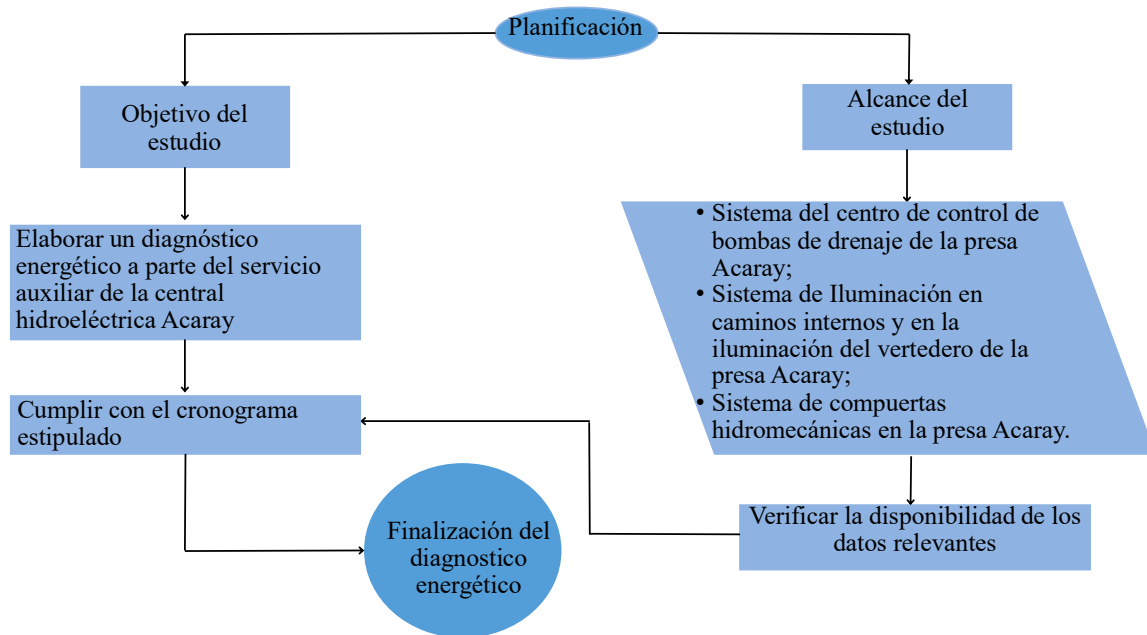
Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la norma INTN NP ISO 50001:2015 en la central hidroeléctrica Acaray requirió la realización de un diagnóstico energético conforme a la norma INTN NP ISO 50002:2023, estableciendo una línea de base para evaluar el desempeño energético. En este contexto, el diagnóstico energético, permitió establecer una línea de base de referencia para identificar oportunidades de mejora en los sistemas analizados.

La estructuración de los procesos para el diagnóstico energético en la central hidroeléctrica Acaray, se desarrolló conforme en la Figura 15. Donde a partir de los planes de medición y la adquisición de datos, se elaboró una línea de base energética que permitió identificar el consumo energético de cada sistema analizado, evaluando la eficiencia energética actual, así como

estableciendo comparaciones futuras con indicadores de desempeño técnicos, ambientales y sociales.

Figura 15: Estructuración de los procesos para el diagnóstico energético.



Fuente: Elaboración propia.

En la planificación, se identificaron y determinaron los puntos de medición mediante observaciones *in situ*, derivando en un análisis de los esquemas eléctricos de los sistemas estudiados. Como resultado de este análisis, se estableció que las mediciones debían realizarse en los tableros de alimentación de cada sistema, garantizando así la representatividad de las condiciones reales de operación de los equipos. De esta forma, fue necesario seleccionar los instrumentos de medición, en función de los parámetros eléctricos a evaluar y los recursos disponibles. Seleccionando: (i) la pinza amperométrica; (ii) multimedidor; (iii) multímetro industrial; y (iv) las herramientas informáticas de adquisición de datos del centro de control de bombas, observados en el Cuadro 16.

Cuadro 16: Instrumentos de grandezas eléctricas.

Nº	INSTRUMENTO	PARÁMETROS ESPECÍFICOS
1	Multímetro Industrial; <i>True-rms</i> ; con adquisición de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión eléctrica AC 1000V.</li> <li>Frecuencia.</li> </ul>
2	Pinza Amperométrica; <i>True-rms</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corriente eléctrica AC 2500 A.</li> </ul>
3	Multimedidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión eléctrica; Frecuencia; Corriente eléctrica; Potencia activa; Potencia reactiva; Potencia aparente.</li> </ul>
4	<i>Software</i> de supervisión, control y adquisición de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión eléctrica; Frecuencia; Corriente eléctrica; Potencia activa; Caudal descargado; Horas trabajadas.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Dando continuidad a la planificación, se determinaron el periodo, frecuencia y ubicación de las mediciones realizadas, observando los resultados en el Cuadro 17. De esta forma la ejecución del plan de medición quedó definido, dando como resultado los datos y procesos necesarios.

Cuadro 17: Periodo, frecuencias y ubicación de las mediciones.

SISTEMAS	UBICACIÓN	PERIODO Y FRECUENCIAS
Centro Control de Bombas	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición continua, adquisición de datos para cada bomba centrífuga, con frecuencia igual a 1 medición por bomba en un periodo igual a 3 horas, realizado en 3 mediciones trimestral.</li> </ul>
Sistema de iluminación	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición por ciclo, adquisición de datos en el ciclo de arranque, medición con frecuencia igual a 1 medición por sistema en un periodo igual a 5 minutos, realizado en 3 mediciones semanales.</li> </ul>
	Alumbrados en caminos internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición continua, adquisición de datos para el ciclo de funcionamiento nominal, medición con frecuencia igual a 1 medición por sistema en un periodo igual a 1 hora, realizado en 3 mediciones semanales.</li> </ul>
Compuertas Radiales	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medición semestral, adquisición de datos en el ensayo de funcionamiento, medición con frecuencia igual a 1 medición por compuerta en un periodo igual al ciclo de apertura/cierre de cada compuerta, medido en minutos, realizado en 2 mediciones semestral.</li> </ul>
Compuerta Flotante		

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, mediante el diagnóstico es posible identificar el desempeño energético de los sistemas, estableciendo una línea de base energética, que será presentado en las secciones siguientes, detallando por sistema analizado. Los resultados dan lugar a la evaluación de los indicadores de desempeño energético existentes, donde los resultados de las mediciones de los sistemas caso de estudio se contrasta con los indicadores de desempeño.

## 5.1 SISTEMAS HIDROMECAÑICOS

En las operaciones de las compuertas radiales, las mismas obedecen a una apertura controlada con restricciones de seguridad, siendo mínimo el caudal de agua vertido hacia el cauce del río seco, minimizando de esta forma los posibles impactos que podrían ocasionar hacia la comunidad y el medio ambiente.

En los resultados de la Tabla 1, se observan las mediciones que se llevaron a cabo durante uno de los ensayos semestrales, dentro del periodo de estudio.

Tabla 1: Mediciones *in situ* referentes a las compuertas radiales en presa ACY.

SISTEMA	RESULTADOS	
	APERTURA DE COMPUERTA	CIERRE DE COMPUERTA
CR1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 383,67 (V); RT: 385,33 (V); ST: 382,67 (V). Corriente por fase - R: 7,93 (A); S: 7,80 (A); T: 7,47 (A).</li> <li>Tiempo: 19:57 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 384,67 (V); RT: 386,0 (V); ST: 384,33 (V). Corriente por fase - R: 5,07 (A); S: 4,80 (A); T: 4,73 (A).</li> <li>Tiempo: 19:22 (min:seg)</li> </ul>
CR2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 393,67 (V); RT: 393,33 (V); ST: 394,0 (V). Corriente por fase - R: 6,73 (A); S: 6,73 (A); T: 6,67 (A).</li> <li>Tiempo: 19:58 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 393,67 (V); RT: 394,0 (V); ST: 393,33 (V). Corriente por fase - R: 4,83 (A); S: 4,70 (A); T: 4,97 (A).</li> <li>Tiempo: 19:24 (min:seg).</li> </ul>
CR3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 391,33 (V); RT: 392,67 (V); ST: 390,67 (V). Corriente por fase - R: 7,67 (A); S: 7,37 (A); T: 7,63 (A).</li> <li>Tiempo: 19:40 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 392,00 (V); RT: 392,00 (V); ST: 390,33 (V). Corriente por fase - R: 4,90 (A); S: 5,00 (A); T: 5,17 (A).</li> <li>Tiempo: 19:43 (min:seg).</li> </ul>
CR4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 386,33 (V); RT: 387,33 (V); ST: 385,67 (V). Corriente por fase - R: 7,37 (A); S: 7,23 (A); T: 7,20 (A).</li> <li>Tiempo: 19:57 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 387,00 (V); RT: 388,00 (V); ST: 386,33 (V). Corriente por fase - R: 5,10 (A); S: 4,83 (A); T: 5,07 (A).</li> <li>Tiempo: 19:53 (min:seg).</li> </ul>
CR5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 398,33 (V); RT: 397,33 (V); ST: 398,33 (V). Corriente por fase - R: 7,40 (A); S: 7,50 (A); T: 7,50 (A).</li> <li>Tiempo: 19:43 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 399,33 (V); RT: 397,67 (V); ST: 399,00 (V). Corriente por fase - R: 5,20 (A); S: 5,23 (A); T: 4,97 (A).</li> <li>Tiempo: 19:55 (min:seg).</li> </ul>
CR6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 385,67 (V); RT: 386,67 (V); ST: 385,00 (V). Corriente por fase - R: 7,53 (A); S: 7,27 (A); T: 7,73 (A).</li> <li>Tiempo: 19:54 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 385,67 (V); RT: 387,67 (V); ST: 385,67 (V). Corriente por fase - R: 5,17 (A); S: 4,77 (A); T: 5,03 (A).</li> <li>Tiempo: 19:41 (min:seg).</li> </ul>
CR7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 393,33 (V); RT: 392,33 (V); ST: 391,67 (V). Corriente por fase - R: 7,47 (A); S: 4,77 (A); T: 7,23 (A).</li> <li>Tiempo: 19:63 (min:seg).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión por fase - RS: 394,67 (V); RT: 393,67 (V); ST: 394,67 (V). Corriente por fase - R: 4,83 (A); S: 4,77 (A); T: 4,67 (A).</li> <li>Tiempo: 19:35 (min:seg).</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento del ensayo es instalar ataguías, que son posicionadas aguas arriba de la compuerta radial (CR), impidiendo el paso del agua por la compuerta, de esta forma es posible la apertura y cierre de manera controlada, sin realizar vertimiento del agua, y sin ocasionar impactos hacia la comunidad o el medio ambiente. Conjuntamente son realizadas las mediciones eléctricas como tensión de servicio, corriente de funcionamiento y el tiempo de apertura/cierre correspondiente, en el ensayo las compuertas radiales son operadas hasta una apertura de 6 metros. En la Tabla 2, se presentan resultados de los cálculos teóricos referentes a las compuertas.

Tabla 2: Cálculos teóricos referentes a las compuertas radiales en presa ACY.

SISTEMA	RESULTADOS	
	APERTURA DE COMPUERTA	CIERRE DE COMPUERTA
CR1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 383,89 (V); Corriente: 7,73 (A)</li> <li>• Energía: 1,540 (kWh)</li> <li>• Potencia: 4,72 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:27 (min:seg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 385,00 (V); Corriente: 4,87 (A)</li> <li>• Potencia: 2,99 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:13 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,958 (kWh)</li> </ul>
CR2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 393,67 (V); Corriente: 6,71 (A)</li> <li>• Potencia: 4,21 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:35 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,374 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 393,67 (V); Corriente: 4,83 (A)</li> <li>• Potencia: 3,03 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:15 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,972 (kWh)</li> </ul>
CR3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 391,56 (V); Corriente: 7,56 (A)</li> <li>• Potencia: 4,72 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:24 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,526 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 391,44 (V); Corriente: 5,02 (A)</li> <li>• Potencia: 3,12 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:26 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,011 (kWh)</li> </ul>
CR4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 386,44 (V); Corriente: 7,27 (A)</li> <li>• Potencia: 4,48 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:34 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,461 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 387,11 (V); Corriente: 5,00 (A)</li> <li>• Potencia: 3,08 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:32 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,003 (kWh)</li> </ul>
CR5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 398,00 (V); Corriente: 7,47 (A)</li> <li>• Potencia: 4,74 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:26 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,545 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 398,67 (V); Corriente: 5,13 (A)</li> <li>• Potencia: 3,26 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:19 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,046 (kWh)</li> </ul>
CR6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 385,78 (V); Corriente: 7,51 (A)</li> <li>• Potencia: 4,62 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:33 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,506 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 386,33 (V); Corriente: 4,99 (A)</li> <li>• Potencia: 3,07 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:10 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,985 (kWh)</li> </ul>
CR7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 392,44 (V); Corriente: 7,32 (A)</li> <li>• Potencia: 4,58 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:38 (min:seg)</li> <li>• Energía: 1,493 (kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 394,33 (V); Corriente: 4,76 (A)</li> <li>• Potencia: 2,99 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 19:21 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,960 (kWh)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Este método de estimación fue realizado debido a que las aperturas y cierres de las compuertas radiales, obedecen únicamente a las condiciones del embalse, imposibilitando la predicción de las maniobras para realizar las correspondientes mediciones *in situ*, esto teniendo en cuenta que el sistema se compone de equipos convencionales y no presenta adquisición de datos en tiempo real.

El proceso del cálculo consistió en obtener el histórico de maniobras de las compuertas radiales, una vez identificado el momento en el cual eran operadas, se computo las aperturas/cierres

en función a los metros de operación. De esta forma se obtuvo los metros de apertura y cierre para cada compuerta, a lo largo de un año.

Posteriormente, utilizando las mediciones *in situ* de los ensayos, se calcularon los promedios de los parámetros eléctricos, como tensión de alimentación, corriente de funcionamiento y tiempo de operación. Para el cálculo de los promedios de los parámetros eléctricos, fue utilizada la ecuación 3.

$$\text{Promedio o valor medio} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad [3]$$

Donde:

- (i)  $x_n$ , corresponde al parámetro eléctrico o de tiempo medido, que se desea conocer el promedio entre varias mediciones;
- (ii)  $n$ , corresponde a la cantidad total de mediciones consideradas;

En el cálculo de la estimación de la potencia instantánea consumida en las maniobras de operación en condiciones normales, fue utilizada la ecuación 4.

$$\text{Potencia eléctrica} = \sqrt{3} \times UL \times IL \times \cos \alpha \quad [4]$$

Donde:

- (i)  $\sqrt{3}$ , corresponde al parámetro eléctrico debido a la naturaleza del desfase de 120 grados entre las fases de un sistema trifásico;
- (ii)  $UL$ , corresponde a la tensión de línea;
- (iii)  $IL$ , corresponde a la corriente de línea;
- (iv)  $\cos \alpha$ , representa el factor de potencia del sistema o equipo.

Para el cálculo de la energía consumida en el tiempo de operación de las compuertas, se utilizó las informaciones del tiempo de apertura/cierre, cantidad de operaciones, potencia instantánea calculada y la ecuación 5 de energía eléctrica.

$$\text{Energía activa} = \text{Potencia eléctrica} \times \text{Tiempo de funcionamiento} \quad [5]$$

Como resultado, se obtiene la energía consumida por el equipo o sistema en el tiempo de funcionamiento. De forma resumida, se presenta el histórico de funcionamiento de las compuertas radiales, las mismas no superan una apertura de 1 metro en su operación normal, cuando las condiciones del embalse la requieran, además de respetar un procedimiento establecido de aperturas mínimas de 0,05 metros y máximas de 0,3 metros, así los resultados del histórico son observados en la Tabla 3, además del consumo anual.

Tabla 3: Histórico de operaciones de las compuertas radiales en presa ACY.

Sistema	Desplazamiento Apertura/Cierre		Energía consumida en un año			
	en un año		Ensayos		Operación normal	
	Ensayos (metros)	Operación normal (metros)	Apertura (kWh)	Cierre (kWh)	Apertura (kWh)	Cierre (kWh)
CR1	23,44	15,40	3,008	1,871	1,976	1,229
CR2	23,5	14,60	2,691	1,904	1,672	1,183
CR3	23,96	7,10	3,047	2,019	0,903	0,598
CR4	24	7,30	2,922	2,006	0,889	0,610
CR5	24	7,20	3,090	2,092	0,927	0,628
CR6	23,96	7,60	3,007	1,967	0,954	0,624
CR7	24	7,60	2,986	1,920	0,946	0,608
<b>Total</b>	166,86	66,8	20,751	13,778	8,266	5,480

Fuente: Elaboración propia.

Continuando, en la Tabla 4 se observa los resultados referentes a la compuerta flotante ubicada en la presa Acaray, fue realizada una misma metodología, como el proceso de las compuertas radiales.

En los resultados de la adquisición de datos, fue considerado los ensayos hidromecánicos del histórico de los años 2022, 2023 y 2024.

Tabla 4: Mediciones referentes a la compuerta flotante en presa ACY.

SISTEMA	RESULTADOS	
CF1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 391,22 (V); Corriente: 7,02 (A)</li> <li>• Potencia: 4,38 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 03:55 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,286 (kWh)</li> <li>• Operación: Apertura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión: 391,89 (V); Corriente: 5,39 (A)</li> <li>• Potencia: 3,36 (kW)</li> <li>• Tiempo medio: 03:43 (min:seg)</li> <li>• Energía: 0,208 (kWh)</li> <li>• Operación: Cierre</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo de la compuerta flotante, se realiza a una altura lineal máxima de 3 metros de apertura y posterior cerrado completo sin ataguías, realizando sus correspondientes mediciones del ciclo de operación.

Cabe destacar que la compuerta flotante solo es operada en los ensayos de funcionamiento, o en emergencias atípicas por residuos, no tomadas en cuenta para el consumo de la compuerta flotante, por su escasa operación.

## 5.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En el sistema de iluminación de la presa Acaray, dio como resultado las mediciones que son observadas en el Cuadro 18, donde se detalla el tipo de luminaria instalada, las características constructivas, el régimen de operación y el consumo energético de las luminarias.

Se realizaron mediciones en campo del sistema de iluminación, esto con el objetivo de obtener un consumo real de las luminarias instaladas en el vertedero de las compuertas radiales. Se identificó que el sistema de iluminación se divide en dos circuitos monofásicos, llamados circuito n°1 y circuito n°2, siendo la potencia total instalada de ambos circuitos de 7600 W. El sistema de iluminación analizado, es alimentado desde el *power center* de la presa Acaray. El *power center* es donde se recibe la alimentación principal, para posteriormente distribuirlos a los sistemas o circuitos auxiliares.

Cuadro 18: Mediciones del sistema de iluminación en la presa ACY.

SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
Sistema de iluminación	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 19 luminarias; HPI-T tubulares tipo halogenuros metálicos de potencia eléctrica igual a <b>400 (W)</b>, vida útil de <b>20000 horas</b> y con un contenido de mercurio igual a <b>27 (mg)</b>.</li> <li>• Flujo luminoso de <b>32000</b>, siendo la intensidad luminosa medida en candelas.</li> <li>• Régimen de operación, cíclico y constante, desde las 17:30 horas y apagando el mismo a las 06:00 horas, funcionando <b>11 horas con 30 minutos</b>.</li> <li>• Corriente pico medida de una luminaria <b>11,7 (A)</b>, corriente nominal medida de <b>2,6 (A)</b>.</li> <li>• Circuito n°1, Tensión: <b>235 (V)</b>, Corriente en la fase R: <b>10,20 (A)</b>; Corriente en la fase S: <b>8,40 (A)</b>; Corriente en la fase T: <b>5,70 (A)</b>.</li> <li>• Circuito n°2, Tensión: <b>235 (V)</b>, Corriente en la fase R: <b>9,10 (A)</b>; Corriente en la fase S: <b>7,80 (A)</b>; Corriente en la fase T: <b>8,70 (A)</b>.</li> <li>• Potencia eléctrica medida, Circuito n°1: <b>3,42 (kW)</b>; Circuito n°2: <b>3,61 (kW)</b>.</li> <li>• Energía consumida en 24 horas: <b>80, 91 (kWh)</b>.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Continuando, con el sistema de iluminación referente a los alumbrados en caminos internos, se realizaron mediciones en campo del sistema de iluminación, esto con el objetivo de obtener un consumo real de las luminarias instaladas en los caminos internos de la central hidroeléctrica, el sistema estudiado abarca lo observado en la Figura 16, el cual fue delimitado a los caminos internos dentro de la central hidroeléctrica Acaray.

En el sistema de iluminación, se identificó que es alimentado por un transformador trifásico de 100 kVA, con su respectivo tablero de baja tensión, el cual es el encargado del automatismo y la distribución de la alimentación eléctrica.

Figura 16: Sistema de iluminación en caminos internos.



Fuente: Elaboración propia mediante Google Earth.

El sistema trifásico se divide en tres circuitos monofásicos, llamados circuito R, S y T, siendo la potencia total instalada de 10400 W. Los resultados de las mediciones, dio como resultado los datos del Cuadro 19, identificando el régimen de operación, y detallando el consumo energético por circuito del sistema de iluminación de los alumbrados en caminos internos.

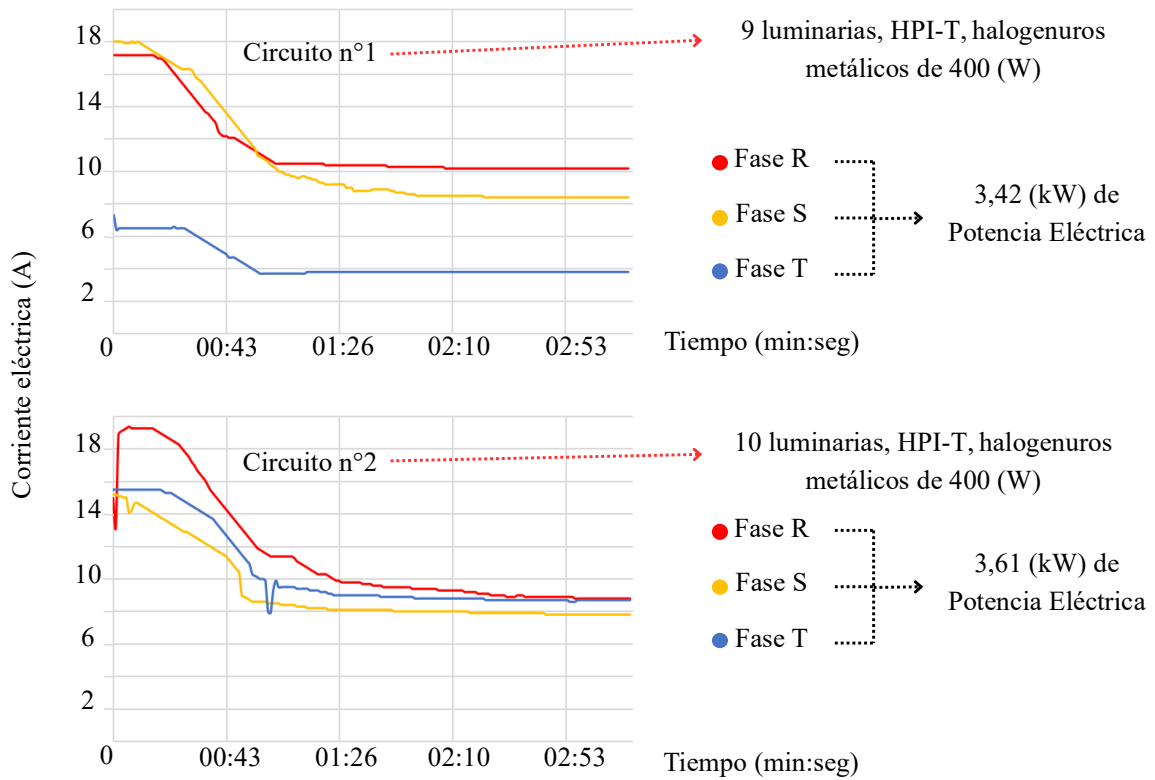
Cuadro 19: Mediciones del sistema de iluminación de alumbrados en caminos internos.

SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
Sistema de iluminación	Alumbrados en caminos internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Régimen de operación, cíclico y constante, desde las 19:30 horas aproximadamente y apagando el mismo a las 06:00 horas, funcionando <b>10 horas con 30 minutos</b>.</li> <li>• Circuito R, Tensión: <b>239 (V)</b>, Corriente: <b>17,3 (A)</b>.</li> <li>• Circuito S, Tensión: <b>239 (V)</b>, Corriente: <b>41,2 (A)</b>.</li> <li>• Circuito T, Tensión: <b>238 (V)</b>, Corriente: <b>13,4 (A)</b>.</li> <li>• Potencia eléctrica medida, Circuito R: <b>2,48 (kW)</b>; Circuito S: <b>5,91 (kW)</b>; Circuito T: <b>1,91 (kW)</b>.</li> <li>• Energía consumida en 24 horas: <b>108, 15 (kWh)</b>.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

De forma complementaria, se elaboró la curva de funcionamiento de los sistemas, relacionando la corriente de funcionamiento en función del tiempo, las mismas se observan en Figura 17 y la Figura 18, identificando, que las luminarias instaladas en la presa Acaray, presentan un pico de arranque en función del tiempo en el encendido, para posteriormente estabilizarse a la corriente nominal de los equipos.

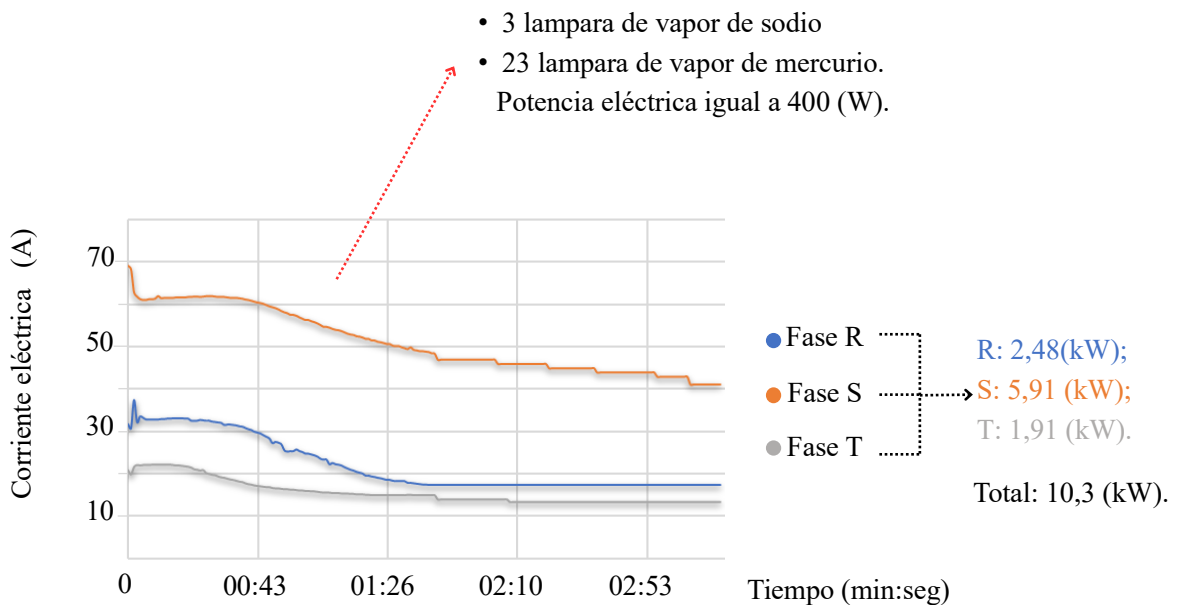
Figura 17: Curva corriente/tiempo sistema de iluminación en presa Acaray.



Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento es debido a que las lámparas de vapor presentan baja resistencia interna y es necesario la ionización del gas mediante un arrancador y una reactancia. Por ello durante los primeros minutos, la corriente es aproximadamente 1,5 a 2 veces su valor nominal, estabilizándose posteriormente.

Figura 18: Curva corriente/tiempo sistema de iluminación de alumbrados en caminos internos



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma es posible el análisis de los indicadores de desempeño del sistema, siendo los referentes a las horas de operación diarias, consumo de energía, energía utilizada y tiempo de actuación. Obteniendo de esta forma un análisis del desempeño energético actual de los sistemas de iluminación.

### 5.3 SISTEMA DEL CENTRO DE CONTROL DE BOMBAS

En relación al centro de control de bombas, ubicado en la presa Acaray, es importante mencionar que su régimen de trabajo, depende únicamente de las filtraciones y condiciones atmosféricas que se presenten en la presa. Debido a estos factores, la operación de las bombas de drenaje sucede en numerosas ocasiones en 24 horas.

En este contexto, las mediciones del centro de control de bombas, se estableció un caudal de referencia, basado en la reposición mínima en el pozo de drenaje, el cual fue determinado en 9,9 l/min. Esta referencia permite evaluar el desempeño del sistema y su eficiencia operativa a lo largo del tiempo.

En el Cuadro 20, se detallan los resultados como el ciclo de operación, cantidad de bombas, potencia eléctrica, energía consumida y caudales de agua vertido.

Cuadro 20: Mediciones del sistema del centro de control de bombas.

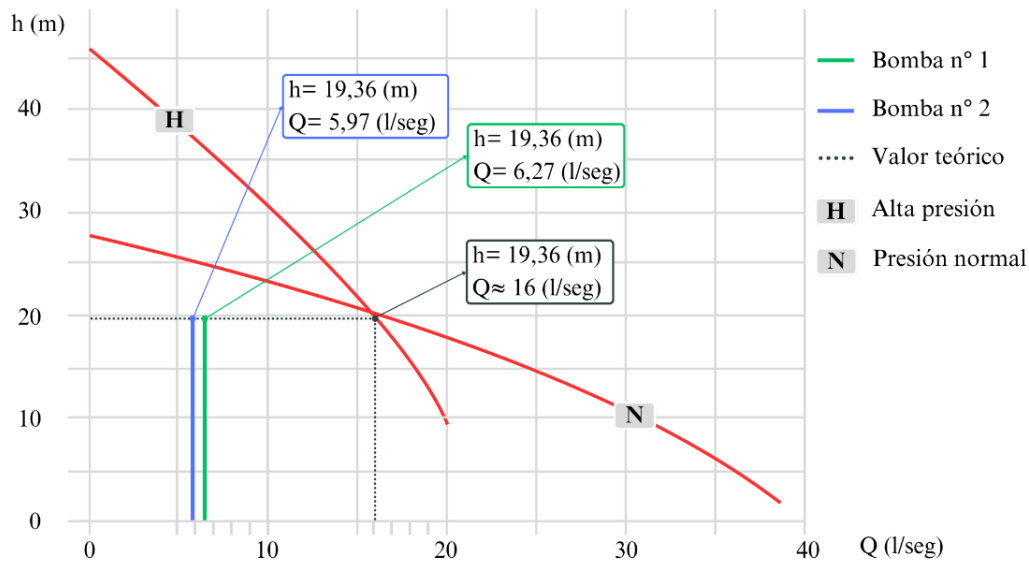
SISTEMA	UBICACIÓN	RESULTADOS
CCB	Presa ACY	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2 bombas</b> centrifugas: con <b>5 a 6 operaciones en 24 horas</b> con funcionamiento alternado por bomba; Altura manométrica de la columna de agua: <b>19,36 (m)</b>.</li> <li>• <b>Tipo de bombas:</b> tipo H, de alta presión.</li> <li>• Tiempo del ciclo de llenado del pozo de drenaje: <b>02:16:36 (hh:min:seg)</b>.</li> <li>• Tiempo del ciclo de operación, bomba n°1: <b>03:36 (min:seg)</b>.</li> <li>• Tiempo del ciclo de operación, bomba n°2: <b>03:47 (min:seg)</b>.</li> <li>• Caudal de salida de la bomba n°1: <b>386,2 (l/min)</b>; caudal de salida de la bomba n°2: <b>368,3 (l/min)</b>.</li> <li>• Pico de potencia eléctrica medida, bomba n°1: <b>5,59 (kW)</b>.</li> <li>• Pico de potencia eléctrica medida, bomba n°2: <b>7,22 (kW)</b>.</li> <li>• Energía consumida por 24 horas, bomba n°1: <b>2,01 (kWh)</b>.</li> <li>• Energía consumida por 24 horas, bomba n°2: <b>2,73 (kWh)</b>.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a los indicadores de desempeño del centro de control de bombas, se evaluó la relación entre la potencia consumida y el caudal de agua vertido por operación.

Este análisis determina la eficiencia del sistema y su comportamiento en diferentes condiciones de operación. Se elaboró la curva de altura manométrica en función del caudal vertido, Figura 19, siendo la curva teórica de las bombas centrifugas del tipo H, de alta presión.

Figura 19: Curva de altura manométrica en relación al caudal vertido



Fuente: Elaboración propia

Continuando con el análisis del desempeño del sistema del centro de control de bombas, el factor de carga del motor de la bomba centrífuga representa la relación entre la potencia operativa teórica y la potencia nominal medida del motor. Este indicador es utilizado para evaluar la eficiencia del motor, permitiendo identificar si el motor opera dentro de su rango óptimo o si presenta sobredimensionamiento o subutilización, lo que puede influir en el consumo energético y el rendimiento del sistema, los datos son observados en la Tabla 5.

Tabla 5: Factor de carga del motor de la bomba

UBICACIÓN	FACTOR DE CARGA DE LA BOMBA, ADIMENSIONAL, RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA OPERATIVA PROMEDIO Y LA POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR		
	CCB Presa ACY	Bomba n° 1	Potencia operativa: 5,59 (kW)
Potencia nominal: 7,7 (kW)			
Bomba n° 2		Potencia operativa: 7,22 (kW)	0,937
		Potencia nominal: 7,7 (kW)	

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 LÍNEA DE BASE ENERGÉTICA

La línea de base energética, fue establecida gracias a los resultados del diagnóstico energético, el cual fue realizado al sistema del centro de control de las bombas de drenaje, al sistema de iluminación y al sistema de compuertas hidromecánicas, que forman parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray. Se logró: (i) cuantificar el consumo de cada sistema; (ii)

entender el uso de la energía por cada sistema; y (iii) obtener una referencia para el análisis mediante los indicadores. A continuación, se presenta la línea de base, que será utilizada como una referencia energética.

1. **El sistema de iluminación:** representa el mayor consumo energético entre los sistemas evaluados, esto considerando que se utilizan tecnologías poco eficientes como las luminarias de vapores metálicos o de sodio. Por lo que el sistema alcanza un total de 38934 kWh/año en la iluminación de los caminos internos y 29127 kWh/año en la iluminación de la presa Acaray. Otro factor a considerar es el régimen de operación constante, entre 10 a 12 horas de funcionamiento por día, resultando en un consumo energético significativo que reduce la eficiencia operativa la central.
2. **El sistema de compuertas hidromecánicas:** Las compuertas radiales, resultaron en un consumo de energía promedio anual por metro de 0,2487 kWh/m por apertura, y 0,1651 kWh/m por cierre de las compuertas, aunque estos valores no reflejan un consumo energético elevado, el desplazamiento total acumulado de todas las compuertas, considerando apertura y cierre, fue de 233,66 metros, resultando en un consumo energético anual de 48,275 kWh/año para el sistema de las compuertas radiales.

Se identifico que las compuertas radiales presentan un régimen de operación que dependen únicamente de las condiciones del embalse de la presa Acaray.

En cuanto a la compuerta flotante, se registró un consumo de 0,494 kWh/año, reflejando el uso limitado de la compuerta flotante, la compuerta es utilizada únicamente para los mantenimientos de la presa, en el caso de limpieza de residuos superficiales en el embalse, o en el caso de los ensayos y mantenimientos mecánicos programados del sistema de la compuerta flotante.

3. **El sistema del centro de control de bombas de drenaje:** Este sistema resulto en un consumo anual de 1706,4 kWh, donde su funcionamiento es únicamente para evacuar el agua proveniente de las filtraciones estructurales de la presa. Así también, se deja registrado como referencia valores del caudal de salida y la potencia eléctrica de las bombas centrifugas, permitiendo comparar el rendimiento entre las bombas, destacando que la bomba número 1 opera al 73 % de su capacidad eléctrica, con un caudal de salida de agua mayor que la bomba número 2, que opera al 93 % de su capacidad eléctrica., identificando una pérdida de eficiencia en la bomba número 2.

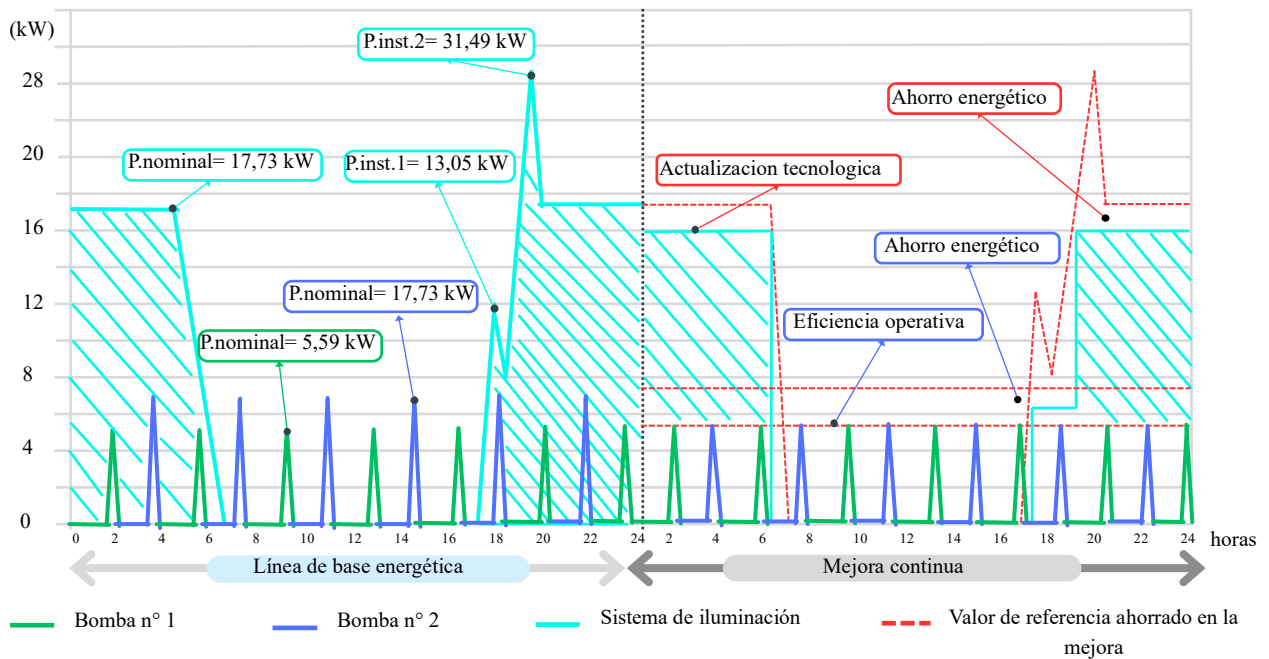
Estas informaciones representan el desempeño eléctrico en función al caudal de salida, posibilitando las mejoras operativas mediante configuraciones de potencia eléctrica, con el objetivo de lograr el punto de máxima eficiencia, así también orientando a futuras decisiones de mantenimiento preventivo o sustitución del equipo.

Se destaca que estos resultados establecen la base energética en la cual se estructura la línea de base, posibilitando evaluar futuras mejoras en términos de eficiencia energética y desempeño operativo de los sistemas analizados. En la Figura 20, se observa la línea de base energética de los sistemas de iluminación y el sistema del centro de control de bombas., esto permite visualizar de forma gráfica los puntos de mayor consumo. de ambos sistemas, con sus respectivas potencias instantáneas máximas y potencias nominales. La Figura 20 está representada en un periodo de 24 horas, posibilitando observar el comportamiento del sistema de iluminación y el centro de control de bombas en un día, con el objetivo de captar el comportamiento normal de los sistemas a lo largo del tiempo.

En relación al sistema de iluminación, se identificó que actualizaciones a nuevas tecnologías más eficientes, reduce no solo la potencia nominal del sistema, sino también las potencias instantáneas, que, por su tecnología convencional, presentan picos elevados de potencia instantánea.

Mientras que, para el sistema de control de bombas, una estrategia como mejorar la eficiencia de la bomba número 2, con estrategias como limpieza de rejillas, mantenimiento de los rodamientos, impulsor, eje. Además de configuraciones eléctricas de optimización de la relación potencia-caudal vertido, reduciendo la potencia nominal de trabajo de la bomba sin modificar el caudal de agua vertido. Posteriormente a esto, una acción de mayor efecto podría darse en una actualización tecnológica con la instalación de nuevos equipos.

Figura 20: Línea de base energética del CCB y sistema de iluminación.



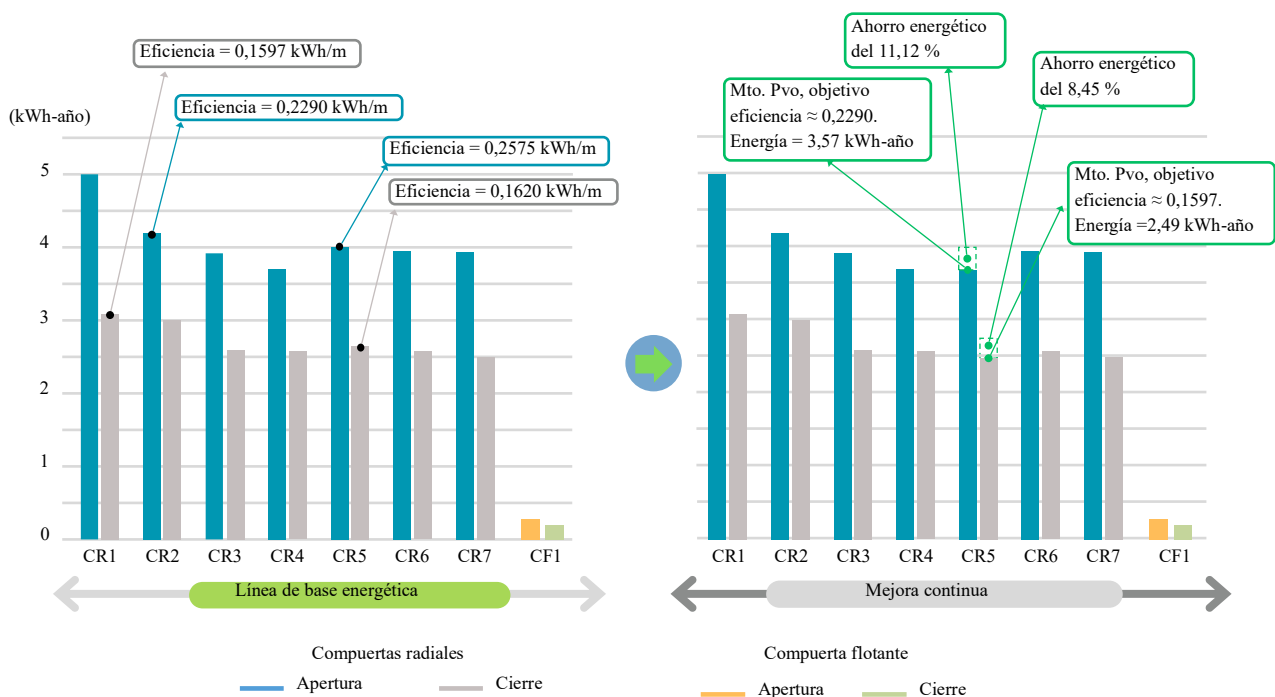
Fuente: Elaboración propia

En relación a los sistemas hidromecánicos, en la Figura 21, se observa el consumo de energía de las compuertas radiales y la compuerta flotante a lo largo de un año, dando una perspectiva de la línea de base energética, la cual proporciona las referencias para implementar la mejora continua.

En la Figura 21, podemos identificar el consumo energético del motor en función a los metros desplazados por la compuerta radial, la cual presenta un movimiento lineal., resultando en el motor de mayor consumo el de la compuerta radial número 5, con un consumo de 0,2575 kWh/m en la apertura y de 0,1620 kWh/m en el cierre de la compuerta. Esto demuestra la energía necesaria que debe entregar el motor para el movimiento de un metro de la compuerta. Por otro lado, en función de las operaciones de las compuertas radiales, el motor con menor consumo, se dividen en dos distintas compuertas, en la apertura es el de la compuerta número 2 con un consumo igual a 0,2290 kWh/m, mientras que, para el cierre, el motor con menor consumo es el de la compuerta número 1, con 0,1597 kWh/m de energía necesaria para el movimiento de la compuerta.

Con estas informaciones de la línea de base energética, se identificaron los motores eléctricos que operan a un régimen de trabajo mayor, traduciéndose en mayores consumos de energía, este fenómeno se puede dar por problemas mecánicos en las cajas reductoras de la transmisión de la energía mecánica o desgastes en los rodamientos de los motores. Por otro lado, pueden ser debido a problemas eléctricos, como falsos contactos por suciedad, desbalances magnéticos o sobrecalentamiento en las bobinas. La línea de base energética, posibilita programar los mantenimientos preventivos a la compuerta radial que lo requiera, con el objetivo de obtener un consumo energético mínimo y así lograr los ahorros eléctricos que se observan en la Figura 21, se destaca que este proceso es replicable a todas las compuertas radiales.

Figura 21: Línea de base energética de las compuertas hidromecánicas.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la compuerta flotante, la línea de base energética proporciona los datos necesarios para afirmar que el sistema no requiere de acciones inmediatas.

Por otro lado, en las compuertas radiales, se observa un uso mayoritario de las compuertas radiales número 1 y número 2, identificando un mayor consumo y menor eficiencia en el sistema. De esta forma es posible hacer una distribución de los regímenes de operación, sin comprometer la estructura de la presa. Además de identificar mantenimientos preventivos necesarios en los sistemas mecánicos o eléctricos para mayor eficiencia del motor eléctrico.

## 5.5 ENFOQUE AMBIENTAL Y SOCIAL

Además del ahorro energético de los sistemas, se identificaron impactos positivos directos e indirectos en la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la comunidad.

Los resultados ofrecen un panorama del impacto ambiental actual, sirviendo como punto de partida para implementar medidas que mejoren la eficiencia energética y reduzcan las emisiones de dióxido de carbono de los sistemas analizados.

En este sentido, la determinación de las emisiones de dióxido de carbono asociada al consumo energético, se realizó con base en los resultados obtenidos del diagnóstico energético. La cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético, permite evaluar el impacto ambiental de la operación actual.

Para realizar la estimación de las emisiones de dióxido de carbono se utilizaron los datos de consumo energético medidos y recopilados en el diagnóstico energético de los sistemas, junto con la utilización de dos calculadoras de equivalencias de las emisiones de dióxido de carbono. La primera, fue desarrollada por la *Environmental Protection Agency*, de los Estados Unidos, se utilizó la calculadora de equivalencias como referencia sin modificaciones de tropicalización, la aplicación en el estudio es con base a la premisa que es posible replicar las estimaciones en condiciones locales o donde se requiera, necesitando únicamente el coeficiente de estimación de carbono según las características específicas de la localidad de estudio. Otra funcionalidad de la calculadora de la EPA, fue posible expresar dichas emisiones en términos más comprensibles para la sociedad, como, por ejemplo, las emisiones de dióxido de carbono del sistema que equivalen al carbono que capturarían plantas urbanas.

La segunda calculadora utilizada fue la calculadora de emisiones de dióxido de carbono desarrollada por la fundación *SOS Mata Atlántica* del Brasil. Esta herramienta utiliza factores de conversión adaptados a la realidad climática y ambiental del Brasil, lo que la hace más representativa para contextos regionales.

En la Tabla 6 se presentan los resultados, donde se observa el consumo energético anual de

los sistemas analizados y la cantidad de dióxido de carbono emitida. Si bien las calculadoras no incluyen la localidad en específica para el cálculo, fue considerada la tasa marginal de emisión de ambas calculadoras, en la primera calculadora, fue la de Estados Unidos, con datos del año 2022. La elección de la tasa marginal de Estados Unidos, se justifica por la ausencia de coeficientes oficiales proporcionados por organismos ambientales del Paraguay, siendo una alternativa la utilización de los coeficientes de conversión de una agencia reconocida y establecida como lo es la EPA. Además de realizar una comparativa regional con la utilización de la calculadora de la SOS *Mata Atlántica*.

Tabla 6: Determinación de las emisiones de dióxido de carbono.

SISTEMA	<i>Environmental Protection Agency</i>		SOS <i>Mata Atlántica</i>	
	(Toneladas métricas anuales)	Carbono capturado en (unidad de plantas de zonas urbanas, crecidas durante 10 años)	(Toneladas métricas anuales)	Carbono capturado en (unidad de árbol nativos de la <i>Mata Atlántica</i> )
Compuertas radiales	0,019	0,314	0,003	1
Compuerta flotante	0,00019	0,003	0,000323	1
Sistema de iluminación Presa ACY	11,476	190	1,587	10
Alumbrados en caminos internos	15,339	253	2,122	14
CCB Presa ACY	0,6723	11,1	0,093	1
<b>TOTAL</b>	<b>27,51</b>	<b>454,42</b>	<b>3,8</b>	<b>27</b>

Fuente: Elaboración propia.

De forma complementaria, se determinó el costo de la energía consumida anualmente por los sistemas analizados, para el costo de la energía se utilizó el pliego tarifario número 21 de la ANDE, utilizando como costo de la energía, la tarifa única de energía del consumo industrial, de 404,97 G/kWh.

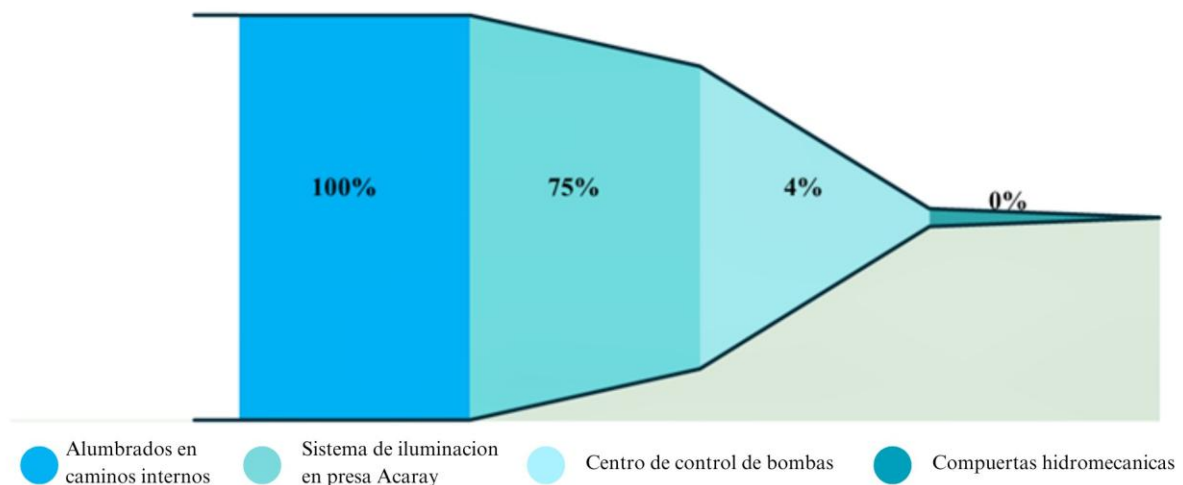
Tabla 7: Determinación del costo de la energía consumida.

SISTEMA	ENERGÍA CONSUMIDA EN UN AÑO (kWh/año)	COSTO DE LA ENERGÍA POR AÑO (guaraníes)	COSTO DE LA ENERGÍA POR AÑO (dólares)
Compuertas radiales	48,275	19550	2,44
Compuerta flotante	0,494	200	0,025
Sistema de iluminación Presa ACY	29127	11795561	1473,34
Alumbrados en caminos internos	38934	15767102	1969,41
CCB Presa ACY	1706,4	691041	86,31
<b>TOTAL</b>	<b>69816,17</b>	<b>28273454</b>	<b>3531,5</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se observan los resultados de las emisiones de dióxido de carbono por cada sistema analizado, estas emisiones son expresadas en términos de porcentaje, posibilitando la comparación de los sistemas entre ellos, se estableció al sistema de iluminación con el 100 por ciento, identificando así al sistema con mayores emisiones, utilizándolo como el porcentaje de base para comparar los demás sistemas al de mayor emisión, proporcionando un panorama del efecto ambiental de los sistemas, dando un punto de partida para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de dióxido de carbono de la central hidroeléctrica Acaray.

Figura 22: Porcentaje de emisiones de dióxido de carbono por sistema.



Fuente: Elaboración propia

En este sentido, la reducción del consumo energético en sistemas como el sistema del centro de control de bombas, la iluminación en la presa y en caminos internos impacta directamente en la disminución de emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo directamente a la mitigación del impacto ambiental de la comunidad local, alineándose con los compromisos de los ODS.

Continuando con la evaluación ambiental, se destaca que, se identificó una necesidad real en el control y monitoreo del embalse Acaray, esto en relación a la fauna ictícola del embalse, donde en el 2020 fue liberado 6000 peces juveniles como Pacú, Boga, Ñurundi'a y Carimbata. Siendo parte de un programa de conservación y monitoreo de esas especies.

Un control más eficiente del vertimiento preservaría las especies reintroducidas, considerando que la presa Acaray no cuenta con un paso seguro de peses. De esta forma se enfatiza la necesidad de una gestión hídrica sostenible en la presa Acaray.

Además, en relación a los impactos sociales observados en las operaciones de las compuertas hidromecánicas, la implementación de un control más eficiente del vertimiento en las compuertas también tiene un impacto directo en las actividades de pesca de la comunidad local, siendo el embalse del Acaray un sistema cerrado para la fauna ictícola, por lo que se debe buscar restablecer el equilibrio

ecológico y fomentar la pesca local de manera sostenible. Destacando que el manejo adecuado del vertimiento contribuiría a la preservación de estas especies, beneficiando tanto al ecosistema como a las comunidades ribereñas que dependen de la pesca para su sustento.

Con respecto a los materiales y tecnologías utilizadas en los sistemas, específicamente en el sistema de iluminación, donde es utilizado luminarias de vapor metálico o sodio, se identificó un riesgo ambiental asociado al uso de esas luminarias, debido al contenido de mercurio, cuya instalación, transporte e inadecuada disposición final representan un riesgo para los trabajadores, el medio ambiente y las comunidades.

El enfoque ambiental y social de los resultados del diagnóstico energético, demuestran que las acciones de mejora continua también deben ser aplicadas en estas áreas, lo que posibilitaría en beneficios transversales, y no únicamente beneficios técnicos. Este enfoque interdisciplinar promueve al diagnóstico energético como herramienta técnica y estratégica para obtener la eficiencia energética, de forma responsable y alineada con los objetivos de desarrollo sostenible, especialmente el ODS 7 y el ODS 13.

## CONCLUSIONES

El estudio permitió evaluar el desempeño energético de parte de los sistemas del servicio auxiliar de la central hidroeléctrica Acaray, realizando un diagnóstico energético, estableciendo una línea de base energética como referencia para futuras propuestas en eficiencia energética.

Los objetivos planteados fueron alcanzados, realizando la fundamentación teórica y el desarrollo de una estructura de procesos para el diagnóstico energético aplicado a la central hidroeléctrica Acaray. Se realizó el diagnóstico energético en etapas estructuradas, permitiendo el análisis técnico con un enfoque económico, ambiental y social de los sistemas. Se determinó la emisión de dióxido de carbono equivalente al consumo energético, tomando como referencia los resultados del diagnóstico y la línea de base establecida. De esta manera, en lo ambiental, se cuantificó las emisiones de dióxido de carbono equivalentes al consumo energético de los sistemas, resultando en un total máximo de 27,5 toneladas por año, equivalentes al carbono que podrían capturar aproximadamente 454 plantas de una zona urbana que han crecido durante 10 años, esta captura de carbono lo realizaría en un periodo de un año, se destaca que, las emisiones de dióxido de carbono no representan el único aspecto ambiental de los sistemas, se identificó la necesidad de tener en cuenta la tecnología de los sistemas, por ejemplo, las luminarias del sistema de iluminación representan un factor de contaminación ambiental y de seguridad, debido al contenido de mercurio en las lámparas. Además, de factores como el control y monitoreo del embalse Acaray mediante la gestión hídrica en el sistema de las compuertas hidromecánicas, esto último en relación a la conservación y pesca sostenible de la fauna ictícola del embalse. En este contexto, el estudio se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible, como la ODS 7 de energía asequible y no contaminante, al promover un uso más eficiente de la energía, evaluando el desempeño de los sistemas estudiados y proponiendo mejoras en el sistema. Así también, la ODS 13, de acción por el clima, al cuantificar las emisiones de dióxido de carbono, destacando que la reducción del consumo energético impacta directamente en la disminución de la huella de carbono y al aumento de la eficiencia de la central.

En relación al consumo energético, se identificó que el sistema de iluminación es el de mayor consumo, con 68061 kWh/año. Así también, es el sistema en el cual el análisis determinó mayores oportunidades de mejora, como actualización a nuevas tecnologías más eficientes, y optimización de la operación del sistema. Por su parte, el sistema del centro de control de bombas de drenaje, resultó en un consumo de 1706,4 kWh/año. Mientras, que los sistemas de compuertas hidromecánicas representan el consumo más bajo entre los sistemas analizados, con 48,769 kWh/año. En lo económico, el consumo total de los tres sistemas mencionados, es equivalente a un gasto anual de 3531,5 dólares estadounidenses.

En lo referente a las normas ISO, el diagnóstico energético fue realizado teniendo en cuenta

los requisitos establecidos por la INTN NP ISO 50002:2023, cumpliendo con los requisitos técnicos establecidos por la norma, resultando en la identificación del uso y consumo de la energía, analizando el desempeño actual de los sistemas estudiados, finalizando con propuestas de mejoras en términos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

En cuanto a la norma ISO 50001:2018, el estudio utiliza como guía los requisitos establecidos por la norma INTN NP ISO 50001:2015, resultando en los primeros pasos para la implementación de un sistema de gestión energética, esto con el objetivo de la mejora continua. En el estudio se desarrolla la etapa de planificación, no siendo así las demás etapas para el cumplimiento del ciclo PHVA. En este contexto, el presente estudio no representa un documento para la certificación ISO 50001:2018, aunque sí representa un proceso previo hacia la implementación de un sistema de gestión energética en la central.

En el estudio, mediante el enfoque ambiental y social del estudio, se identificó que los sistemas de compuertas hidromecánicas presentan oportunidades de mejoras en términos ambientales y sociales, esto debido a su naturaleza de operación, en el control hídrico del río Acaray. Las oportunidades de mejoras identificadas en el estudio, incluyen: *(i)* actualizaciones tecnológicas del sistema de iluminación, con tecnologías más eficientes; *(ii)* políticas para un control hídrico del embalse, mediante el control de las operaciones, teniendo en cuenta un enfoque ambiental y social; y *(iii)* remplazo de tecnologías contaminantes, como las luminarias con contenido de mercurio, considerando sus riesgos ambientales y de seguridad al personal en la instalación, transporte e inadecuada disposición final.

Estas oportunidades de mejoras, también pueden ser temas de estudios futuros, con el objetivo de ampliar los estudios energéticos sobre los temas de eficiencia energética, diagnóstico energético y sostenibilidad, algunos posibles trabajos futuros son:

- a) Implementación de estrategias para contribuir a la eficiencia energética en la central hidroeléctrica Acaray: se recomienda la aplicación de estrategias de eficiencia energética como, la sustitución de equipos con tecnologías más eficientes, la implementación de sistemas de automatización para mejorar el rendimiento, la implementación de un sistema de gestión bien definido.
- b) Un estudio de viabilidad económica, evaluando el costo y beneficio de la implementación de las estrategias, incluyendo el retorno de inversión y los ahorros energéticos a largo plazo.
- c) Replicar el estudio a otros sistemas dentro de la central hidroeléctrica Acaray, esto permitiría a la organización, identificar patrones de consumo energético generales y establecer estrategias de eficiencia energética;
- d) Análisis del impacto ambiental con otros indicadores de desempeño, en este sentido, se podría considerar otros indicadores ambientales, como la huella hídrica, el impacto de las

operaciones de las compuertas radiales al descargar el agua en un cauce seco, y la generación de residuos.

- e) Integración de fuentes de energía renovable en el sistema de iluminación, la incorporación de energías renovables, como la solar fotovoltaica, se destaca como una alternativa para una generación limpia y sostenible, solución practica en áreas de largo o difícil acceso para el sistema convencional.
- f) Análisis de datos energéticos, permitirá predecir patrones de consumo, identificar puntos de problemas y optimizar el uso de energía de manera más eficiente.
- g) Evaluación del impacto ambiental y social asociado al vertido de agua en el cauce seco del río Acaray. Se propone estudiar las consecuencias ambientales del caudal vertido, debido a la operación de las compuertas radiales. Este análisis podría contemplar la biodiversidad, modificación de hábitats naturales y el impacto percibido por las comunidades locales.

Estos trabajos propuestos, generaran conocimientos académicos en el campo de la eficiencia energética, la sostenibilidad, la contribución al desarrollo de estrategias más efectivas para la reducción del impacto ambiental, social y la mejora del desempeño energético en la industria.

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, R. L. **Revisión energética y análisis de las emisiones de co2 en un edificio comercial con base en la norma NTE INEN-ISO 50001:2012 y la norma NTE INEN-ISO 14064-1:2010, respectivamente.** 2020. Tesis (Maestría en ecoeficiencia industrial) - Universidad Internacional SEK Facultad de Ciencias Ambientales, Quito, 2020.

ALMEIDA, A. **A Utilização dos Critérios da ABNT NBR ISO 50001 na Elaboração de um Modelo de Gestão Energética para o IFRO Campus Porto Velho Calama.** 2024. Dissertação (Mestrado em Gestão e Estratégia) - Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Porto Velho, 2024.

ALTAMIRANO, W. O. **Diseño de plan de gestión de energía eléctrica, en base a auditoría energética y normas eléctricas peruanas en empresa Molinos Calcareos SAC para reducir costos de operación.** 2018. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista) - Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, 2018.

ANDE. **Pliogo de tarifas N° 21.** Administración Nacional de Electricidad. Asunción, 2017.

ANDE. **Plan maestro de generación 2021-2040.** Administración Nacional de Electricidad. Asunción, 2021.

ARAUJO, A. V.; MEJÍA, D. F.; GONZÁLEZ, L. O. Metodologías para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias: Revisión literaria. **Ingeniería y Competitividad**, Palmira, v. 25, n. Suplemento, 2023.

ARMAS, L. A. **Plan de mantenimiento de bombas centrífugas basado en la toma de decisiones multicriterio para aumentar su disponibilidad en Centro Comercial Real Plaza Cajamarca.** 2023. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista) - Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, 2023.

BARRAGÁN, C. C.; CONTRERAS, K. L.; ESTÉVEZ, H. **Proyecto de Eficiencia Energética, Modernización Alumbrado Público de Mosquera Cundinamarca.** 2022. Disertación (Especialista en Gerencia de Proyectos) - Universidad Piloto de Colombia Facultad de Ciencias Sociales y Empresariales, Bogotá, 2022.

BASSANI, M. L.; OSORIO, R. S. A proteção ambiental como efeito indireto do sistema de gestão de energia ISO 50001. **Revista de Direito Internacional**, Brasília, v. 14, n. 3, p. 105–120, 2017. Disponible en: < <https://doi.org/10.5102/rdi.v14i3.4977> >. Acceso el: 07 enero. 2025.

BEZERRA, A.; MONTE, E. R.; ALVES, J. A. Diagnóstico energético em uma empresa do segmento de metalurgia. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 2, n. 1, p. 112-121, 2020. Disponible en: < <https://doi.org/10.21708/issn27635325.v2n1.a9542.2020> >. Acceso el: 24 nov. 2024.

BORRI, J. **Gestão da eficiência energética nas indústrias brasileiras baseada na ISO 50001.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus De Rosana Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana, 2023.

CALEGARI, G. **ISO 50001 na Indústria: Framework de Implantação, Diretrizes Estratégicas e Aspectos Governamentais.** 2022. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia de Produção, Maringá, 2022.

CAMPOS, A. F. **Gestão energética e ambiental em instituições de ensino superior na Paraíba:**

**estudo de caso na UFCG.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Campina Grande, 2018.

CASABIANCA, G. A.; SNOJ, M. V.; MARUSIC, J. Herramientas para el análisis de la eficiencia energética en edificios. In: XXXIV Jornadas de Investigación y XVI Encuentro Regional SI + Herramientas y procedimientos, p. 3322–3331, 2020, Buenos Aires. **Anais eletrônicos...** Buenos Aires: FADU UBA. Disponible en: <<https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/issue/view/132>>.

CASTIGLIO, G. S. **Avaliação da eficiência energética das instalações elétricas de uma edificação do Campus do Vale da UFRGS.** 2019. Monografia (Engenharia de Energia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

COMARU, N. C. **Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 Sistema de Gestão da Energia para o setor público—estudo de caso Tribunal de Contas do Estado do Ceará.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.

DOLORES, J. **Centrales Hidroeléctricas.** 1ra. ed. Azcapotzalco, 1992.

ELOI, S. S. *et al.* Eficiência energética e realização de pré-diagnóstico energético em instituições de ensino de João Monlevade—MG. **Research, Society and Development**, Minas Gerais, v. 8, n. 2, p. e4182762–e4182762, 2019.

ERVIN, P. **Propuesta para armonización entre el plan nacional de desarrollo y los objetivos de desarrollo sostenible,** Asunción. 2016.

FORERO, E. F. T. **Método para el despacho de recursos energéticos en plantas de generación eólica y fotovoltaica. caso de estudio en una red eléctrica colombiana.** 2019. Tesis (Maestría en Ingeniería Industrial) - Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2019.

FOSSA, A. J.; SGARBI, F. A. Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 Gestão de Energia. **International Copper Association (ICA)**, Washington, 2017.

NÚÑEZ, F. H. **Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas.** 1ra. ed. Santo Domingo, 2015.

FUCHS, H.; AGHAJANZADEH, A.; THERKELSEN, P. Identification of drivers, benefits, and challenges of ISO 50001 through case study content analysis. **Energy policy**, Berkeley, v. 142, p. 111443, 2020.

GALEANO, S. E.; BETANCO, J. A. Eficiencia energética: una tarea para las universidades. **Revista Científica Estelí**, Estelí, p. 166–177, 2021.

GARCÍA, M. I. *et al.* Energy audit proposal for industry applied to a case study in the plastics sector. **DYNA**, Medellín, v. 86, n. 210, p. 345–354, 1 jul. 2019.

GARCÍA, M.; QUISPE, A.; RÁEZ, G. Mejora continua de la calidad en los procesos. **Industrial Data**, Lima, v. 6, n. 1, p. 89-94, 2003. Disponible en: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81606112>>. Acceso el: 08 jun. 2025.

GAZOLA, T. C.; SILVA, J. R.; MIGUEL, M. Implantação da ABNT NBR ISO 50001:2011 de gestão de energia em itaipu. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONTECC, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ta. ed. São Paulo, 2002.

GONÇALVES, V. A. **Sistema de gestão da energia ISO 50001: 2011 e desenvolvimento sustentável energético**. Dissertação (Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. 2017.

GUERRERO, F. A. **Evaluación, diagnóstico y optimización del consumo energético para mejorar los servicios de la Empresa Molinera Sudamerica S.A.C.** 2019. Tesis (Ingeniero mecánico electricista) - Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.

HARZING, A.W. Publish or Perish. 2007. Disponible en: <<https://harzing.com/resources/publish-or-perish>>.

HASAN, A. M.; TRIANNI, A. A review of energy management assessment models for industrial energy efficiency. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5713, 2020. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/en13215713>>. Acceso el: 07 enero. 2025.

International Energy Agency. **Energy Efficiency**, Paris, 2023. Disponible en: <<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>>. Acceso el: 27 abril. 2024.

International Organization for Standardization. ISO. Disponible en: <<https://www.iso.org/es/home>>. Acceso el: 28 jul. 2025.

INTN. **Norma Paraguaya ISO 50001 - Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso**. Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología. Asunción, primera edición. 2015.

INTN. **Norma Paraguaya ISO 50002 - Auditorias energéticas. Requisitos con orientación para su uso**. Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología. Asunción, primera edición. 2023.

International Organization for Standardization. **ISO 50001 for energy management gets a boost**. Disponible en: <<https://www.iso.org/news/ref2316.html>>. Acceso el: 8 feb. 2025.

JIMÉNEZ, R. M. Evaluación de las emisiones de carbono en plantas hidroeléctricas y bioenergéticas. **Revista Cubana de Meteorología**, La Habana, v. 27, n. 1, 2021.

JOSIJEVIĆ, M. M.; ŠUŠTERŠIČ, V. M.; GORDIĆ, D. R. Ranking energy performance opportunities obtained with energy audit in dairies. *Thermal Science*, Kragujevac, v. 24, n. 5 Part A, p. 2865–2878, 2020.

KOTHARI, D. P.; NAGRATH, I. J. *Modern Power System Analysis*. 3ra. ed. Tata McGraw-Hill Publishing Company, 2003.

LACERDA, R. T. D. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59–78, 2012.

LADEUTH, Y. M.; LÓPEZ, D. D.; SOCARRÁS, C. A. Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011. **Información tecnológica**, v. 32, n. 1, p. 101–112, 2021. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100101>>. Acceso el: 22 dic. 2024.

LOVATI, K. *et al.* Implementação do sistema de gestão de energia ISO 50001 na ternium Brasil. In:

- 22<sup>a</sup> Conferencia del Acero IAS. Rosario. 2018. **Anais...** Rosario: Conferencia del Acero IAS, 2018.
- LUCANTONIO, F.; SOSA, J.; AIELLO, R. **Breve reseña del sector de energía en Paraguay**. 2022. Disponible en: <<https://doi.org/10.18235/0004321>>. Acceso el: 1 nov. 2024.
- MAŁGORZATA, W. M. *et al.* Global Electricity Review 2023. **EMBER**, v. 4, n. 1, 2023. Disponible en: <<https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2023/>>. Acceso el: 22 dic. 2024.
- MARTÍNEZ, G. D. *et al.* Diagnóstico energético en la Tequilera Las Juntas y el enfoque ISO-50001. In: 25th International Congress on Project Management and Engineering. Alcoy. 2021. **Anais...** Alcoy: 25th International Congress on Project Management and Engineering, 2021.
- MEDIANERO, D. Metodología de Estudios de Línea de Base. **Pensamiento Crítico**, v. 15, p. 61-82, 2023. Disponible en: <<https://doi.org/10.15381/pc.v15i0.8994>>. Acceso el: 6 jun. 2024.
- MIÑO, G. E. *et al.* Diagnóstico energético de la empresa TEIMSA basado en la norma ISO 50001. **Industrial Data**, v. 21, n. 1, p. 43-52, 24 jul. 2018. Disponible en: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81658059007>>. Acceso el: 22 dic. 2024.
- MORAIS, F. E.; VARELLA, F. K. **Análise da inserção de lâmpadas LED em prédios da UFERSA**. 2019. Univers. Federal Rural do Semi-árido Mossoró, 2019.
- MOYANO, F. A.; VILLAMIL, D. C. Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, v. 17, n. 34, p. 55-69, 2021. Disponible en: <<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a4>>. Acceso el: 1 oct. 2024.
- NACIONES UNIDAS. **Objetivos y metas de desarrollo sostenible**. Disponible en: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>>. Acceso el: 22 dic. 2024.
- NACIONES UNIDAS. **Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible**. Disponible en: <<https://mexico.un.org/es/257181-informe-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-edici%C3%B3n-especial>, <https://mexico.un.org/es/257181-informe-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-edici%C3%B3n-especial>>. Acceso em: 22 dez. 2024.
- OECD. **The Case of the International Organization for Standardization (ISO)**. Disponible en: <<https://www.oecd.org/en/topics/regulatory-reform.html>>. Acceso el: 8 feb. 2025.
- PALMA, J. C. **Diagnóstico energético baseado na metodologia da família da norma ISO 50000 na fábrica de capacitores potência da Siemens Energy Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia.) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu. 2022.
- PARAGUAY. Decreto n° 6092, del 10 de octubre del 2016. **Política energética de la república del Paraguay**. Asunción, 2016.
- PARAGUAY. Decreto n° 6377, del 31 de marzo del 2011. **Por el cual se crea el comité nacional de eficiencia energética**. Asunción, 2011.
- POVEDA, P. P. *et al.* ISO 50001: 2018 and its application in a comprehensive management system with an energy-performance focus. **Energies**, v. 12, n. 24, p. 4700, 2019. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/en12244700>>. Acceso el: 7 enero. 2025.

PRASETYA, B. *et al.* The role of Energy Management System based on ISO 50001 for Energy-Cost Saving and Reduction of CO<sub>2</sub>-Emission: A review of implementation, benefits, and challenges. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bangka Belitung. 2021. **Anais...** Bangka Belitung: IOP Publishing, 2021.

ORTIZ, R. **Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**. 1ra. ed. Bogota, Ediciones de la U, 2011.

RAMPASSO, I. S. *et al.* Challenges presented in the implementation of sustainable energy management via ISO 50001: 2011. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6321, 2019. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/su11226321>>. Acceso el: 7 enero. 2025.

ROSARIO, G. C. *et al.* Revisión bibliográfica sobre eficiencia energética y decisión multicriterio en la industria. **RIIY M.** v 6. n 10. 2021. Disponible en: <<http://servicios.ingenieria.unlz.edu.ar:8080/ojs/index.php/RIIYM/article/view/78>>. Acceso el: 1 oct. 2024.

RUIZ, V. E. **Auditoría energética: herramienta para la mejora del desempeño energético**. Tesis (Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas) - Universidad del Desarrollo Facultad de Ingeniería, Concepción, 2020.

SELIM, O. M. *et al.* Analysis of energy savings and CO<sub>2</sub> emission reduction contribution for industrial facilities in USA. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 143, n. 8, p. 082303, 2021. Disponible en: < <https://doi.org/10.1115/1.4048983>>. Acceso el: 7 ene. 2025.

SERNA, C. A. **Eficiencia energética: alternativa de transformación para una empresa de generación de energía con un enfoque de sostenibilidad, competitividad, productividad y de responsabilidad por el medio ambiente, caso de estudio central hidroeléctrica San Carlos - Colombia**. Tesis (Magister en ingeniería sistemas energéticos) - Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2019.

SHARMA, P.; SALKUTI, S. R.; KIM, S. C. Energy audit: types, scope, methodology and report structure. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, v. 22, n. 1, p. 45–52, 2021. Disponible en: < <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v22.i1.pp45-52>>. Acceso en: 8 ene. 2025.

SIMBAÑA, N. D. **Auditoría energética de la fábrica plásticos y brochas Wilson SA en el marco de la norma ISO 50001 de sistemas de gestión de energía**. Tesis (Ingeniera Eléctrica) - Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020.

SIMONE, D. *et al.* Uso de tecnologías para la eficiencia energética en iluminación. **Ingeniería Eléctrica 345-** Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires, p. 60-67. 2019.

SOARES, M. P. *et al.* Uma revisão bibliográfica de medidas de eficiência energética em edifícios. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Río de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 32–47, 2021.

STOCKER, I. **Auditoría energética en una microcervecería**. Tesis (Ingeniería en Energía) - Universidad Nacional de San Martín. San Martín. 2021.

URTEAGA, J. A. *et al.* **Promoviendo la eficiencia energética en el sector eléctrico del Paraguay**. 2022. Disponible en: < <https://doi.org/10.18235/0004322>>. Acceso el: 1 oct. 2024.

US EPA. **Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. Data and Tools**. Disponible en: <<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>>. Acceso el: 8 feb. 2025.

VALLE, L. S.; CABRERA, D. A. Q.; WONG, E. Y. F. Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV. **Ingeniería Energética**, La Habana, v. 42, n. 2, 2021.

ZAMBRANO, E. E. A.; PÉREZ, G. L. Las PYMES y la eficiencia energética con la ISO 50001. Polo del Conocimiento: **Revista científico-profesional**, v. 6, n. 6, p. 674–694, 2021. Disponible en: <<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2777/html>>. Acceso el: 22 nov. 2024.

ZANARDO, R. P. *et al.* Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, v. 154, p. 544–552, jul. 2018. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.179>>. Acceso el: 15 may. 2024.

ZAVALIA, R. *et al.* Eficiencia energética, una herramienta para mitigar la pobreza y las emisiones. Instituto Argentino del Petróleo, **Petrotecnia**, n 4, p. 94 - 98, 2020. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/11336/140515>>. Acceso el: 7 ene. 2025.

## GLOSARIO

**Ataguías:** Estructura temporal tipo compuerta, utilizada para contener el agua del embalse y permitir las tareas de mantenimiento.

**Coronamiento:** Superficie superior de la estructura que la delimita

**Excitatriz:** Conjunto de equipos que desempeñan la función de crear el campo magnético necesario para inducir la corriente eléctrica.

**Fauna ictícola:** Conjunto de peces que habitan en un área geográfica determinada

**Ignitores:** Componente electrónico que produce pulsos de alta tensión para encender las lámparas.

**In situ:** En el lugar, a pie de equipo.

**Interfaz hombre maquina:** Medio a través del cual un operador humano interactúa con una máquina, sistema o proceso.

**Ionización:** Proceso en el cual un átomo o molécula neutra gana o pierde electrones, resultando en la formación de iones, que son partículas cargadas eléctricamente.

**Izaje:** Proceso de levantar y mover cargas pesadas utilizando equipos especializados como grúas.

**Luces pilotos:** Luz indicadora que se utiliza para mostrar el estado de funcionamiento de un dispositivo o sistema.

**Mata:** Extenso bosque

**Power center:** Centro de energía, actúa como una caseta de distribución de energía, especialmente en aplicaciones de baja tensión

**Pozo de drenaje:** Estructura dentro de la presa, utilizada para recolectar y evacuar filtraciones de agua.

**Presión manométrica:** Presión de un sistema, medido con respecto a la presión atmosférica ambiente.

**Reactores:** Componente electrónico que regula la corriente eléctrica que alimenta a las lámparas.

**Retrofit:** Proceso de modernización o actualización de un sistema o equipo existente, incorporando nuevas tecnologías o mejoras sin necesidad de reemplazarlo completamente.

**Servicio Auxiliar:** Sistemas, equipos o procesos que apoyan la generación de energía.

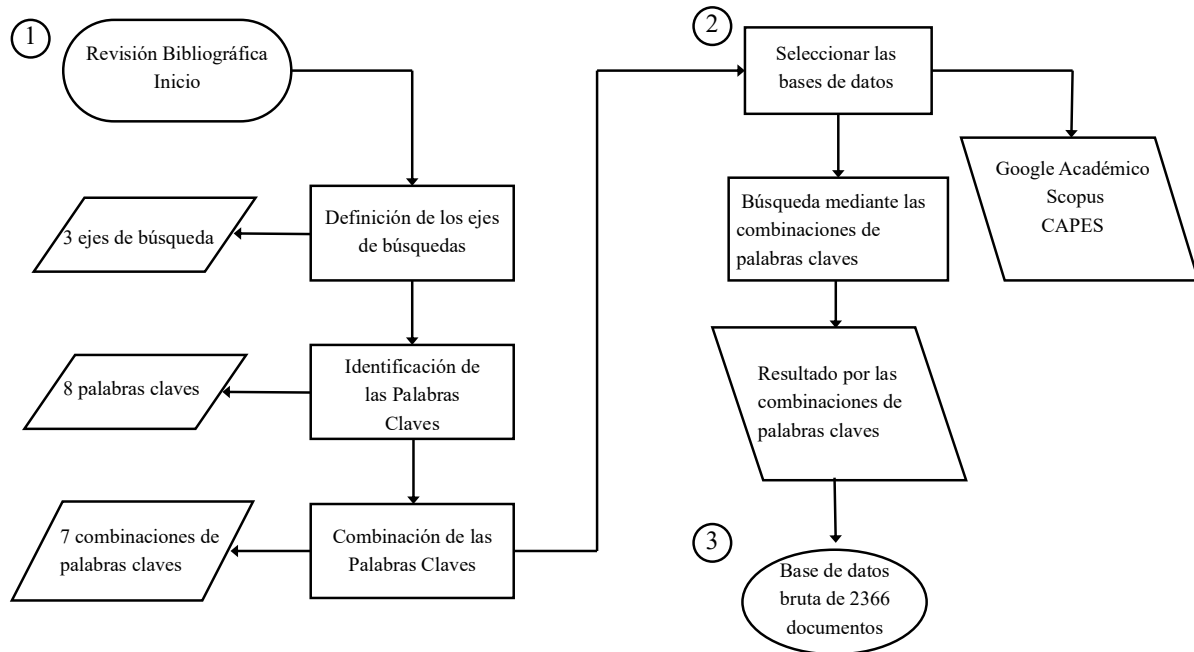
**Variadores de frecuencia:** Dispositivo que controla la velocidad de un motor eléctrico de corriente alterna, modificando la frecuencia de la energía eléctrica.

## APÉNDICES

### APÉNDICE A – REVISION SISTEMATICA DE LA LITERATURA

El proceso de la revisión sistemática fue dividido en etapas para la identificación de un portafolio bibliográfico relevante en el contexto del estudio. Se estructuró de acuerdo a Figura 23 y la Figura 24, esto con el objetivo de identificar un portafolio bibliográfico relevante para el estudio.

Figura 23: Revisión sistemática.



Fuente: Elaboración propia.

En el proceso se definieron cuatro ejes de búsquedas alineados con la investigación, los mismos fueron utilizados como base en la identificación de las palabras claves. En el Cuadro 21 se observa cómo fueron organizadas las palabras claves con sus respectivos ejes de búsqueda.

Cuadro 21: Definición de los ejes de búsquedas y palabras claves por eje.

Nº	Ejes	Palabras claves
1	Diagnóstico energético enfocado en la eficiencia energética	Diagnóstico energético, Eficiencia energética, <i>Energy efficiency</i> , <i>Energy audits</i> , <i>Energy audit</i>
2	Servicios auxiliares en centrales hidroeléctricas	Servicios Auxiliares, Servicio Auxiliar, SSAA, Centrales Hidroeléctricas, Central Hidroeléctrica, Central Hidroeléctrica Acaray, <i>Auxiliary Services</i> , <i>Hydroelectric Power</i>
3	Norma ISO 50001	Norma ISO 50001, ISO 50001, Sistema de gestión de energía, Gestión energética, <i>Energy management systems</i> , <i>Standard 50001</i>
4	Norma ISO 50002	Norma ISO 50002, ISO 50002, <i>Standard 50002</i>

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizaron combinaciones específicas de las palabras claves

previamente definidas, para realizar la búsqueda referencial en las bases de datos académicas conocidas como Google Académico, Portal CAPES y Scopus.

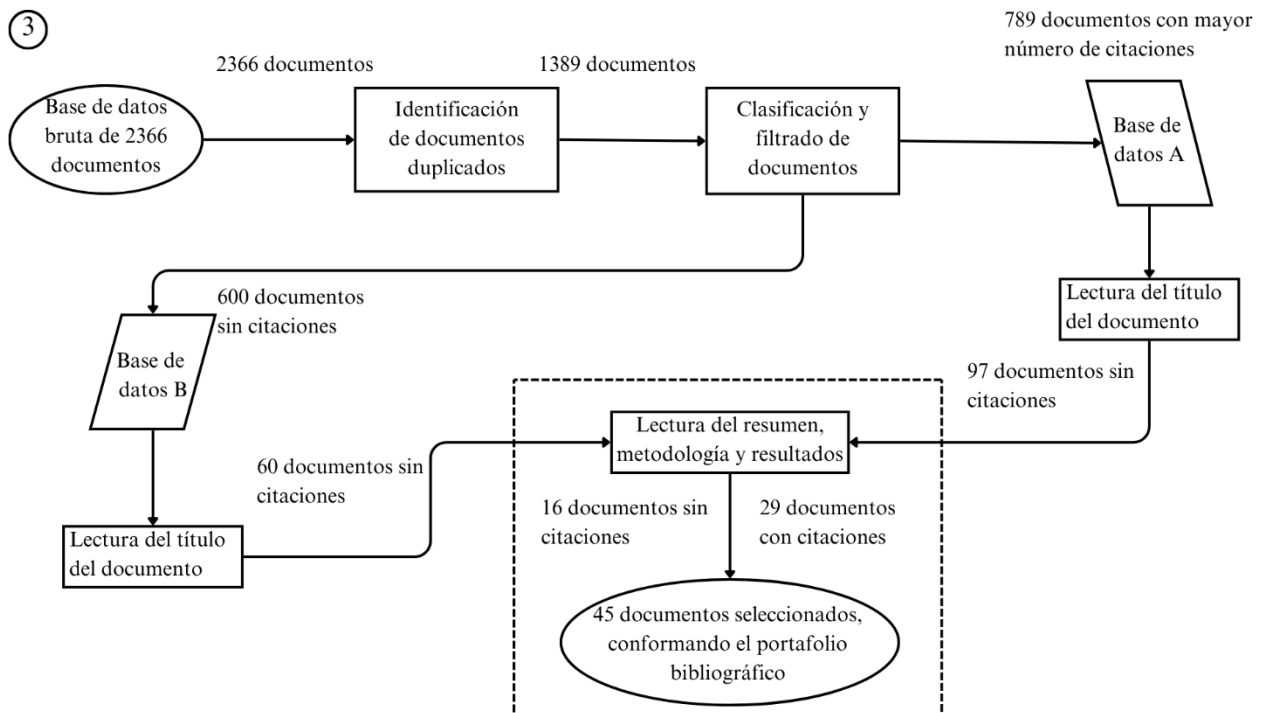
Los resultados de las búsquedas fueron limitados a los 100 documentos más citados o relevantes por búsqueda en las bases de datos seleccionadas, con el objetivo de garantizar un análisis minucioso. Así también en la búsqueda de documentos en la base de datos del portal CAPES, se agregó el filtro que consiste en la búsqueda de documentos de las áreas de ingeniería y multidisciplinar, direccionando la búsqueda al tema investigado.

Por otra parte, en la base de datos de Google Académico se realizaban las búsquedas referenciales incluyendo patentes y citas, conjuntamente se utilizaba el filtro de artículos de revisión, realizando dos búsquedas por una misma combinación de palabra clave.

Los filtros siguientes fueron aplicados a todas las bases de datos, como la búsqueda de documentos publicados desde el año 2016 hasta la fecha, en cualquier idioma, incluyendo citas.

Esta etapa permitió recopilar los documentos relevantes y disponibles en las bases de datos utilizadas, formando una base de datos bruta de documentos, que serán analizados para obtener el portafolio bibliográfico de la investigación, como es observado en la Figura 24.

Figura 24: Análisis sistemático.

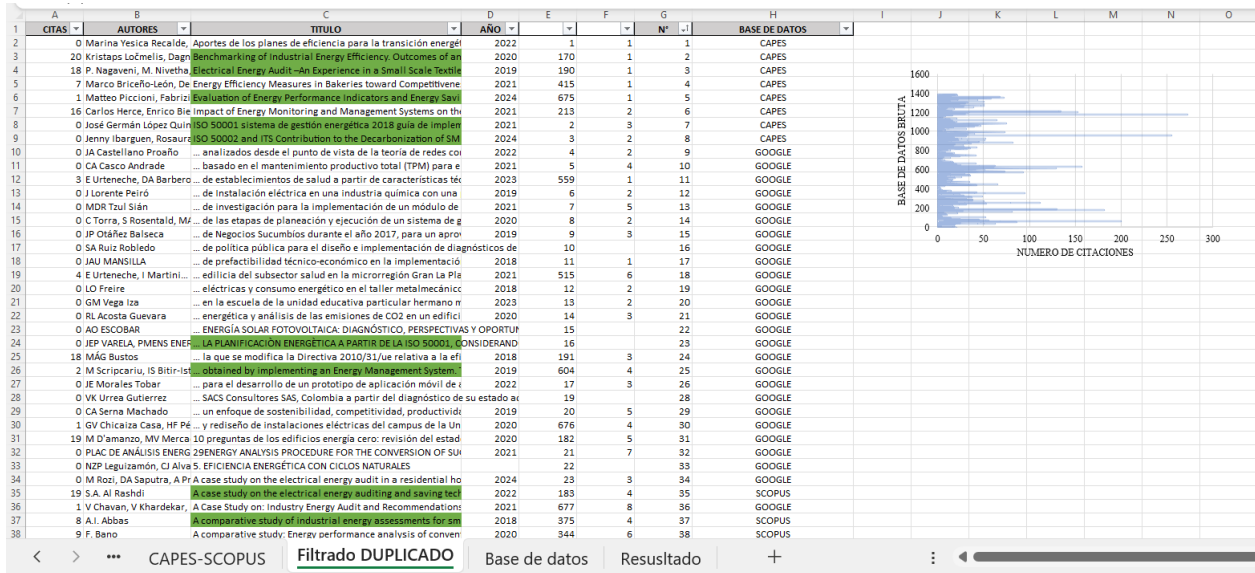


Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la base de datos bruta, que se compone de 2366 documentos, se llevó a cabo la revisión sistemática mediante la división en procesos, para identificar los documentos del portafolio bibliográfico. En la identificación de documentos duplicados, se implementó el filtro

que consiste en eliminar los documentos duplicados, esto mediante la exportación de los datos obtenidos del *Software Publish or Perish* y las búsquedas referenciales de las bases de datos académicas a planillas electrónicas, donde se realizó el filtrado y la comparación, identificando y eliminando aquellos documentos que se encontraban duplicados, esto es observado en la Figura 25.

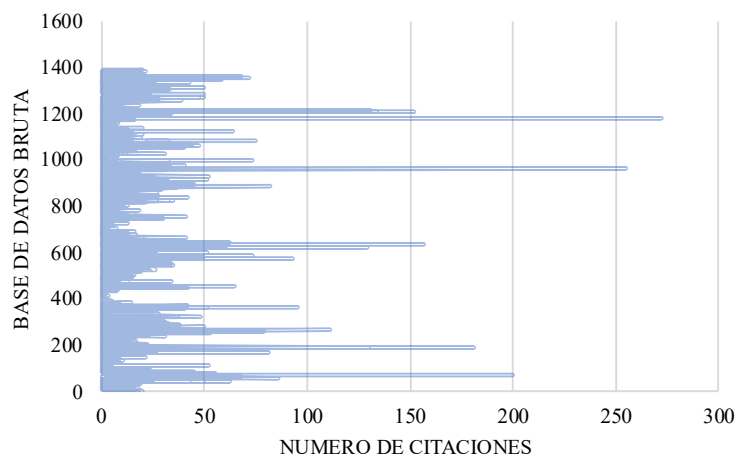
Figura 25: Proceso de filtrado y análisis de documentos en planilla electrónica.



Fuente: Elaboración propia.

Al concluir este proceso, la base de datos bruta se compone de 1389 documentos, distribuidos como se observa en la Figura 26.

Figura 26: Distribución de documentos en función de las citas.

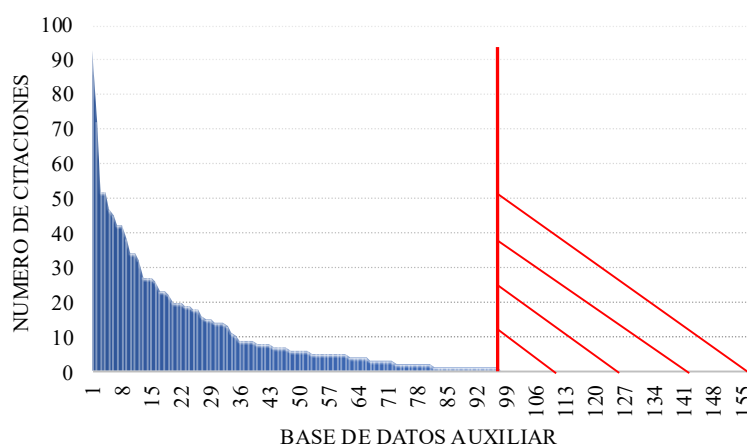


Fuente: Elaboración propia.

En el proceso de clasificación y filtrado de documentos. Se organizó en una base de datos auxiliar según el número de citas, resultando en 789 documentos con un mayor número de citas. Mientras que aquellos sin citas, resultaron en 600 documentos. Posteriormente, se aplicó el filtro que consistió en la lectura del título de los documentos pertenecientes a las bases de

datos auxiliares, el cual consistió en un proceso estructurado, donde se realizó la lectura de los títulos, eliminando los documentos que no se encontraban alineados al estudio, como por ejemplo documento del área de la salud, este proceso resulto en 157 documentos distribuidos como se observa en la Figura 27, donde 97 documentos cuentan con citas, mientras que 60 documentos no cuentan con citas, por lo que los documentos sin citas no serán tomados en cuenta en el siguiente proceso.

Figura 27: Distribución de la base de datos auxiliar en función de las citas.



Fuente: Elaboración propia.

En el proceso de evaluación y selección de documentos. Se realizó la lectura detallada del resumen, la metodología y los resultados de cada documento en la base de datos auxiliar. Este análisis permitió identificar los documentos que estaban alineados con el tema de investigación y descartar aquellos que no se ajustaban a los objetivos del estudio. Como resultado de este proceso, se seleccionaron 29 documentos.

Los resultados obtenidos se consolidaron, formando una base de datos auxiliar, que agrupa los documentos seleccionados luego del análisis realizado. Posteriormente, esta base de datos fue exportada a la herramienta de gestión bibliográfica Zotero®.

Finalmente, se realizó una retroalimentación de los documentos descartados, se consideraron los 60 documentos sin citas, que no fueron considerados en el proceso anterior, de esta forma, se aplicaron los filtros de lectura de título, resumen, metodología, resultados. Teniendo en cuenta otros filtros como, si el documento se encuentra alineado a los cuatro ejes de búsqueda, como, por ejemplo, la norma ISO 50001 o ISO 50002, caso el mismo se encuentre alineado al tema de interés, el mismo será considerado, además de realizar verificaciones cruzadas de autores con citas en los documentos previamente seleccionados, y el año de publicación, considerando los documentos desde el año 2022.

## APÉNDICE B – RESULTADOS DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Como resultado de la búsqueda realizada en las bases de datos académicas conocidas como Portal CAPES y Scopus, en el Cuadro 22 se observa la cantidad de documentos obtenidos por cada combinación de palabras claves en las respectivas bases de datos.

Cuadro 22: Búsqueda referencial en CAPES y SCOPUS.

Combinaciones de Palabras Claves	CAPES	SCOPUS
("Diagnóstico energético") AND ("Eficiencia energética")	12	0
<i>"Energy audit" AND ("Energy Efficiency" OR "Energy management systems")</i>	100	100
"Diagnóstico energético" AND ("Servicio auxiliar" OR "Servicios auxiliares" OR "SSAA") OR ("Eficiencia energética OR Gestión energética")	24	0
"Diagnóstico energético" OR ("Servicio auxiliar" OR "Servicios auxiliares" OR "SSAA") AND ("Eficiencia energética")	58	0
("Central Hidroeléctrica" OR "Centrales Hidroeléctricas") OR ("Eficiencia energética OR "Gestión energética" OR "Sistema de gestión de energía")	53	30
<i>("Energy audit") AND ("Auxiliary Service" OR "Hydroelectric Power" OR "Energy Efficiency")</i>	100	100
("Diagnóstico energético") OR ("Eficiencia energética" OR "Servicio auxiliar" OR "Servicios auxiliares" OR "SSAA" OR "Central Hidroeléctrica" OR "Centrales Hidroeléctricas") AND ("Eficiencia energética OR "Gestión energética" OR "Sistema de gestión de energía")	56	0
("ABNT NBR ISO 50001" OR "ISO 50001") OR ("Sistema de gestión de energía")	93	100
("ABNT NBR ISO 50001" OR "ISO 50001") AND ("Diagnóstico energético")	21	1
("Norma INTN NP ISO 50001" OR "ISO 50001") AND ("Diagnóstico energético")	0	0
<i>("ISO 50001" OR "Standard 50001") AND ("Energy audit")</i>	8	13
("Diagnóstico energético" AND Gestión energética" OR "Sistema de gestión de energía") OR ("Norma ISO 50001" OR "ISO 50001")	17	100
("Diagnóstico energético" OR "ISO 50002") OR ("Norma ISO 50002")	1	13
<i>("Norma ISO 50002" OR "ISO 50002")</i>	5	9
("Diagnóstico energético" AND "Eficiencia energética") AND ("Centrales Hidroeléctricas" OR "Central Hidroeléctrica") OR ("Servicio Auxiliar" OR "SSAA")	86	0
("Diagnóstico energético" OR "Eficiencia energética") AND ("Central Hidroeléctrica Acaray")	0	0
<i>("Energy audit " OR "Energy Efficiency") AND ("Acaray Hydroelectric Power")</i>	0	0
("ISO 50001" OR "ISO 50002") AND ("Central Hidroeléctrica")	0	0
<i>("ISO 50001" OR "ISO 50002") AND ("Hydroelectric Power")</i>	0	0
<b>Total de documentos por base de datos</b>	634	466
<b>Base de datos bruta</b>	1100	

Fuente: Elaboración propia.

De forma similar, se realizó la búsqueda referencial en la base de datos conocida como Google Académico, en el Cuadro 23 se observan los resultados de la búsqueda, diferenciando entre búsquedas que incluyeron patentes y citas, y aquellas enfocadas exclusivamente en artículos de revisión, permitiendo una cobertura amplia del estado del arte.

En la búsqueda referencial, se utilizó el *software*, Harzing, A.W (2007) *Publish or Perish*, el mismo está protegido por derechos de autor, su uso y distribución está sujeto a una licencia no exclusiva para usar el *software* de forma personal sin fines de lucro. Conjuntamente fue utilizada la plataforma *web* del portal CAPES.

Cuadro 23: Búsqueda referencial en GOOGLE ACADEMICO.

Combinaciones de Palabras Claves	Búsqueda incluyendo patentes y citas	Búsqueda de artículos de revisión
“Diagnóstico energético” AND (“Servicio auxiliar” OR “Servicios auxiliares” OR “SSAA”) AND (“Eficiencia energética”)	48	0
<i>"Energy audit" AND ("Auxiliary Service" OR "Auxiliary Services" OR "SSAA") AND ("Energy Efficiency" OR "Energy management systems")</i>	71	2
“Diagnóstico energético” AND (“Servicio auxiliar” OR “Servicios auxiliares” OR “SSAA”) OR (“Eficiencia energética OR Gestión energética”)	54	0
“Diagnóstico energético” OR (“Servicio auxiliar” OR “Servicios auxiliares” OR “SSAA”) AND (“Eficiencia energética”)	100	13
(“Servicio auxiliar” OR “Servicios auxiliares” OR “SSAA”) AND (“Central Hidroeléctrica” OR “Centrales Hidroeléctricas”) OR (“Eficiencia energética OR “Gestión energética” OR “Sistema de gestión de energía”)	100	5
<i>("Energy audit" OR "Energy Efficiency" OR "Energy management systems") AND ("Auxiliary Service" OR "Auxiliary Services" OR "SSAA") AND ("Hydroelectric Power")</i>	100	21
(“Diagnóstico energético”) OR (“Eficiencia energética” OR “Servicio auxiliar” OR “Servicios auxiliares” OR “SSAA” OR “Central Hidroeléctrica” OR “Centrales Hidroeléctricas”) AND (“Eficiencia energética OR “Gestión energética” OR “Sistema de gestión de energía”)	100	100
(“Norma ABNT NBR ISO 50001” OR “ABNT NBR ISO 50001”) AND (“Diagnóstico energético”)	15	0
(“Norma INTN NP ISO 50001” OR “INTN NP ISO 50001”) AND (“Diagnóstico energético”)	0	0
<i>("ISO 50001" OR "Standard 50001") AND ("Energy audit")</i>	100	75
(“Diagnóstico energético” AND Gestión energética”) OR (“Sistema de gestión de energía”) OR (“Norma ISO 50001” OR “ISO 50001”)	100	4
(“Diagnóstico energético” AND “ISO 50002”) OR (“Norma ISO 50002” OR “ISO 50002”)	48	0
<i>("ISO 50002" OR "Standard 50002") AND ("Energy audit")</i>	100	11
(“Diagnóstico energético” AND “Eficiencia energética”) AND (“Centrales Hidroeléctricas” OR “Central Hidroeléctrica”) OR (“Servicio Auxiliar” OR “SSAA”)	81	1
(“Diagnóstico energético” OR “Eficiencia energética”) AND (“Central Hidroeléctrica Acaray”)	7	0
<i>("Energy audit " OR "Energy Efficiency") AND ("Acaray Hydroelectric Power")</i>	1	0
(“ISO 50001” OR “ISO 50002”) AND (“Central Hidroeléctrica”)	5	0
<i>("ISO 50001" OR "ISO 50002") AND ("Hydroelectric Power")</i>	3	1
<b>Total de documentos por base de datos</b>	1033	233
<b>Base de datos bruta</b>	1266	

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un proceso de filtrado y evaluación para identificar los documentos más relevantes, que conforman el portafolio bibliográfico de la investigación. De esta forma se identificaron los documentos que forman parte del portafolio bibliográfico de la investigación, dando como resultado 29 documentos, los cuales fueron organizados y jerarquizados de acuerdo al número de citas. En el Cuadro 2 se presentan los documentos con el mayor número de citas, mientras que en el Cuadro 24, se encuentran aquellos con un número moderado de citas.

Cuadro 24: Portafolio bibliográfico con un número moderado de citas.

Nº	Documento	Cit.	REF	Base de datos
17	Diagnóstico energético de la empresa TEIMSA basado en la norma ISO 50001	5	(MIÑO <i>et al.</i> , 2018)	Google Académico; CAPES
18	Eficiência energética e realização de pré-diagnóstico energético em instituições de ensino de João Monlevade – MG	5	(ELOI <i>et al.</i> , 2019)	Google Académico; CAPES
19	Uma revisão bibliográfica de medidas de eficiência energética em edifícios	3	(SOARES <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico; CAPES
20	Breve reseña del sector de energía en Paraguay	2	(LUCANTONIO; SOSA; AIELLO, 2022)	Google Académico
21	Proyecto de Eficiencia Energética, Modernización Alumbrado Público de Mosquera Cundinamarca	2	(BARRAGÁN; CONTRERAS; ESTÉVEZ, 2022)	Google Académico
22	Auditoría energética en una microcervecera.	2	(STOCKER, 2021)	Google Académico
23	Auditoría energética de la fábrica plásticos y brochas Wilson SA en el marco de la norma ISO 50001 de sistemas de gestión de energía	1	(SIMBAÑA, 2020)	Google Académico
24	Sistema de gestão da energia ISO 50001: 2011 e desenvolvimento sustentável energético	1	(GONÇALVES, 2017)	Google Académico
25	Diseño de plan de gestión de energía eléctrica, en base a Auditoría energética y normas eléctricas peruanas en empresa Molinos calcareos sac para reducir costos de operación	1	(ALTAMIRANO, 2018)	Google Académico
26	Implantação Da ABNT NBR ISO 50001:2011 De Gestão de Energia em Itaipu	1	(GAZOLA; SILVA; MIGUEL, 2016)	Google Académico
27	Revisión bibliográfica sobre eficiencia energética y decisión multicriterio en la industria	1	(ROSARIO <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico
28	Eficiencia energética: alternativa de transformación para una empresa de generación de energía con un enfoque de sostenibilidad, competitividad, productividad y de responsabilidad por el medio ambiente, caso de estudio central hidroeléctrica San Carlos - Colombia	1	(SERNA, 2019)	Google Académico
29	Auditoría energética: herramienta para la mejora del desempeño energético	1	(RUIZ, 2020)	Google Académico

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se llevaron a cabo verificaciones cruzadas entre los autores citados en los documentos del portafolio bibliográfico y aquellos presentes en documentos no seleccionados debido a su reducida citación. Así también, se tomó en cuenta el año de publicación, considerando únicamente documentos a partir del año 2022. Dando como resultado en el Cuadro 25, donde estos documentos pasan a conformar el portafolio bibliográfico.

Cuadro 25: Documentos sin citas seleccionados tras el análisis auxiliar.

Nº	Documento	REF	Base de datos
1	A Utilização dos Critérios da ABNT NBR ISO 50001 na Elaboração de um Modelo de Gestão Energética para o IFRO Campus Porto Velho Calama	(ALMEIDA, 2024)	Google Académico
2	Aplicação da norma ABNT NBR ISO 50001 Sistema de gestão da energia para o setor público–Estudo de caso Tribunal de Contas de Estado do Ceará	(COMARU, 2020)	Google Académico
3	Gestão da eficiência energética nas indústrias brasileiras baseada na ISO 50001	(BORRI, 2023)	Google Académico
4	Diagnóstico energético en la Tequilera Las Juntas y el enfoque ISO-50001	(MARTÍNEZ <i>et al.</i> , 2021)	Google Académico; Scopus
5	ISO 50001 na Indústria: Framework de Implantação, Diretrizes Estratégicas e Aspectos Governamentais	(CALEGARI, 2022)	Google Académico
6	ISO 50001 – Energy management system implementation in Ternium Brasil	(LOVATI <i>et al.</i> , 2018)	Google Académico
7	Metodologías para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias: Revisión literaria.	(ARAUJO; MEJÍA; GONZÁLEZ, 2023)	Google Académico; CAPES
8	Avaliação da eficiência energética das instalações elétricas de uma edificação do Campus do Vale da UFRGS	(CASTIGLIO, 2019)	Google Académico
9	Gestão energética e ambiental em instituições de ensino superior na Paraíba: estudo de caso na UFCG.	(CAMPOS, 2018)	Google Académico
10	Diagnóstico energético em uma empresa do segmento de metalurgia	(BEZERRA; MONTE; ALVES, 2020)	Google Académico; CAPES
11	Plan de mantenimiento de bombas centrífugas basado en la toma de decisiones multicriterio para aumentar su disponibilidad en Centro Comercial Real Plaza Cajamarca, 2023	(ARMAS, 2023)	Google Académico
12	Revisión energética y análisis de las emisiones de co2 en un edificio comercial con base en la norma NTE INEN-ISO 50001:2012 y la norma NTE INEN-ISO 14064-1:2010, respectivamente	(ACOSTA, 2020)	Google Académico
13	Herramientas para el análisis de la eficiencia energética en edificios	(CASABIANCA; SNOJ; MARUSIC, 2020)	Google Académico
14	Promoviendo la eficiencia energética en el sector eléctrico del Paraguay	(URTEAGA <i>et al.</i> , 2022)	Google Académico
15	Uso de tecnologías para la eficiencia energética en iluminación	(SIMONE <i>ET AL.</i> , 2019)	Google Académico
16	Análise da Inserção de Lâmpadas LED em Prédios da UFERSA	(MORAIS, 2019)	Google Académico; CAPES

Fuente: Elaboración propia.

### APÉNDICE C – HISTORICO DE CONSUMO DEL CENTRO DE CONTROL DE BOMBAS EN LA PRESA ACY

Se presenta el histórico de consumo energético del centro de control de bombas de la presa Acaray, correspondiente a los años 2022, 2023 y 2024. Los datos fueron adquiridos a partir de registros obtenidos durante los mantenimientos rutinarios del sistema del centro de control de bombas de drenaje, los cuales se ejecutan con una periodicidad quincenal, esto conforme a los trabajos programados por el área de mantenimiento eléctrico de la central hidroeléctrica Acaray.

En la Figura 28, se muestra la tabulación de los registros de los mantenimientos y ensayos del sistema, en donde se registraron los valores de las mediciones de: (i) corriente por fase; (ii) tensión entre fases y neutro; y (iii) aislación de las bombas.

Este proceso corresponde a la etapa de adquisición de datos, permitiendo comprender el comportamiento energético del sistema en función del tiempo. Teniendo en cuenta que los datos de los registros son periódicos y estandarizados. El análisis de los registros, proporciona una referencia en la elaboración de la línea de base energética y posterior análisis de los indicadores de desempeño.

Figura 28: Tabulación en planillas electrónicas de los datos del CCB de la presa ACY

PRESA ACARAY									
Mediciones de campo realizadas en mantenimientos rutinarios, con una periodicidad de mantenimineto quincenales									
FECHA	AISLACION (Mohm)	BOMBA n°1			BOMBA n°2			FASE S (A)	FASE T (A)
		FASE R (A)	FASE S (A)	FASE T (A)	AISLACION (Mohm)	FASE R (A)	FASE S (A)		
Jueves, 21 de diciembre de 2023	50,00	9,70	9,50	9,60	0,20	11,20	11,70	11,80	
Jueves, 9 de noviembre de 2023	90,00	10,00	10,00	10,00	0,30	12,00	12,00	12,00	
Jueves, 12 de octubre de 2023	12,50	10,00	9,80	10,00	30,00	11,30	11,40	11,60	
Jueves, 21 de septiembre de 2023	130,00	10,00	9,00	10,00	0,30	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 17 de agosto de 2023	180,00	10,00	10,00	10,00	0,35	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 3 de agosto de 2023	18,00	12,00	12,00	13,00	14,00	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 20 de julio de 2023	400,00	11,00	12,00	12,00	0,30	14,00	14,00	14,00	
Jueves, 22 de junio de 2023	15,00	11,00	11,00	11,00	15,00	12,00	12,00	12,00	
miércoles, 7 de junio de 2023	300,00	10,00	10,00	10,00	0,20	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 25 de mayo de 2023	100,00	9,00	10,00	10,00	0,20	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 11 de mayo de 2023	300,00	10,00	10,00	10,00	0,20	12,00	12,00	12,00	
lunes, 17 de abril de 2023	110,00	10,00	10,00	10,00	0,30	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 30 de marzo de 2023	10,00	9,00	9,00	10,00	5,00	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 2 de marzo de 2023	7,00	9,00	9,00	10,00	5,50	10,00	11,00	10,00	
viernes, 17 de marzo de 2023	40,00	10,00	10,00	10,00	0,30	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 16 de febrero de 2023	30,00	10,00	10,00	10,00	0,40	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 2 de febrero de 2023	30,00	9,00	10,00	10,00	0,40	10,00	11,00	11,00	
viernes, 20 de enero de 2023	80,00	10,00	10,00	10,00	0,40	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 5 de enero de 2023	10,00	10,00	10,00	9,00	15,00	10,00	10,00	10,00	
martes, 6 de diciembre de 2022	4,00	9,00	9,00	10,00	9,00	10,00	10,00	11,00	
viernes, 23 de diciembre de 2022	9,50	9,00	9,00	9,00	0,70	10,00	11,00	10,00	
viernes, 11 de noviembre de 2022	10,00	10,00	10,00	10,00	25,00	11,00	11,00	11,00	
viernes, 25 de noviembre de 2022	6,00	10,00	10,00	10,00	25,00	10,00	10,00	10,00	
Jueves, 27 de octubre de 2022	18,00	11,00	11,00	11,00	19,00	12,00	12,00	12,00	
viernes, 14 de octubre de 2022	21,00	10,00	10,00	10,00	42,00	11,00	11,00	11,00	
Jueves, 29 de septiembre de 2022	22,00	10,00	9,00	10,00	43,00	10,00	9,00	10,00	
Jueves, 15 de septiembre de 2022	20,00	10,00	10,00	11,00	50,00	11,00	11,00	12,00	
Jueves, 1 de septiembre de 2022	600,00	11,00	11,00	11,00	1,50	12,00	12,00	12,00	
viernes, 19 de agosto de 2022	-	11,00	11,00	11,00	-	12,00	12,00	12,00	
sábado, 2 de julio de 2022	20,00	10,00	10,00	10,00	12,00	11,00	11,00	11,00	
viernes, 8 de julio de 2022	-	10,00	10,00	10,00	0,90	11,00	11,00	11,00	
viernes, 24 de junio de 2022	-	10,50	10,70	10,60	-	11,60	11,70	11,80	

Fuente: Elaboración propia.

## APÉNDICE D – HISTORICO DE OPERACIONES DE LAS COMPUERTAS RADIALES EN PRESA ACY

El histórico de operaciones de las compuertas radiales de la presa Acaray, fue obtenido a partir de la tabulación de los datos extraídos de los registros de operación de la sección de operación de la central hidroeléctrica Acaray, siendo la sección mencionada la encargada de la operación de las compuertas según requerimiento del sistema interconectado nacional o por cuestiones de seguridad estructural de la propia presa. Atendiendo en ambos casos el nivel del embalse y el impacto de la apertura de las compuertas para el medio ambiente y la comunidad.

En la Figura 29, se observa la planilla electrónica donde se adquirieron los datos de apertura y cierre de las compuertas radiales. Estos registros incluyen: (i) la fecha de operación; (ii) metros de apertura total de la compuerta; (iii) cantidad de operaciones realizadas; y (iv) nivel del embalse. Esto permite comprender el comportamiento operativo del sistema de las compuertas radiales, siendo información importante para comprender las operaciones y el consumo energético.

Figura 29: Planilla de operación de las compuertas radiales de la presa Acaray

MES	CR - 01		CR - 02		CR - 03		día / metros
	día / metros	Operación por cada m	día / metros	Operación por cada m	día / metros	Operación por cada m	
Enero	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-
Abril	-	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-	-
Junio	-	-	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	09/ 0,25 - 0,30 - 0,50 - 0,75.	0,75	09/ 0,25 - 0,30 - 0,50 - 0,75.	0,75	09/ 0,10 - 0,25 - 0,30 - 0,50 - 0,75.	0,75	09/ 0,10 - 0,25 - 0,30 - 0,50 - 0,75.
	14/ 0,50 - 0,0	0,75	14/ 0,50	0,25	14/ 0,50	0,25	14/ 0,50
					15/ 0,0	0,50	15/ 0,0
Octubre	28/ 0,10 - 0,30 - 0,50	0,50	28/ 0,10 - 0,30 - 0,50	0,80	28/ 0,10 - 0,30 - 0,50	0,50	28/ 0,10 - 0,30 - 0,50
	30/ 0,25	0,25	30/ 0,25	0,25	30/ 0,25	0,25	30/ 0,25
	01/ 0,10 - 0,0	0,25	01/ 0,10	0,15	01/ 0,10	0,15	01/ 0,0
	03/ 0,20 - 0,40	0,40	03/ 0,20 - 0,40	0,30	03/ 0,20 - 0,40	0,30	02/ 0,10

Fuente: Elaboración propia.

El histórico de operaciones se utilizó como referencia documental para los cálculos de consumo energético anual del sistema, utilizado posteriormente para la cuantificación de emisiones de dióxido de carbono. En relación al impacto ambiental y a la comunidad por el caudal de agua vertido en un río seco, se presenta como propuesta a futuros estudios. El análisis de este histórico permitió identificar la frecuencia de operación, su impacto energético y ambiental, datos que fueron utilizados en el diagnóstico energético.

## ANEXOS

### ANEXO A – SOFTWARE DE BÚSQUEDA REFERENCIAL, HARZING'S PUBLISH OR PERISH®

El *software Harzing's Publish or Perish®*, es una herramienta utilizada para la búsqueda, ordenamiento y análisis de referencias bibliográficas académicas, la cual fue utilizada en este estudio como parte del proceso metodológico, en la obtención del portafolio bibliográfico.

La Figura 30 muestra el entorno de trabajo del *software*, la búsqueda es posible realizarla por palabras claves, o palabras que incluyan en el título de las investigaciones.

Figura 30: *Software* de búsqueda referencial

The screenshot displays the Harzing's Publish or Perish software interface. At the top, there is a search bar with the text "Search terms" and a list of search results. The results are organized into columns: Search terms, Source, Papers, Cites, Cites/year, h, g, hI, norm, hI, annual, hA, acc10, Search date, and Cache date. Below the search results, there is a section for "No search selected" with buttons for various data sources like Crossref, Google Scholar, PubMed, and OpenAlex. On the right side, there is a "Citation metrics" panel with a list of metrics and their values. At the bottom, there is a table with columns for Cites, Per year, Rank, Authors, and Title.

Search terms	Source	Papers	Cites	Cites/year	h	g	hI, norm	hI, annual	hA	acc10	Search date	Cache date
"CABNT NBR ISO 50001" OR "L...	Scopus	100	1408	201.14	21	29	21	3.00	8	3	4/1/2025	4/1/2025
"Central Hidroeléctrica" OR "C...	Scopus	30	64	9.14	4	7	4	0.57	2	0	4/1/2025	4/1/2025
"Diagnostico energético" "AN...	Scopus	120	1416022	202288...	120	120	120	17.14	120	120	4/1/2025	4/1/2025
"Diagnostico energético" AND...	Google Sch...	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	4/1/2025	4/1/2025
"Diagnostico energético" AND...	Google Sch...	54	30	4.29	3	4	2	0.29	1	0	4/1/2025	4/1/2025
"Disnección energética" "AN	Google Sch...	1	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	5/1/2025	5/1/2025

Fuente: *software Harzing's Publish or Perish®*.

La herramienta permite realizar búsquedas en distintas bases de datos, incluyendo: (i) Google académico; y (ii) SCOPUS. Los resultados son obtenidos con métricas como número de citas, año de publicación, y otros indicadores para evaluar analizar los documentos seleccionados.

El uso de *Harzing's Publish or Perish®* permitió una selección sistemática y trazable de documentos, para la correcta elaboración del portafolio bibliográfico.

## ANEXO B – GREENHOUSE GAS EQUIVALENCIES CALCULATOR-EPA

La herramienta online *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*, desarrollada por la *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos, fue utilizada en el estudio para la determinación de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al consumo energético de los sistemas.

La Figura 31, muestra el entorno de trabajo de la calculadora, donde se observa la introducción de los datos energéticos obtenidos en el diagnóstico energético de los sistemas. Esta calculadora convierte los valores de consumo energético a emisiones equivalentes de dióxido de carbono, utilizando el factor de conversión oficial de la EPA, como por ejemplo la tasa marginal utilizada, fue la de los Estados Unidos, que es de  $3,94 \times 10^{-4}$  toneladas métricas de dióxido de carbono por cada kWh.

Figura 31: Calculadora de Equivalencias de Gases de Efecto Invernadero

### Greenhouse Gas Equivalencies Calculator

Convert emissions or energy data into concrete terms you can understand — such as the annual CO<sub>2</sub> emissions of cars, households, and power plants.

The Greenhouse Gas Equivalencies calculator allows you to convert emissions or energy data to the equivalent amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from using that amount. The calculator helps you translate abstract measurements into concrete terms you can understand, such as the annual emissions from cars, households, or power plants. This calculator may be useful in communicating your greenhouse gas reduction strategy, reduction targets, or other initiatives aimed at reducing greenhouse gas emissions.

Updated November 2024

ⓘ These estimates are approximate and should not be used for emission inventories or formal carbon emissions analysis. See [Calculations & References](#) for equations and sources used.



#### Step 1 – Enter and convert data

Select data to convert: ⓪

- Energy data ⓪  
 Emissions data

Enter data:

Unit	Amount
<input type="radio"/> Gallons of gasoline	<input type="text"/>
<input type="radio"/> Gasoline-powered passenger vehicles ⓪	
<input type="radio"/> Kilowatt-hours avoided	
<input type="radio"/> Kilowatt-hours used	
<input type="radio"/> MCF of natural gas	
<input type="radio"/> Therms of natural gas	

#### Step 2 – View results

ⓘ Enter data above to convert and view equivalencies.

Fuente: *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*.