

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en
Mantenimiento Industrial

**Modelo de gestión de la energía para el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en
Nutrición y Salud, acorde con la norma ISO 50001:2018**

Daniel Alvarado González

I Semestre 2025

Cartago, Costa Rica
2025



Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de Acreditación de programas de Ingeniería y de Arquitectura.

Profesora Guía

Ing. Rosa Matarrita Chávez

Asesor Industrial

Ing. José Francisco Quesada Rey

Tribunal Examinador

Ing. Juan José Montero Jiménez

Ing. Suzanne Melara Cruz

Página de Información

Datos del estudiante

Nombre completo: Daniel Alvarado González

Número de cédula: 305220635

Número de carné: 2018104628

Número de teléfono: +506 8316 2995

Correos electrónicos: daniel13ag@estudiantec.cr / daniel13ag@gmail.com

Datos de la empresa

Nombre: Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud.

Actividad principal: INCIENSA es una institución pública adscrita al Ministerio de Salud de Costa Rica, dedicada a la prevención y control de problemas de salud pública mediante la vigilancia epidemiológica, la investigación y la enseñanza.

Dirección: La Unión de San Diego, de la estación de servicio SERVIINDOOR 150m Oeste, en la provincia de Cartago, Costa Rica.

Datos del asesor industrial

Contacto: José Francisco Quesada Rey.

Cargo: jefe de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento.

Correo electrónico: jquesada@inciensa.sa.cr

Teléfono: (506) 2279-9911 EXT 183

Dedicatoria

Dedico este logro, con profunda gratitud y amor, a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en todo este proceso. Gracias por acompañarme en cada etapa de este camino, por su apoyo incondicional y por asegurarse siempre de que no me faltara nada para alcanzar mis metas.

A mi madre, quien con su amor, sabiduría y fortaleza me enseñó a no rendirme, a creer en mí y a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Su compañía constante y sus palabras de aliento fueron el motor que me impulsó a continuar hasta alcanzar este objetivo tan importante.

A mis amigos, quienes con su compañía, comprensión y buenos momentos hicieron que este proceso fuera más ameno y llevadero, convirtiéndose en una parte valiosa de esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme guiado, fortalecido y bendecido en cada paso de este camino. Su presencia constante me dio la confianza y la serenidad necesarias para seguir adelante, aun cuando las circunstancias fueron difíciles.

Agradezco profundamente a mi madre, por inculcarme desde pequeño el valor del esfuerzo, la disciplina y la responsabilidad. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por enseñarme a luchar con integridad por mis sueños.

A mi familia, por ser ese soporte inquebrantable que siempre estuvo presente, celebrando mis logros y dándome ánimo en los momentos de desafío.

A mi pareja, por acompañarme con amor, paciencia y compromiso a lo largo de esta etapa, por compartir conmigo tanto las alegrías como las dificultades, y por ser parte esencial de mi crecimiento personal y profesional.

Agradezco sinceramente a todos los funcionarios del Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) por su colaboración y disposición durante mi práctica profesional. De manera especial, extiendo mi gratitud a don José Francisco Quesada, por su apoyo constante, su guía y por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto con éxito.

Resumen

Este proyecto se centró en el desarrollo de un modelo de gestión de energía para el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), siguiendo las directrices establecidas en la norma ISO 50001:2018. El objetivo principal fue mejorar el desempeño energético de la institución mediante una estrategia estructurada, eficiente y sostenible. Se inició con una auditoría energética según la norma ISO 50002:2014, con el fin de identificar los principales focos de consumo energético en los procesos y equipos utilizados. Con base en los resultados, se establecieron líneas base energéticas y se definieron indicadores de desempeño conforme a la ISO 50006:2014. Además, se diseñó un sistema de monitoreo en tiempo real para los equipos críticos, que integra tecnologías de análisis de datos y permite una supervisión continua del consumo. Como herramienta de control y evaluación, se propuso un cuadro de mando integral que facilita el seguimiento de la eficiencia energética y la rentabilidad del modelo. Entre las principales limitaciones del proyecto se identificaron la falta de datos históricos de consumo, las restricciones presupuestarias y los desafíos en la coordinación con el personal técnico. A pesar de estas limitaciones, se proyecta un impacto ambiental positivo, ya que se espera una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al consumo energético institucional, alineando el proyecto con las metas de sostenibilidad del país.

Palabras clave: Gestión de energía, ISO 50001, Auditoría energética, Eficiencia energética, Monitoreo en tiempo real, Sostenibilidad, INCIENSA.

Abstract

This project focused on the development of an energy management model for the Costa Rican Institute for Research and Teaching in Nutrition and Health (INCIENSA), aligned with the ISO 50001:2018 standard. The main objective was to improve the institution's energy performance through a structured, efficient, and sustainable strategy. The project began with an energy audit based on ISO 50002:2014 to identify the main energy-consuming processes and equipment. Based on the audit results, energy baselines and performance indicators were established in accordance with ISO 50006:2014. A real-time monitoring system was designed for critical equipment, integrating advanced technologies and data analysis to enable continuous oversight of energy use. A balanced scorecard was also developed to assess the efficiency and cost-effectiveness of the implemented model. Key limitations included the lack of historical energy data, financial constraints, and coordination challenges with staff. Despite these limitations, the project is expected to generate a highly positive environmental impact by significantly reducing greenhouse gas (GHG) emissions associated with institutional energy consumption, aligning with national sustainability goals.

Keywords: Energy management, ISO 50001, Energy audit, Energy efficiency, Real-time monitoring, Sustainability, INCIENSA.

Índice general

Introducción.....	12
Reseña de la empresa.....	14
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema	19
Objetivos.....	23
Objetivo General	23
Objetivos Específicos.....	23
Justificación.....	25
Alcance	26
Viabilidad.....	27
Disponibilidad tecnológica.....	27
Disponibilidad de tiempo	27
Disponibilidad de recursos financieros	27
Disponibilidad de recursos humanos.....	27
Disponibilidad de materiales.....	28
Administración del riesgo.....	29
Recurso humano	29
Recurso financiero.....	29
Confidencialidad	29
Marco teórico.....	30
Términos Relacionados con la Facturación Energética.....	30
Energía	30
Potencia.....	30
Demanda	30
Términos Relacionados con las Normas ISO 50000	30
Política Energética	30
Sistema de Gestión de Energía.....	30
Auditoría Energética	31
Desempeño Energético.....	31
Indicador de Desempeño Energético (IDEn)	31
Línea de Base Energética (LBEEn).....	31
Eficiencia Energética	31
Balance Energético.....	31
Oportunidad de Conservación de Energía (OCE)	31
Modelos Tarifarios.....	31
Tarifa Comercial (T-CO)	31

Tarifa de Media Tensión B (T-MTb)	32
Tarifa de Media Tensión (T-MT).....	32
Prototipo de Monitoreo en Tiempo Real	32
Arduino MEGA 2560 REV3.....	32
Sensor de Corriente Alterna No Invasivo SCT-013	32
Ethernet Shield W5100	33
Pantalla LCD 16x2 con I2C	33
General	33
Cuadro de Mando Integral (CMI)	33
Período de Recuperación de la Inversión (PRI)	33
Valor Actual Neto (VAN).....	34
Tasa Interna de Retorno (TIR)	34
Ratio de Eficiencia Energética (EER).....	34
Valor de Carga Parcial Integrado (IPLV)	34
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	34
Metodología.....	35
Capítulo I: Auditoría energética.....	37
Equipos que consumen energía	38
Aire Acondicionado	38
Congeladores.....	40
Refrigeradores.....	42
Incubadoras	42
Baños María	44
Calentadores.....	45
Hornos.....	46
Autoclaves.....	47
Cámaras de flujo laminar	49
Centrífugas	51
Analizadores.....	52
Agitadores	53
Computadoras	53
Luminarias	54
Generador.....	54
Alimentación Eléctrica de INCIENSA.....	55
Horarios de consumo de INCIENSA	57
Consumo Energético	59
Consumo de Combustible	59
Consumo de Energía Eléctrica.....	61
Diagnóstico del Consumo de Energías Primarias	67

Balances de Energía	68
Balance energético por equipos de la organización	68
Balance energético por zonas de la organización.....	71
Usos significativos de la energía	74
Oportunidades de mejora energética	77
Sistemas de Climatización	77
Luminarias	78
Factor de potencia nocturno	78
Equipos de Monitoreo	79
Capítulo II: Línea de base e indicadores energéticos.....	80
Definición de los IDEn y Líneas de Base Energética.....	80
IDEn Establecidos	81
Energía eléctrica consumida por muestras procesadas.....	81
Emisiones de CO ₂ contra cantidad de muestras procesadas.....	82
Establecimiento de LBen.....	83
LBen, energía eléctrica consumida por muestras procesadas.....	83
LBen emisiones de CO ₂ contra cantidad de muestras procesadas.....	84
Capítulo III: Prototipo del sistema de monitoreo en tiempo real y plan piloto para el aprovechamiento de equipos de medición.....	86
Diseño del Prototipo.....	86
Construcción del Prototipo	89
Selección de la Resistencia de Carga	89
Circuito de Acondicionamiento de Señal.....	89
Calibración del Sensor SCT-013.....	89
Validación del Prototipo	90
Etapas de Medición en Campo	91
Oportunidades de Mejora del Prototipo	93
Integración de IoT	93
Medición de Voltaje.....	93
Medición Trifásica	93
Mejora del Encapsulado.....	93
Plan piloto para aprovechar equipos de medición instalados	94
Medidor Schneider Electric A9MEM3255	95
Analizador de Calidad de Energía Eaton Power Xpert 2250 (PXM2250MA65105).....	96
Medidor PowerLogic PM8243.....	97
Observaciones	98
Capítulo IV: Cuadro de mando integral	100
Perspectiva del Cliente	101
Perspectiva Financiera.....	101
Perspectiva de Procesos Internos	102

Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento.....	103
Impacto financiero de las mejoras propuestas.....	107
Sistemas de climatización	107
Luminarias	109
Factor de potencia	111
Conclusiones.....	113
Objetivo 1	113
Objetivo 2.....	113
Objetivo 3.....	114
Objetivo 4.....	114
Recomendaciones	115
Referencias bibliográficas	117
Anexos.....	122

Introducción

Este proyecto se centró en el desarrollo de un modelo de gestión de energía para el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), siguiendo las directrices de la norma ISO 50001:2018. La importancia de la energía en el funcionamiento de las instituciones es incuestionable, y su gestión eficiente es clave no solo para reducir costos operativos, sino también para minimizar el impacto ambiental, especialmente en una institución pública que asume un rol estratégico en la vigilancia de la salud pública.

En este proyecto se siguió una serie de pasos definidos por la norma ISO 50001:2018. Inicialmente, se realizó una auditoría energética de conformidad con la norma ISO 50002:2014, para identificar el consumo energético de los diferentes equipos y procesos dentro de la institución. A partir de esta auditoría, se establecieron las líneas base energéticas y se definieron indicadores de desempeño energético, utilizando la norma ISO 50006:2014. Además, se diseñó un sistema de monitoreo en tiempo real para monitorear el consumo energético de los equipos más críticos, integrando tecnologías avanzadas y análisis de datos. Finalmente, se desarrolló un cuadro de mando integral, que permite evaluar la rentabilidad y eficiencia energética derivada del modelo propuesto.

Entre las limitaciones presentadas en el proyecto se destaca la disponibilidad de datos históricos sobre el consumo energético, ya que la falta de estos dificulta la evaluación precisa del rendimiento energético de INCIENSA. También se enfrentaron limitaciones financieras, porque la adquisición de equipos de monitoreo especializados y la implementación de tecnologías avanzadas se restringen, debido a la recolección de recursos suficientes. Adicionalmente, la coordinación con el personal y la disponibilidad de tiempo para llevar a cabo las mediciones en los plazos establecidos pudieron representar otro desafío.

El impacto ambiental del proyecto es altamente positivo, pues, al implementar un sistema de gestión de energía, se espera reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al consumo energético en INCIENSA.

Reseña de la empresa

El Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) es una institución pública adscrita al Ministerio de Salud de Costa Rica, cuya misión principal es la prevención y control de problemas de salud pública a través de la vigilancia epidemiológica y la investigación. Fundada en 1963 como el Centro Regional de Recuperación Nutricional, su enfoque original fue combatir la desnutrición infantil. En 1977, INCIENSA asumió nuevas funciones de investigación y enseñanza en salud y nutrición, conforme a las políticas nacionales en estos ámbitos.

Durante la década de los noventa, en el marco de la Reforma del Sector Salud, INCIENSA fortaleció su papel como laboratorio de referencia en salud pública, encargándose de la vigilancia epidemiológica basada en laboratorios y la investigación estratégica en salud. La Ley N.º 8270 de 2002 consolidó su rol como una institución clave en la supervisión de la calidad de diagnósticos y en la investigación de patologías emergentes, como el cólera y el dengue.

INCIENSA desempeña un papel esencial en la salud pública costarricense a través de sus Centros Nacionales de Referencia (CNR), que ofrecen diagnósticos especializados, normalización técnica y transferencia de conocimiento, para mejorar la respuesta del sistema de salud ante enfermedades y amenazas sanitarias. A lo largo de su historia, ha evolucionado para cumplir con los más altos estándares de calidad y eficiencia, contribuyendo significativamente a la mejora de los servicios de salud en el país. Las instalaciones están ubicadas en La Unión de San Diego, de la estación de servicio SERVIINDOOR 150m oeste, en la provincia de Cartago, Costa Rica.

Misión: Contribuir a mejorar el estado de la salud de la población a través de la generación y difusión del conocimiento e información estratégica para la toma de decisiones en salud pública; mediante la vigilancia epidemiológica basada en laboratorio y especializada en la

investigación, la enseñanza, el aseguramiento de la calidad y la verificación del cumplimiento de la normativa en productos de interés sanitario.

Visión: Ser un instituto de salud pública de vanguardia y referencia nacional y regional en la generación y transferencia de conocimiento e información estratégica.

Figura 1

Organigrama que muestra la jerarquía Institucional del Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA)



Nota. Organigrama de INCIENSA [Captura de pantalla], INCIENSA (2025).

(<https://www.inciensa.sa.cr/>).

Antecedentes

Con respecto a lo que significa la energía en la vida de la humanidad, se dice en el Objetivo 7 | Objetivos de desarrollo sostenible (2020) que:

La energía es central para casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que hace frente el mundo actualmente. Ya sea para los empleos, la seguridad, el cambio climático, la producción de alimentos o para aumentar los ingresos, el acceso a la energía para todos es esencial. (párr.1)

Se entiende, de esta manera, que la energía es indispensable para el bienestar y desarrollo de la sociedad.

El uso y la generación de energía tienen un fuerte impacto ambiental, por lo que es importante tomar medidas al respecto para mitigarlo. En el Plan nacional de descarbonización 2018-2050 (MINAE, 2019):

El análisis sectorial de los cambios sugiere que entre el 70 y 80% de las emisiones globales en las últimas décadas provienen del consumo de energía - por ejemplo, para generar electricidad, impulsar el transporte, actividades industriales y comerciales, así como brindar calefacción en los inviernos. Ya existen opciones tecnológicas para reducir a prácticamente cero las emisiones energéticas. (p. 17)

En la actualidad se ha evidenciado cómo la demanda energética ha ido en aumento a través del tiempo debido a diversos factores, como los avances tecnológicos y el crecimiento de la población, según el VII Plan nacional de energía 2015-2030 (MINAE, 2015):

Ese incremento en el consumo originará en el futuro impactos ambientales, sociales y económicos, sobre los cuales se requiere tomar acciones políticas a fin de minimizarlos. Una de las oportunidades más importantes que tiene el país consiste en aprovechar todas las posibilidades de reducción en el crecimiento de la demanda que no afecten otras metas

de desarrollo y que reduzca la necesidad de instalación de nuevas plantas generadoras de electricidad y el consumo de combustibles. (p. 17)

Como parte de los objetivos que propone el VII Plan nacional de energía 2015-2030 (MINAE, 2015) se encuentra el objetivo de fomentar la eficiencia de consumo energético del sector público; para esto se propone la acción de introducir la norma ISO 50001 en instituciones del sector público, por lo que se puede decir que una institución pública que implementa un modelo de gestión de la energía acorde con la norma ISO 50001, a la vez está promoviendo el consumo responsable y eficiente de la energía (p. 68).

En Costa Rica existen incentivos que se les da a las instituciones por la implementación y certificación de la norma ISO 50001:2018, lo que representa una solución para reducir el consumo eléctrico y mejorar el desempeño energético. Las empresas certificadas pueden acceder a tarifas eléctricas diferenciadas, gracias a una resolución del ICE, que permite una reducción de entre el 15% y el 25% en la facturación eléctrica (Castro, La República, 2021).

Según Chinchilla (2021) el Ing. Granados, gerente de Ingeniería y Mantenimiento de Gutis Ltda., dice que:

Con la implementación de la norma ISO 50001, Gutis Ltda. logra un mayor compromiso con la protección del medio ambiente y la mejora en el desempeño energético mediante los objetivos y metas anuales, cumplimiento de los requerimientos legales ambientales y energéticos aplicables a la industria. Esto nos permite obtener ventajas competitivas, mejoras en la rentabilidad de sus procesos y ofrecer a los clientes un comportamiento socialmente responsable. (párr. 14)

Un ejemplo de lo que se puede lograr con la implementación de un modelo de gestión de la energía bajo la norma ISO 50001:2018 es el caso de la fábrica CHANGSHIN INC en

Indonesia: esta invirtió US\$ 488,697 en la implementación del Sistema de gestión de energía ISO 50001, principalmente en consultoría, capacitación y herramientas de monitoreo energético. Aunque los costos fueron altos, los beneficios incluyen un ahorro de energía de 11,720 MWh entre el 2021 y el 2023, con una reducción del 12% en la intensidad energética y un aumento del 28% en la producción. Además, se logró un ahorro acumulado en costos de energía de US\$ 808,382 en tres años (Clean Energy Ministerial, ISO 50001 Energy management system - case study Indonesia 2024, s.f.).

Planteamiento del problema

Tabla 1

Tabla de Análisis de la Gestión Energética

Elemento	Dato Suministrado	Descripción / Problema	Referencia Bibliográfica
Debiera	La cadena hotelera Hilton redujo la intensidad energética en un 20,6% y la intensidad de carbono en un 30%.	Al implementar un sistema de gestión de energía, las organizaciones pueden reducir costos, mejorar su productividad y disminuir su impacto ambiental.	ISO 50001 Energy Management Systems (2018).
Desviación (Problema)		El poco conocimiento sobre la forma en que se administra la energía en la institución hace que se actúe de modo desinformado, tomando decisiones poco confiables.	
Realidad	Desconocimiento del rendimiento energético de la institución	La ausencia de datos sobre el desempeño energético de la institución dificulta la toma de decisiones que mejoren la rentabilidad y sostenibilidad.	Ing. José Francisco Quesada Rey, Jefe de Unidad de Ingeniería y Mantenimiento de INCIENSA.

Nota. Elaboración propia (2025).

En el VII Plan nacional de energía 2015-2030 (MINAE, 2015) se dice que, por medio de un conjunto de acciones u oportunidades que producen una reducción en el consumo energético, se logra alcanzar la eficiencia energética, y con esta se incrementa la competitividad del sistema productivo nacional, se reduce el desperdicio y, por lo tanto, se disminuyen la inversión, el impacto social y ambiental asociados al desarrollo energético (p. 17).

De acuerdo con Ahorro de energía: 7 consejos para disminuir el consumo en casa (2022):

El aumento global de la temperatura, el crecimiento del nivel del mar y la mayor incidencia de las catástrofes naturales son algunas de las consecuencias más visibles del cambio climático. Los especialistas señalan a las emisiones de gas invernadero como las principales responsables y la industria energética se encuentra en el centro de la escena. (párr.1)

Se deben tomar medidas con respecto al uso que se le da a la energía en todas sus formas, pues el impacto que esto genera en el planeta es bastante significativo. Según el Objetivo 7 | Objetivos de desarrollo sostenible (2020): “el consumo de energía sigue siendo la principal causa del cambio climático, ya que representa alrededor del 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero” (párr.3).

En cuanto a la situación energética de Costa Rica, se dice en La República (2023) que:

El país sigue enfrentando una falta de sostenibilidad de su matriz energética, debido a la combinación de una alta dependencia a los hidrocarburos para solventar la vulnerabilidad de las plantas de generación con recursos renovables ante la variabilidad y el cambio climático. Se siguen postergando las urgentes inversiones estratégicas y la actualización o armonización del marco normativo y regulatorio. (párr. 5)

La implementación de sistemas de gestión de la energía (SGEn) ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la huella de carbono; también promueve el uso de energía más limpia. Además, se fomenta la industrialización sostenible y la producción responsable, lo cual se considera una acción inmediata para contrarrestar la crisis climática (VII Plan nacional de energía 2015-2030, MINAE, 2015).

El desarrollo de un SGEn se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la ONU, que buscan alcanzar una serie de metas globales en un plazo de 15 años para mejorar la vida de las personas. Estos objetivos son los de Energía asequible y no

contaminante (ODS 7), Industria, innovación e infraestructura (ODS 9), Producción y consumo responsables (ODS 12) y Acción por el clima (ODS 13) (ONU, 2015).

Implementar un sistema de gestión de la energía basado en la norma ISO 50001:2018 ofrece numerosos beneficios, como el ahorro energético y económico, la mejora de la imagen corporativa, la reducción del impacto ambiental, el cumplimiento normativo, el acceso a concursos públicos y la integración con otros sistemas de gestión. Estos beneficios no solo mejoran la eficiencia y reducen costos, sino que también posicionan a la empresa como líder en sostenibilidad y responsabilidad ambiental (ISO 50001 Energy management systems, 2018).

En el VII Plan nacional de energía 2015-2030 (MINAE, 2015) se dice que, por medio de un conjunto de acciones u oportunidades que producen una reducción en el consumo energético, se logra alcanzar la eficiencia energética, y con esta se incrementa la competitividad del sistema productivo nacional, se reduce el desperdicio y, por lo tanto, se disminuye la inversión, el impacto social y ambiental asociados al desarrollo energético (p. 17).

De acuerdo con Ahorro de energía: 7 consejos para disminuir el consumo en casa (2022):

El aumento global de la temperatura, el crecimiento del nivel del mar y la mayor incidencia de las catástrofes naturales son algunas de las consecuencias más visibles del cambio climático. Los especialistas señalan a las emisiones de gas invernadero como las principales responsables y la industria energética se encuentra en el centro de la escena. (párr. 2)

Se deben tomar medidas con respecto al uso que se le da a la energía en todas sus formas, pues el impacto que esto genera en el planeta es bastante significativo. Según el Objetivo 7 | Objetivos de desarrollo sostenible (2020): “el consumo de energía sigue siendo la principal causa del cambio climático, ya que representa alrededor del 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero” (párr. 3).

En cuanto a la situación energética de Costa Rica, se dice en La República (Castro, 2023) que:

El país sigue enfrentando una falta de sostenibilidad de su matriz energética, debido a la combinación de una alta dependencia a los hidrocarburos para solventar la vulnerabilidad de las plantas de generación con recursos renovables ante la variabilidad y el cambio climático. Se siguen postergando las urgentes inversiones estratégicas y la actualización o armonización del marco normativo y regulatorio. (párr. 6)

La implementación de sistemas de gestión de la energía (SGEn) ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la huella de carbono, y también promueve el uso de energía más limpia. Además, se fomenta la industrialización sostenible y la producción responsable, lo cual se considera una acción inmediata para contrarrestar la crisis climática (VII Plan nacional de energía 2015-2030, MINAE, 2015).

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001:2018, para establecer indicadores y métricas que permitan una evaluación del uso, la eficiencia y el consumo energético en INCIENSA, promoviendo la sostenibilidad, el aumento del rendimiento energético y la reducción de costos operativos.

Objetivos Específicos

1. Realizar una auditoría energética conforme a la norma ISO 50002:2014, identificando y priorizando oportunidades de mejora en eficiencia energética y reducción de costos, estableciendo un plan de acción.

Indicador de logro: Informe de balance energético.

2. Definir la línea de base energéticas, proponiendo índices de desempeño energético, conforme a la norma ISO 50006:2014, para facilitar la toma de decisiones en proyectos futuros.

Indicador de logro: Líneas de base energética, indicadores energéticos.

3. Diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real del consumo de energía eléctrica, que integre el desarrollo, pruebas, calibración del prototipo, y la elaboración de un plan piloto para guiar la implementación y extracción de datos de los equipos de medición ya instalados en INCIENSA, enfocado en los equipos de mayor impacto técnico y financiero, mediante tecnologías avanzadas y análisis de datos para optimizar el uso energético.

Indicador de logro: Construcción y validación del prototipo, realización de mediciones, análisis del error, y elaboración de un plan piloto que permita definir el procedimiento de conexión, lectura y aprovechamiento de los datos de los equipos ya instalados.

4. Analizar el rendimiento energético de los equipos utilizando un cuadro de mando integral, verificando de esta forma cómo el Modelo de gestión de energía propuesto podría influir en la rentabilidad del negocio si se implementa en el futuro.

Indicador de logro: Cuadro de mando integral con el impacto en el rendimiento energético que se puede alcanzar con el modelo propuesto.

Justificación

Dentro de lo que puede cubrir o lograr un modelo de gestión de la energía en una institución pública, se dice en Guía para la gestión de la energía - documento de orientación para el sector público (MINAE, s.f.):

La gestión de la energía abarca los temas de eficiencia energética, uso racional de la energía y ahorro de energía en combustibles y en electricidad. Estos rubros representan costos de gran importancia a los cuales debe hacer frente cada institución y con una buena gestión de la energía la institución aumenta la competitividad, reduce el despilfarro de los recursos, reduce el consumo de la energía y la generación de las emisiones contaminantes, reduce los costos de la institución y favorece la política de sostenibilidad. (pp. 7-8)

Con respecto a lo que se enuncia en el VII Plan nacional de energía 2015-2030 (MINAE, 2015), se dice que, del impacto ambiental que se genera en el país, el sector de energía es de los que presenta los mayores retos a la hora de contribuir con un desarrollo de la economía, de forma que sea cada vez más amigable con el medio ambiente, considerando que en el país el sector de energía genera el 80% de la emisión de GEI, por lo que es crucial tomar medidas al respecto.

En el Plan nacional de descarbonización 2018-2050 (MINAE, 2019) se establece que, como acción de cambio para la transformación del sector industrial, se debe fomentar la eficiencia energética en los procesos industriales, lo que puede lograrse promoviendo prácticas adecuadas en la gestión de energía, como lo establece la norma ISO 50001, por lo que se entiende que la implementación de esta norma es una buena alternativa para gestionar la energía de cualquier empresa o institución, logrando, de esta forma, mejorar la competitividad y disminuir costos relacionados con el consumo energético.

Alcance

Este proyecto tiene como objetivo explorar y establecer la situación actual del desempeño energético de INCIENSA, la cual no ha sido previamente evaluada, mediante la realización de una auditoría energética conforme a la norma ISO 50002:2014. Se analizaron los distintos procesos y equipos de la institución, determinando el tipo y cantidad de consumo energético que presentan a través de un balance energético. De este modo, se identificaron los equipos más críticos, aquellos que representan el mayor consumo energético y que ofrecen las mejores oportunidades de optimización.

Conforme a la norma ISO 50006:2014, se desarrollaron indicadores de desempeño energético que sean representativos y coherentes con las características de la institución. Además, se establecieron las líneas base energéticas necesarias para evaluar las futuras mejoras en la eficiencia energética, garantizando que los coeficientes de correlación sean aceptables para el análisis comparativo.

Como parte de este proceso, se diseñó y se implementó un prototipo para medir en tiempo real el consumo energético del equipo de mayor impacto técnico y financiero, que se encuentre dentro de los límites específicos del prototipo y en concordancia con los resultados obtenidos en el balance energético inicial. El sistema de monitoreo propuesto permitió visualizar el comportamiento de ciertos equipos y tomar decisiones fundamentadas sobre la eficiencia energética.

Finalmente, los resultados del análisis técnico y financiero se integraron dentro de un cuadro de mando integral, que facilitará la visualización del impacto del Modelo de gestión de energía propuesto sobre la rentabilidad y sostenibilidad de INCIENSA, si se implementara en el futuro. Este cuadro de mando proporciona información crítica sobre la eficiencia energética alcanzable, los costos operativos asociados y el potencial de mejora en el rendimiento general de la institución.

Viabilidad

La viabilidad del proyecto se sustenta en la disponibilidad de herramientas, recursos y competencias necesarias para su ejecución, y se organiza en los siguientes puntos clave:

Disponibilidad tecnológica

Para llevar a cabo el proyecto, se contó con una computadora con software de análisis de datos, la cual se utilizó para la recopilación de información, programación de prototipo, simulaciones y redacción del informe final. Asimismo, se disponía de un analizador de energía portátil, que permite medir variables eléctricas como la corriente. Se utilizaron tecnologías de monitoreo en tiempo real, para validar el comportamiento energético de algunos equipos.

Disponibilidad de tiempo

El proyecto, en su etapa de desarrollo, requería de acceso a las instalaciones de INCIENSA durante un período mínimo de 36 horas semanales, distribuidas en cinco días, para realizar mediciones, evaluaciones de equipos y recopilación de datos. La empresa brindó la autorización para este acceso, lo que garantizó la recolección oportuna de la información necesaria en el tiempo establecido en el cronograma.

Disponibilidad de recursos financieros

La institución pactó con el estudiante la ausencia de dinero del que esta dispone para la implementación del proyecto, si no se contó por completo con ningún recurso, o en caso de limitaciones financieras adicionales, se implementaron las medidas descritas en la sección de Administración del riesgo para garantizar la continuidad del proyecto.

Disponibilidad de recursos humanos

INCIENSA asignó un asesor que actuó como intermediario entre las áreas de mantenimiento e ingeniería. Este asesor brindó el apoyo técnico y facilitó la coordinación con

el personal encargado de los equipos críticos. En caso de intervenciones técnicas necesarias, se contó con la colaboración del personal de la institución involucrado en el asunto.

Disponibilidad de materiales

Se tuvo acceso a los equipos y procesos dentro de INCIENSA, que fueron necesarios para la implementación del modelo de gestión energética. En ciertos casos no se podía acceder a ciertas zonas de la empresa, por lo que se coordinó con personal de la empresa para obtener datos referentes al consumo energético de estas áreas y de los equipos ubicados dentro de ellas.

Administración del riesgo

Durante el desarrollo del proyecto, se identificaron las siguientes posibles limitaciones y se proponen medidas de mitigación:

Recurso humano

Existe el riesgo de que el personal de la institución no esté disponible en todo momento para los requerimientos de la implementación del modelo de gestión energética, o la ejecución de pruebas específicas. Para mitigar este riesgo, se coordinó con INCIENSA la asignación de un asesor dedicado, y se estableció un calendario flexible que permitió ajustar las actividades en función de la disponibilidad del equipo o funcionario.

Recurso financiero

En caso de que los recursos financieros destinados para la adquisición de equipos de medición especializados, como el analizador de energía, fuesen insuficientes, se emplearon métodos alternativos. Estos incluyen el uso de un amperímetro de gancho para realizar mediciones indirectas del consumo energético. Además, dado que no se adquirieron las normas ISO necesarias, se utilizarían las versiones disponibles en la biblioteca del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

Confidencialidad

Dado que el proyecto incluye el análisis de datos sensibles sobre el rendimiento energético de la institución, INCIENSA podría requerir confidencialidad. Para mitigar este riesgo, se firmó un acuerdo de confidencialidad, y el estudiante aplicará factores de ajuste en los datos presentados en el informe final, de modo que sólo él conozca los valores reales.

Marco teórico

Términos Relacionados con la Facturación Energética

Energía

La energía es la capacidad de realizar trabajo. En el contexto eléctrico, se relaciona directamente con la producción y las horas de operación de los equipos en una empresa. Su símbolo es la letra E (IEEE, 2020). La ecuación para calcular la energía eléctrica es:

$$E = Potencia\ kW \times Tiempo\ h \quad (1)$$

Potencia

La potencia mide la rapidez con la que se consume la energía. Un equipo con mayor potencia consumirá más energía en el mismo periodo de tiempo que uno con menor potencia. Su símbolo es la letra P (Cengel & Boles, 2019).

Demanda

La demanda eléctrica se determina promediando la potencia consumida durante un intervalo de 15 minutos. Se calcula mediante la siguiente ecuación (Gómez et al., 2021):

$$Demanda = \frac{Energía\ (kWh)}{Tiempo\ (h)} \quad (2)$$

Términos Relacionados con las Normas ISO 50000

Política Energética

Es la declaración de la organización sobre sus intenciones, dirección y compromisos con el desempeño energético, formalizada por la alta dirección (ISO 50001:2018).

Sistema de Gestión de Energía

Es el sistema que permite definir una política energética, establecer objetivos, metas, planes de acción y procesos para mejorar el desempeño energético (ISO 50001:2018).

Auditoría Energética

Es un proceso sistemático, independiente y documentado para evaluar la eficiencia energética y determinar el cumplimiento de los criterios establecidos (ISO 50002:2018).

Desempeño Energético

Se refiere a los resultados medibles relacionados con la eficiencia, el uso y el consumo de energía (ISO 50006:2014).

Indicador de Desempeño Energético (IDEn)

Es una unidad de medición establecida por la organización para evaluar su desempeño energético (ISO 50006:2014).

Línea de Base Energética (LBEn)

Es la referencia cuantitativa utilizada para comparar el desempeño energético a lo largo del tiempo (ISO 50006:2014).

Eficiencia Energética

Es la relación cuantitativa entre la energía utilizada y el resultado obtenido en términos de producción, servicio o cualquier otro indicador (ISO 50001:2018).

Balance Energético

Es la cuantificación de las entradas y salidas de energía en una organización, comparando el consumo y uso de la energía (ISO 50001:2018).

Oportunidad de Conservación de Energía (OCE)

Son las acciones que pueden mejorar el desempeño energético de una organización (ISO 50002:2018).

Modelos Tarifarios

Tarifa Comercial (T-CO)

Esta tarifa aplica a servicios de baja tensión en el sector comercial o de servicios, según la clasificación del Banco Central de Costa Rica (ESPH, 2022).

Tarifa de Media Tensión B (T-MTb)

Diseñada para servicios eléctricos en media tensión, requiere un contrato mínimo de un año. Aplica a clientes que consuman al menos 1,000,000 kWh y 2,000 kW mensuales en 10 de los últimos 12 meses. Los clientes certificados en ISO 50001 pueden ser eximidos del requisito mínimo de consumo (ESPH, 2022).

Tarifa de Media Tensión (T-MT)

Aplicable a usuarios conectados a media tensión con consumos superiores a 20,000 kWh mensuales. Su precio varía dentro de un rango definido según el consumo específico del usuario (ESPH, 2022).

Prototipo de Monitoreo en Tiempo Real

Arduino MEGA 2560 REV3

El Arduino MEGA 2560 REV3 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Posee 54 pines de entrada/salida digital (15 compatibles con PWM), 16 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, puerto USB, entrada de alimentación, conector ICSP y un botón de reinicio. Su diseño facilita la programación y conexión con diversos módulos y sensores, permitiendo su uso en aplicaciones de automatización, monitoreo y control industrial (Arduino, 2024).

Sensor de Corriente Alterna No Invasivo SCT-013

Los sensores SCT-013 operan como transformadores de corriente, donde el cable que se mide actúa como el devanado primario y el sensor tiene un devanado secundario con más de 2000 espiras. Dependiendo del modelo, algunos sensores incluyen una resistencia de carga que convierte la corriente en una salida de voltaje. Estos sensores son ideales para aplicaciones de monitoreo energético en tiempo real, ya que permiten medir el consumo sin necesidad de interrumpir el circuito (OpenEnergyMonitor, 2024).

Ethernet Shield W5100

El Ethernet Shield W5100 permite la conexión de placas Arduino a redes LAN o Internet. Es compatible con modelos como Arduino Uno, Mega y Leonardo, e incluye un slot para tarjetas micro-SD, un controlador de reinicio y un conector RJ45. Utiliza el chip Wiznet W5100 con soporte para protocolos TCP/IP, lo que permite aplicaciones como monitoreo remoto y domótica. Además, incorpora indicadores LED para facilitar la supervisión de la conectividad (Naylamp Mechatronics, 2024).

Pantalla LCD 16x2 con I2C

La pantalla LCD 16x2 con interfaz I2C es un dispositivo de visualización que facilita la interacción con el usuario. Permite mostrar información en tiempo real, como mediciones de sensores, estados del sistema y alertas. Su conexión mediante el protocolo I2C reduce el número de pines utilizados en la placa Arduino, optimizando la integración con otros componentes del prototipo. Gracias a su retroiluminación y facilidad de configuración, es ideal para aplicaciones de monitoreo y control industrial (SparkFun, 2024).

General

Cuadro de Mando Integral (CMI)

El CMI es una herramienta de gestión que permite evaluar la situación y evolución de una empresa desde una perspectiva integral. Utiliza indicadores clave en áreas como finanzas, control de inventarios y desempeño operativo, facilitando la toma de decisiones basada en datos actualizados (Kaplan & Norton, 2020).

Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

El PRI es el tiempo que tarda un proyecto en recuperar la inversión inicial a través de los flujos de caja generados. Se utiliza como criterio para evaluar la viabilidad de proyectos y su capacidad de retorno financiero en el menor tiempo posible (GoCardless, 2023).

Valor Actual Neto (VAN)

El VAN representa el valor de los flujos de efectivo futuros descontados al presente, permitiendo analizar la rentabilidad de una inversión. Un VAN positivo indica que el proyecto genera valor económico (BMF Business School, 2024).

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es una métrica financiera que expresa la rentabilidad esperada de una inversión como un porcentaje. Se utiliza para comparar la eficiencia de diferentes proyectos y determinar su viabilidad económica (BMF Business School, 2024).

Ratio de Eficiencia Energética (EER)

El EER expresa la relación entre la capacidad de refrigeración proporcionada por un sistema y la cantidad de energía eléctrica consumida. Un valor más alto de EER indica una mayor eficiencia energética (Daikin, 2024).

Valor de Carga Parcial Integrado (IPLV)

El IPLV evalúa la eficiencia energética de sistemas de refrigeración en diferentes niveles de carga (25%, 50%, 75% y 100%), proporcionando un indicador más realista del desempeño del equipo en condiciones operativas variables (LearnMetrics, 2023).

Potencial de Calentamiento Global (GWP)

El GWP mide la capacidad de un refrigerante para contribuir al calentamiento global en comparación con el CO₂ en un período de 100 años. Cuanto mayor sea el GWP de una sustancia, mayor será su impacto ambiental negativo (JULABO, 2024).

Metodología

Tabla 2

Metodología por emplear en el desarrollo del proyecto

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Resultados esperados (indicador de logro)
<p><i>Objetivo específico # 1:</i> Realizar una auditoría energética conforme a la norma ISO 50002:2014, identificando oportunidades de mejora en eficiencia energética y reducción de costos, mediante un balance energético.</p>	<p>Solicitar información a la institución relacionada con el consumo de energía. Realizar balance energético por procesos y equipos. Identificar y proponer oportunidades de mejora en términos energéticos.</p>	<p>Datos de placa de los equipos. Personal de la institución. Historial de facturación en energía.</p>	<p>Elaboración de gráficos para la representación de los balances energéticos. Se emplea la Norma ISO 50002:2014.</p>	<p>Auditoría energética y balance de energía.</p>
<p><i>Objetivo específico # 2:</i> Definir la línea de base energéticas, proponiendo índices de desempeño energético, conforme a la norma ISO 50006:2014, para facilitar la toma de decisiones en proyectos futuros.</p>	<p>Establecer la línea base del consumo energético, junto con índices de desempeño energético, para la toma de decisiones en futuros proyectos, todo bajo la norma ISO 50006:2014.</p>	<p>Balance de energía. Norma ISO 50006:2014.</p>	<p>Criterios dictados por la norma ISO 50006:2014.</p>	<p>Líneas de base de energía e indicadores energéticos.</p>

<p><i>Objetivo específico # 3:</i> Diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real del consumo de energía eléctrica, que integre el desarrollo, las pruebas y la calibración, enfocado en los equipos de mayor impacto técnico y financiero, mediante tecnologías avanzadas y análisis de datos.</p>	<p>Diseñar un prototipo funcional de un sistema de monitoreo en tiempo real para el consumo de energía eléctrica, focalizado en los equipos de mayor consumo.</p>	<p>Balace energético. Ficha técnica de los sensores y dispositivos empleados.</p>	<p>La discrepancia que puede existir entre la medición efectuada con el prototipo y una medición realizada con equipo comercial empleado comúnmente, presentando esta discrepancia como porcentaje de error.</p>	<p>Construcción del prototipo.</p>
<p><i>Objetivo específico # 4:</i> Analizar el rendimiento energético de los equipos utilizando un cuadro de mando integral, verificando de esta forma cómo el Modelo de gestión de energía propuesto podría influir en la rentabilidad del negocio si se implementa en el futuro.</p>	<p>Evaluar, mediante un cuadro de mando integral, la medición del rendimiento energético de los equipos, que refleje el impacto del Modelo de gestión de energía propuesto en la rentabilidad del negocio, en caso de implementarse en un futuro.</p>	<p>Balace de energía. Información recolectada durante la construcción del modelo. Registros de información de la empresa.</p>	<p>Análisis de la eficiencia energética y rentabilidad en la implantación del modelo propuesto.</p>	<p>Cuadro de mando integral. Impacto del rendimiento.</p>

Nota. Elaboración propia (2025).

Capítulo I: Auditoría energética

Como parte de este objetivo, se llevó a cabo una auditoría energética, para evaluar las condiciones operativas de la institución en términos de consumo energético. En primera instancia, se realizó una inducción, que permitió conocer a fondo la estructura organizacional de la empresa, los procesos que allí se desarrollan y los requerimientos energéticos derivados de dichas actividades.

La institución se distingue por su compromiso con la calidad, lo que se refleja en una estructura organizacional sólida, capaz de almacenar y analizar una amplia cantidad de datos históricos. Esta base de información facilitó el acceso a datos relevantes sobre el consumo energético, acumulados a lo largo del tiempo.

Durante la auditoría, se llevó a cabo un análisis detallado del consumo energético actual de INCIENSA, lo que permitió construir un balance energético de la institución y definir el uso específico de la energía. Estos elementos constituyen la base para la toma de decisiones orientadas a optimizar su desempeño energético, en línea con las directrices establecidas por la norma INTE/ISO 50002:2018.

Un aspecto clave de la auditoría fue comprender las necesidades energéticas de cada uno de los procesos que se desarrollan en la institución. A partir de este análisis y del conocimiento adquirido sobre la organización, se elaboró una propuesta de política energética alineada con la política corporativa existente y ajustada a los objetivos, misión y visión institucionales previamente descritos.

Este documento establece un marco de referencia para la definición y revisión periódica de objetivos y metas energéticas, reforzando así el compromiso de la institución con la mejora continua. Además, asegura la disponibilidad tanto de la información relevante como de los recursos esenciales para maximizar la eficiencia energética.

El alcance del sistema de gestión de la energía fue definido con el objetivo de abarcar todos los procesos y facilidades que se desarrollan en INCIENSA y que impliquen el uso de energía primaria, específicamente energía eléctrica y diésel. Este enfoque busca garantizar la gestión eficiente y responsable del consumo energético en todas las áreas relevantes de la institución. Si bien el sistema incluye las áreas administrativas, se hace un énfasis particular en los procedimientos de laboratorio debido a que representan una proporción significativa del consumo energético total de la organización, lo que los convierte en un aspecto crítico para la optimización y mejora continua del desempeño energético.

Durante el desarrollo de la auditoría, una de las principales limitaciones identificadas fue el acceso restringido a zonas con riesgos biológicos. Dichas áreas requieren un protocolo de seguridad estricto, donde únicamente el personal debidamente capacitado puede ingresar, utilizando el equipo de protección necesario para minimizar el riesgo de contaminación por agentes biológicos presentes en el entorno. Esta restricción impuso desafíos en el acceso y recopilación de datos, pero se respetaron todos los lineamientos de bioseguridad, para preservar la integridad de los procedimientos y del personal involucrado.

Por último, cabe destacar que las secciones físicas incluidas dentro del alcance del sistema de gestión de la energía corresponden a aquellas que se encuentran delimitadas por los límites geográficos de la finca. Esta delimitación garantiza una cobertura precisa y facilita el monitoreo y la evaluación del desempeño energético en las instalaciones de INCIENSA.

Equipos que consumen energía

Aire Acondicionado

El sistema de aire acondicionado juega un papel fundamental en la regulación del confort térmico y la calidad del aire dentro de los espacios confinados en INCIENSA. Estos sistemas operan mediante la transferencia de calor, utilizando dos componentes principales: el

evaporador y el condensador. El evaporador extrae el calor del ambiente interno y lo transfiere al condensador, el cual, ubicado en un área adecuada, libera el calor al exterior. De esta manera, se logra reducir la temperatura y la humedad del aire en los espacios acondicionados.

En INCIENSA, la mayoría de los equipos de aire acondicionado corresponden al tipo split, donde la unidad condensadora se encuentra en el exterior del recinto, mientras que el evaporador está ubicado dentro del área que se desea climatizar. Además de estos sistemas, la institución cuenta con un equipo tipo paquete en el laboratorio donde se procesan muestras de tuberculosis. A diferencia de los sistemas split, este equipo integra la unidad condensadora y evaporadora en un solo gabinete, ubicado a un costado del laboratorio. Para distribuir el aire acondicionado dentro de la edificación, se emplea un sistema de ductos con filtros especiales diseñados para minimizar riesgos biológicos, garantizando así un ambiente seguro para el manejo de muestras.

Figura 2

Equipo de climatización del Laboratorio de Bioseguridad 3



Nota. Equipo de climatización del Laboratorio de Bioseguridad 3 de INCIENSA

[Fotografía], INCIENSA (2025). Elaboración propia.

Otro sistema relevante en la institución es un chiller, encargado de climatizar zonas específicas del edificio del Centro Nacional de Referencia en Microbiología y Análisis (CNRIMA). Este equipo es el de mayor capacidad de carga térmica en INCIENSA, permitiendo la climatización eficiente de áreas críticas.

Adicionalmente, la institución dispone de un equipo de aire acondicionado de precisión, instalado en un área especializada, donde se alberga equipamiento de laboratorio altamente sensible. Este tipo de sistema mantiene condiciones ambientales estrictamente controladas, asegurando la estabilidad operativa de los dispositivos y la validez de los análisis realizados.

En términos operativos, la mayoría de los sistemas de aire acondicionado en INCIENSA funcionan durante las horas laborales, coincidiendo con la presencia del personal en las instalaciones. Sin embargo, ciertos equipos permanecen en funcionamiento las 24 horas del día, ya que climatizan espacios donde se encuentran equipos que requieren condiciones ambientales constantes para su correcto desempeño.

Congeladores

Los congeladores son equipos de refrigeración especializados, cuyo principio de funcionamiento es similar al de los sistemas de aire acondicionado, pues operan mediante un ciclo termodinámico que involucra componentes como el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión. Sin embargo, a diferencia de los aires acondicionados, que están diseñados para climatizar espacios habitables, los congeladores están concebidos para mantener un volumen interno completamente cerrado a temperaturas bajo cero, generalmente por debajo de los 0 °C, e incluso alcanzando rangos de hasta -80 °C en modelos de ultra baja temperatura.

El evaporador es el componente encargado de absorber el calor del espacio interno del congelador, permitiendo que el ambiente se mantenga a temperaturas adecuadas para la conservación de muestras biológicas, productos químicos, reactivos u otros materiales

sensibles al calor. El calor absorbido es transferido al condensador, donde es liberado al ambiente externo, completando así el ciclo de refrigeración.

Figura 3

Congeladores de la Zona de Congeladores



Nota. Congeladores de la Zona de Congeladores de INCIENSA [Fotografía].

Elaboración propia (2025).

Dado que estos equipos deben conservar condiciones térmicas constantes y específicas durante todo el tiempo de almacenamiento, los congeladores operan de manera continua, con ciclos intermitentes controlados por un termostato o sistema electrónico. Esto implica un consumo energético sostenido las 24 horas del día, los siete días de la semana, lo cual es fundamental para garantizar la integridad de los materiales almacenados, especialmente en entornos como laboratorios clínicos y centros de investigación.

Refrigeradores

Los refrigeradores son equipos de refrigeración diseñados para conservar productos perecederos, muestras biológicas, reactivos u otros materiales a temperaturas que oscilan generalmente entre los 2 °C y 8 °C, dependiendo del tipo de aplicación. Su funcionamiento se basa en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, que al igual que en los congeladores y aires acondicionados, incluye componentes esenciales como el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador.

En este proceso, el compresor comprime el refrigerante en estado gaseoso, elevando su presión y temperatura; luego, el gas caliente pasa por el condensador, donde libera calor al ambiente externo y se condensa en forma líquida. Posteriormente, el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión, donde sufre una caída de presión que lo enfría antes de ingresar al evaporador. En este punto, el evaporador absorbe el calor del interior del refrigerador, enfriando el ambiente interno y permitiendo la conservación de los productos almacenados.

A diferencia de los congeladores, los refrigeradores no alcanzan temperaturas bajo cero, sino que mantienen un rango térmico adecuado para retardar la proliferación de bacterias y preservar la integridad de diversos materiales sin llegar a congelarlos. Este tipo de equipos es ampliamente utilizado tanto en entornos domésticos como en aplicaciones industriales, clínicas y de laboratorio.

Los refrigeradores también requieren operar de manera continua, aunque de forma cíclica, para mantener estable la temperatura interna. Su consumo energético, aunque menor que el de los congeladores de ultra baja temperatura, sigue siendo constante debido a la necesidad de preservar condiciones térmicas específicas durante las 24 horas del día.

Incubadoras

Las incubadoras son equipos de laboratorio diseñados para mantener un ambiente térmico controlado, con condiciones constantes de temperatura, humedad e incluso, en algunos casos,

concentración de gases como dióxido de carbono (CO_2) u oxígeno (O_2), según el tipo de aplicación. Estos dispositivos son fundamentales en procesos biológicos, microbiológicos y de cultivo celular, ya que proporcionan un entorno ideal para el desarrollo y conservación de muestras sensibles.

El principio de funcionamiento de las incubadoras se basa en la generación de calor mediante una resistencia eléctrica, la cual está regulada por un sistema de control térmico con sensores de temperatura de alta precisión (como termistores y termopares). Estos sensores permiten mantener el interior del equipo dentro de un rango térmico específico, generalmente entre los $25\text{ }^\circ\text{C}$ y $45\text{ }^\circ\text{C}$, dependiendo del tipo de muestra y el protocolo experimental requerido. Algunas incubadoras también integran ventiladores o sistemas de convección forzada, para asegurar una distribución uniforme del calor en toda la cámara interna.

En modelos más avanzados, se incorporan sistemas de humidificación y control de gases, esenciales para cultivos celulares y bacterianos que requieren condiciones atmosféricas muy precisas. El control de estos parámetros garantiza la replicabilidad de los experimentos y la viabilidad de las muestras a lo largo del tiempo.

Figura 4

Incubadora del CNR de Micobacterias



Nota. Incubadora del CNR de Micobacterias de INCIENSA [Fotografía]. Elaboración propia (2025).

Al igual que los congeladores y refrigeradores, las incubadoras permanecen en funcionamiento continuo durante las 24 horas del día, ya que deben mantener las condiciones ambientales constantes para asegurar el desarrollo adecuado de los procesos biológicos. Esto implica un consumo energético sostenido, el cual está justificado por la necesidad de preservar la estabilidad térmica y evitar interrupciones que puedan comprometer la integridad de las muestras.

Baños María

El baño maría es un equipo de laboratorio diseñado para calentar muestras de forma indirecta, uniforme y controlada mediante la inmersión en agua caliente. Este dispositivo es ampliamente utilizado en aplicaciones donde se requiere mantener una temperatura constante durante un periodo limitado de tiempo, sin aplicar calor directo a las muestras. Su funcionamiento es esencial en procedimientos como la disolución de sustancias, incubación de

reactivos, calentamiento de medios de cultivo o reacciones bioquímicas que requieren estabilidad térmica sin riesgo de sobrecalentamiento.

El sistema está compuesto por un recipiente externo que contiene agua y una cámara interna donde se colocan los tubos, frascos o recipientes con las muestras. La temperatura del agua es regulada mediante una resistencia eléctrica y un termostato o controlador digital, que permiten establecer con precisión el nivel de calor deseado, generalmente en un rango entre los 25 °C y los 100 °C, dependiendo del modelo. Algunos baños maría avanzados incorporan funciones de agitación o recirculación de agua, para mejorar la uniformidad térmica en todo el volumen.

A diferencia de equipos como los congeladores, refrigeradores o incubadoras, los baños maría no requieren funcionamiento continuo, ya que su uso está limitado a períodos específicos del día, usualmente no superiores a una hora. Esto se debe a que su función es puntual, asociada a procesos experimentales o preparativos breves, tras los cuales el equipo puede ser apagado. Por esta razón, su consumo energético es significativamente menor en comparación con otros dispositivos de temperatura controlada que operan las 24 horas.

Calentadores

Los calentadores o plantillas de calentamiento (también conocidos como placas calefactoras o hot plates) son equipos de laboratorio diseñados para aplicar calor directo y controlado a recipientes que contienen soluciones, reactivos o muestras. Su uso es fundamental en procesos como la evaporación de solventes, disolución de sustancias, reacciones químicas controladas y calentamiento de medios de cultivo o líquidos, cuando no se requiere un entorno cerrado o esterilizado como el que ofrece un horno o baño maría.

El funcionamiento de una plantilla de calentamiento se basa en el uso de una resistencia eléctrica interna que eleva la temperatura de una superficie metálica plana, generalmente de aluminio o cerámica, sobre la cual se colocan los recipientes (como vasos de precipitado,

matraces o tubos). Estas superficies pueden alcanzar temperaturas desde los 50 °C hasta más de 350 °C, dependiendo del modelo. Algunos equipos modernos incluyen controladores digitales de temperatura y sensores tipo termopar o PT100, que permiten una regulación precisa y estable del calor aplicado.

El uso de estos dispositivos en laboratorios como los de INCIENSA suele ser intermitente y por tiempos relativamente cortos, dependiendo de las tareas por realizar. Normalmente, una plantilla se utiliza en ciclos de 15 a 60 minutos, varias veces al día, lo que implica un consumo energético moderado en comparación con equipos de uso continuo como incubadoras o congeladores. Sin embargo, si se utilizan simultáneamente varias plantillas o si permanecen encendidas innecesariamente, su consumo puede incrementarse de forma significativa.

Para optimizar el uso energético, se recomienda apagar el equipo inmediatamente después del uso, utilizar recipientes con buen contacto térmico con la superficie, calentar solo el volumen necesario y aplicar mantenimientos periódicos para evitar pérdidas de eficiencia.

Hornos

Los hornos de laboratorio son equipos diseñados para aplicar calor seco a materiales, muestras o instrumentos, permitiendo realizar procesos como secado, esterilización por calor seco, curado de materiales, evaporación controlada de solventes, y tratamiento térmico de muestras no biológicas. Su uso es común en laboratorios de análisis clínico, microbiología, química, materiales y control de calidad, entre otros.

El funcionamiento de estos hornos se basa en la convección térmica, ya sea natural o forzada. Están compuestos por una cámara interna aislada térmicamente, resistencias eléctricas como fuente de calor, y un sistema de control electrónico que permite ajustar la temperatura con precisión. En los modelos de convección forzada, un ventilador interno distribuye el aire caliente de manera uniforme, asegurando una temperatura constante en todo el volumen del horno.

La temperatura de operación puede variar ampliamente según el modelo, pero en la mayoría de las aplicaciones de laboratorio oscila entre los 50 °C y 300 °C. En cuanto a su uso en instituciones como INCIENSA, los hornos se emplean en procesos específicos, como el secado de cristalería previamente lavada, la eliminación de humedad en materiales sólidos, o la esterilización de instrumental no sensible al calor seco. A diferencia de equipos que requieren operación continua como congeladores o incubadoras, los hornos suelen usarse por periodos definidos, generalmente en ciclos de una a tres horas al día, dependiendo del volumen de trabajo y del proceso que se esté llevando a cabo.

El consumo energético de estos equipos puede ser considerable, especialmente debido a las altas temperaturas que manejan y al tiempo que requieren para alcanzar y mantener esas condiciones térmicas. Por ello, es importante aplicar buenas prácticas de uso, como evitar aperturas frecuentes durante el funcionamiento, agrupar cargas para maximizar la eficiencia y apagar el equipo inmediatamente después del uso, con el fin de optimizar el consumo energético.

Autoclaves

Las autoclaves utilizadas en INCIENSA son equipos esenciales para la esterilización de materiales de laboratorio, incluyendo utensilios de vidrio (cristalería), disoluciones y residuos biológicos o materiales de desecho. Estos dispositivos emplean vapor de agua a alta presión y temperatura para eliminar eficazmente microorganismos, esporas y otros agentes patógenos, garantizando condiciones de bioseguridad en las distintas áreas de trabajo.

Figura 5.

Autoclave de la Unidad de Servicios Técnicos de Laboratorio



Nota. Autoclave de la Unidad de Servicios Técnicos de Laboratorio de INCIENSA [Fotografía]. Elaboración propia (2025).

Todas las autoclaves operan con alimentación eléctrica, la cual suministra energía a un sistema interno de resistencias eléctricas encargadas de calentar el agua contenida en una cámara sellada. Al alcanzar temperaturas típicas de 121 °C bajo una presión de aproximadamente 15 psi (libras por pulgada cuadrada), se genera vapor saturado que penetra en los materiales para esterilizar, provocando la desnaturalización de proteínas y la destrucción de estructuras celulares. Este proceso asegura la esterilización completa de los objetos introducidos en la cámara, siempre que se cumplan los parámetros de carga, tiempo, presión y temperatura adecuados.

En el caso de INCIENSA, el uso de las autoclaves varía según el tipo de material:

- **Disoluciones:** se realiza usualmente un ciclo de esterilización por día, cuidando que no se alteren las propiedades fisicoquímicas de las soluciones.

- Cristalería de laboratorio: se somete a entre tres y cuatro ciclos diarios, ya que su uso es constante en los procesos analíticos.
- Material de desecho: se esteriliza en dos a tres cargas al día, como parte del manejo seguro de residuos potencialmente infecciosos antes de su disposición final.

Cada ciclo de esterilización tiene una duración aproximada de entre 55 minutos y una hora con 10 minutos, dependiendo del volumen de carga, tipo de material y programa seleccionado en el equipo. Estos ciclos incluyen fases de calentamiento, exposición al vapor y enfriamiento, las cuales son controladas automáticamente por el sistema de la autoclave, para garantizar resultados consistentes y seguros.

Cámaras de flujo laminar

Las cámaras de flujo laminar son equipos diseñados para proporcionar un entorno de trabajo estéril y libre de partículas, mediante la generación de un flujo de aire filtrado de forma continua y unidireccional. Son ampliamente utilizadas en laboratorios microbiológicos, farmacéuticos, de biotecnología y de análisis clínico, especialmente en tareas que requieren la manipulación de muestras sensibles o libres de contaminación, como cultivos celulares, siembras microbiológicas, preparación de medios o fraccionamiento de productos estériles.

Figura 6.

Cabina de flujo laminar vertical



Nota. Elaboración propia (2025).

El principio de funcionamiento de estas cámaras se basa en la filtración de aire a través de filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air), capaces de retener hasta el 99.97% de las partículas mayores a 0.3 micras. El aire es aspirado desde el ambiente, impulsado por un ventilador de alta eficiencia, y pasa a través del filtro HEPA antes de ser dirigido de forma laminar (en líneas paralelas) hacia la superficie de trabajo. Este flujo constante de aire limpio evita la entrada de partículas del exterior y desplaza hacia fuera cualquier contaminante generado dentro de la cámara, reduciendo así el riesgo de contaminación cruzada.

Existen dos tipos principales de cámaras de flujo laminar:

- Horizontales, donde el aire fluye de forma paralela a la superficie de trabajo desde el fondo hacia el frente.
- Verticales, donde el flujo de aire desciende desde la parte superior hacia la base de la cabina.

En cuanto al tiempo de uso, las cámaras de flujo laminar suelen emplearse durante periodos variables del día, dependiendo del volumen de trabajo del laboratorio. En centros como INCIENSA, estas cabinas pueden utilizarse por intervalos de dos a seis horas diarias, ya que su funcionamiento está directamente relacionado con las tareas de preparación y manipulación estéril.

Aunque su consumo energético es moderado en comparación con equipos de refrigeración o esterilización, las cámaras de flujo laminar incluyen componentes como ventiladores, iluminación fluorescente o LED, y en algunos casos, tomas eléctricas auxiliares, por lo que el uso prolongado durante varias horas al día puede representar un consumo energético significativo a lo largo del tiempo, especialmente si no se apagan cuando no están en uso.

Por esta razón, es recomendable aplicar buenas prácticas operativas, como encender la cámara solo cuando sea necesario, apagarla al finalizar las actividades, y realizar mantenimientos periódicos para garantizar la eficiencia del sistema de ventilación y la integridad de los filtros HEPA.

Centrífugas

Las centrífugas de laboratorio son equipos electromecánicos diseñados para separar los componentes de una mezcla, generalmente líquidos, mediante la aplicación de fuerza centrífuga. Este proceso es fundamental en áreas como la biología molecular, microbiología, hematología, química clínica y procesamiento de muestras, donde se requiere la separación de fases -por ejemplo, células sanguíneas del plasma, precipitados de una solución, o fracciones celulares-.

El principio de funcionamiento se basa en el giro a alta velocidad de un rotor que contiene tubos o frascos con las muestras. Al girar, la fuerza centrífuga empuja los componentes más densos hacia el fondo del tubo, mientras que los menos densos se concentran en la parte superior. El rotor puede alcanzar velocidades que varían según el tipo de centrífuga, desde

2,000 hasta más de 15,000 revoluciones por minuto (rpm) en modelos de alta velocidad, o incluso mayores en las centrífugas ultrarrápidas.

Existen distintos tipos de centrífugas, entre ellas:

- Centrífugas de mesa (básicas): utilizadas para aplicaciones rutinarias, como análisis de sangre.
- Centrífugas refrigeradas: permiten mantener temperaturas bajas durante la operación, lo cual es crucial para muestras sensibles al calor.
- Centrífugas de alta velocidad y ultracentrífugas: utilizadas en investigaciones más avanzadas, como el fraccionamiento de orgánulos celulares.

En el caso de laboratorios como los de INCIENSA, las centrífugas se utilizan de forma intermitente durante la jornada, dependiendo del volumen de procesamiento de muestras. Por lo general, su tiempo de uso diario puede oscilar entre una a tres horas, distribuidas en múltiples ciclos cortos de centrifugación que pueden durar entre 5 a 20 minutos cada uno.

En cuanto al consumo energético, las centrífugas no representan una carga eléctrica tan alta como los equipos de refrigeración o calor constante. Sin embargo, los picos de energía durante el arranque y el frenado del rotor, así como el funcionamiento del sistema de refrigeración (en los modelos que lo tienen), pueden elevar momentáneamente el consumo. Por esta razón, se recomienda ubicar estos equipos en áreas con ventilación adecuada y conectarlos a tomas con protección eléctrica, para evitar fluctuaciones de tensión.

Analizadores

Los analizadores de laboratorio son equipos especializados diseñados para realizar mediciones automatizadas y precisas de parámetros fisicoquímicos o biológicos en muestras clínicas o ambientales. Dependiendo de su tipo, pueden analizar componentes como glucosa, electrolitos, proteínas, ácidos nucleicos, microorganismos u otros compuestos químicos específicos.

Funcionan mediante distintos principios analíticos como fotometría, espectrofotometría, electroquímica, inmunoensayo o técnicas de biología molecular. Están compuestos por módulos que incluyen sistemas de muestreo automático, reactivos, mezclado, lectura óptica o electrónica, y procesamiento de datos por medio de un sistema computarizado interno.

En centros como INCIENSA, estos equipos operan generalmente durante la jornada laboral completa (6-8 horas al día), especialmente en laboratorios de análisis clínico, microbiología o química analítica. Su consumo energético puede ser considerable, ya que requieren energía continua para el procesamiento, control electrónico, pantallas, y, en algunos casos, refrigeración de reactivos.

Agitadores

Los agitadores de laboratorio son equipos utilizados para mezclar, homogeneizar o mantener en suspensión soluciones y muestras líquidas en recipientes como tubos, frascos y matraces. Existen varios tipos, entre ellos los agitadores orbitales, de vaivén, magnéticos, de vórtex y rotatorios, dependiendo de la aplicación específica.

Operan mediante un motor eléctrico que genera movimiento controlado, y en algunos casos incorporan sistemas de calefacción o refrigeración integrados. Son esenciales en procesos de preparación de reactivos, incubación de cultivos, o en análisis fisicoquímicos donde la mezcla homogénea es crítica.

El tiempo de uso varía según la tarea, pudiendo funcionar desde 15 minutos hasta varias horas al día. El consumo energético es relativamente bajo, salvo en modelos que incorporan elementos térmicos o refrigeración, en cuyo caso se incrementa.

Computadoras

Las computadoras son equipos esenciales para el procesamiento de datos, operación de sistemas de laboratorio, comunicación y almacenamiento de información. Incluyen CPU, monitores, periféricos y, en algunos casos, UPS (sistemas de respaldo de energía).

El consumo energético de una computadora de escritorio promedio oscila entre 100 y 250 W/h, dependiendo de los componentes. En centros como INCIENSA, suelen estar operativas entre 6 y 10 horas diarias, lo que representa un consumo energético constante y acumulativo, especialmente si no se apagan fuera del horario laboral.

Luminarias

Las luminarias o sistemas de iluminación son dispositivos eléctricos utilizados para iluminar las áreas de trabajo, pasillos, laboratorios y oficinas. En entornos institucionales modernos, se emplean principalmente lámparas LED, que ofrecen alta eficiencia energética y larga vida útil.

El consumo energético depende del tipo de luminaria (fluorescente, LED, incandescente), su potencia (medida en watts), y el tiempo de encendido diario. En edificios como INCIENSA, las luminarias pueden permanecer encendidas hasta 12 horas al día, lo que representa un consumo importante si no se optimiza el uso mediante sensores de movimiento, temporizadores o protocolos de apagado programado.

Generador

El generador eléctrico es un equipo de respaldo que convierte energía mecánica en energía eléctrica mediante un motor de combustión interna (diésel o gasolina), asegurando el suministro durante fallas de la red eléctrica. Es fundamental para garantizar la continuidad operativa de laboratorios y sistemas críticos como refrigeración, servidores o sistemas de seguridad.

Figura 7.

Generador de levante de INCIENSA



Nota. Elaboración propia (2025).

Los generadores están compuestos por un motor, alternador, sistema de control automático de transferencia (ATS), sistema de refrigeración y batería de arranque. Aunque su operación es eventual, su consumo de combustible y emisión de gases puede ser alto, por lo que se recomienda usarlo solo en condiciones necesarias o en pruebas de funcionamiento programadas.

Alimentación Eléctrica de INCIENSA

El Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA) cuenta con una infraestructura eléctrica distribuida mediante un sistema centralizado de baja tensión (480/277 V), alimentado a través de una acometida principal proveniente de la red pública de distribución eléctrica de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). El punto de entrada de energía está ubicado en la subestación principal, donde se encuentra un transformador tipo pedestal, trifásico, de 500 kVA, con una relación de transformación de 34.5

kV a 480/277 V. Este transformador está conectado a la red de media tensión mediante un conjunto de cuchillas seccionadoras y fusibles de protección en el lado primario.

Desde el transformador, la energía eléctrica es conducida hacia el Tablero General de Distribución (TGD), el cual funge como el punto central de distribución para todas las cargas del complejo. El TGD está provisto de interruptores termomagnéticos que controlan las salidas hacia los distintos tableros seccionales ubicados en los diferentes edificios que componen la finca.

A partir del TGD, se derivan múltiples circuitos de alimentación que atienden las necesidades específicas de cada edificación:

El Edificio Administrativo cuenta con su propio tablero seccional, desde el cual se alimentan las oficinas, equipos de cómputo, luminarias, aires acondicionados y otros servicios generales.

El Edificio de Virología y el Edificio de Biología Molecular están conectados por medio de una canalización subterránea que llega a un tablero seccional (TS-1), desde donde se distribuye la energía a los laboratorios y equipos científicos que requieren alimentación continua y estable.

El Edificio de Análisis Clínicos y Bromatología, así como el área de laboratorios especializados, también reciben energía directamente desde el TGD mediante interruptores independientes.

Asimismo, la Planta de tratamiento de aguas residuales y el sistema de bombeo cuentan con una derivación exclusiva, dado que requieren operación autónoma y continua para garantizar el tratamiento de efluentes.

Como parte de la estrategia de continuidad operativa, INCIENSA dispone de un generador eléctrico de emergencia, accionado por motor diésel, el cual se activa automáticamente en caso

de falla del suministro principal. Este generador está conectado a un sistema de transferencia automática (ATS) que conmuta la fuente de energía desde la red hacia el generador, asegurando el funcionamiento ininterrumpido de las cargas críticas, como los laboratorios de microbiología, refrigeradores, incubadoras, sistemas informáticos y equipos de acondicionamiento.

Complementariamente, toda la instalación eléctrica está protegida mediante un sistema de puesta a tierra tipo malla, diseñado para disipar corrientes de falla y garantizar la seguridad de las personas, equipos e infraestructura. Este sistema está vinculado a todos los tableros principales y secundarios, cumpliendo con los requerimientos normativos vigentes en materia de seguridad eléctrica.

En resumen, el sistema eléctrico de INCIENSA ha sido diseñado para ofrecer confiabilidad, seguridad y capacidad de respaldo, permitiendo así el desarrollo continuo de actividades científicas y administrativas sin interrupciones, lo cual es esencial para el cumplimiento de su misión institucional.

Horarios de consumo de INCIENSA

INCIENSA, como institución dedicada a labores científicas y de salud pública, opera con una gran variedad de equipos especializados distribuidos en sus diferentes áreas. Esta diversidad tecnológica hizo indispensable la realización de un diagnóstico energético preciso, como parte de una estrategia para optimizar el uso de la energía y fomentar la eficiencia operativa. Con este fin, se llevó a cabo una inspección detallada en las distintas zonas del edificio, con el objetivo de identificar los equipos en funcionamiento y registrar el tiempo diario en horas o minutos en que son utilizados. Este levantamiento de información permitió calcular de manera más exacta el consumo energético total de la institución, sirviendo como base para futuras acciones de mejora.

Fue fundamental reconocer que existían equipos que debían permanecer encendidos de manera continua, las 24 horas del día, los siete días de la semana. Entre estos se encontraban los refrigeradores, congeladores, incubadoras y sistemas de aire acondicionado de precisión, los cuales cumplían funciones críticas en la conservación de equipos, muestras, reactivos y cultivos. Estos equipos representaban una parte importante del consumo base de energía de la institución.

Por otra parte, hubo equipos cuyo funcionamiento se restringía al horario laboral, como los aires acondicionados, las luminarias, así como los equipos de cómputo y de oficina en general. El encendido y apagado de estos dispositivos está directamente relacionado con la jornada de trabajo del personal administrativo y técnico, lo que permitió definir con mayor claridad sus patrones de consumo.

Adicionalmente, muchos equipos de laboratorio presentaban un uso variable, que dependía directamente del flujo de trabajo y de la demanda de análisis o procedimientos específicos. Para estos casos, se realizó una estimación del tiempo promedio de operación diaria o semanal, con base en la cantidad de muestras procesadas y los métodos utilizados en cada laboratorio. Algunos equipos analíticos requerían el uso de reactivos e insumos de alto costo, lo cual influyó en su forma de operación. En estos casos, se optó por agrupar varios análisis en una sola sesión de trabajo, con el fin de minimizar el desperdicio de recursos y optimizar el consumo energético asociado.

Con el fin de conocer de mejor manera el tiempo de uso de cada uno de los equipos de laboratorio, se consultó con una Dra. encargada del Aseguramiento de la calidad y con un técnico del Área de Servicios técnicos de laboratorio. Este enfoque integral permitió no solo conocer el comportamiento energético de INCIENSA, sino también identificar oportunidades de mejora en la gestión y eficiencia del uso de sus equipos, especialmente aquellos de alto consumo o uso prolongado.

Consumo Energético

En INCIENSA se utilizan dos tipos principales de energía primaria: electricidad y diésel. Este último se emplea específicamente para el funcionamiento de los vehículos, las chapeadoras, el sistema de supresión de incendios y para la operación del generador eléctrico de respaldo. Por su parte, la energía eléctrica es utilizada para alimentar todos los demás sistemas y equipos de la institución, incluyendo los destinados a actividades administrativas, operativas y de laboratorio.

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre el consumo de energía eléctrica y el consumo energético asociado al uso de diésel, se procedió a recopilar información pertinente. Para ello, se consultó con el jefe de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento, quien proporcionó los datos disponibles relacionados con el uso energético institucional, permitiendo así una mejor comprensión del perfil de consumo energético de INCIENSA.

Consumo de Combustible

En cuanto al consumo de diésel, se contó con registros históricos de facturación correspondientes a años anteriores, los cuales detallan las compras realizadas de este combustible. A partir de dicha información, se accedió a la página oficial de RECOPE para obtener los precios vigentes del diésel durante el año en análisis. Con estos datos y considerando el poder calorífico del diésel equivalente a 45,57 MJ/kg o 37,64 MJ/L (RECOPE, 2025), se realizó una estimación mensual del consumo energético en términos de energía térmica, permitiendo cuantificar de manera aproximada la contribución del diésel al consumo energético total de la institución.

Tabla 3

Costo de Diésel según precios históricos de RECOPE.

Mes	Precio del Diésel por Litro
ene-24	₡ 632.00
feb-24	₡ 609.00
mar-24	₡ 638.00
abr-24	₡ 638.00
may-24	₡ 624.00
jun-24	₡ 611.00
jul-24	₡ 600.00
ago-24	₡ 619.00
sept-24	₡ 575.00
oct-24	₡ 565.00
nov-24	₡ 565.00
dic-24	₡ 556.00
Promedio Anual	₡ 602.67

Nota. Elaboración propia (2025).

A través de la Tabla 3 se presenta el comportamiento mensual del precio del diésel en Costa Rica durante el año 2024, información obtenida de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). Esta tabla permite observar la variabilidad en los precios a lo largo del año, reflejando las fluctuaciones del mercado internacional de hidrocarburos y los ajustes tarifarios locales. Con base en estos datos, se determinó que el precio promedio del litro de diésel durante el periodo analizado fue de ₡602,67 (seiscientos dos colones con sesenta y siete céntimos).

Este valor promedio sirvió como referencia para calcular el volumen aproximado de diésel adquirido por INCIENSA durante el año, utilizando como insumo principal los registros de

facturación asociados a la compra de combustible. A partir de esta estimación, fue posible cuantificar el consumo energético atribuible al uso de diésel dentro de la institución. Este análisis permite no solo conocer el comportamiento histórico del consumo, sino también establecer una base para futuras estrategias de eficiencia energética y reducción de emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles.

Tabla 4

Consumo de Diésel en Inciensa

Litros de Diésel consumidos al mes	Energía consumida al mes (MJ)	Energía consumida al mes (kWh)
154.94	5831.78	1619.938362

Nota. Elaboración propia (2025).

Consumo de Energía Eléctrica

INCIENSA posee una alimentación eléctrica que es proveniente de la red pública de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, con una Tarifa de Media Tensión (T MT). La energía ingresa a través de un transformador pedestal trifásico de 500 kVA (34.5 kV a 480/277 V), ubicado en la subestación principal y protegido mediante cuchillas seccionadoras y fusibles. Desde el transformador, la energía se dirige al Tablero General de Distribución (TGD), que actúa como nodo central para la distribución eléctrica del complejo, por medio de interruptores termomagnéticos que controlan los circuitos hacia los tableros seccionales en cada edificio. Estos circuitos alimentan las distintas necesidades energéticas de las edificaciones del centro.

Tabla 5

Datos del servicio de CNFL

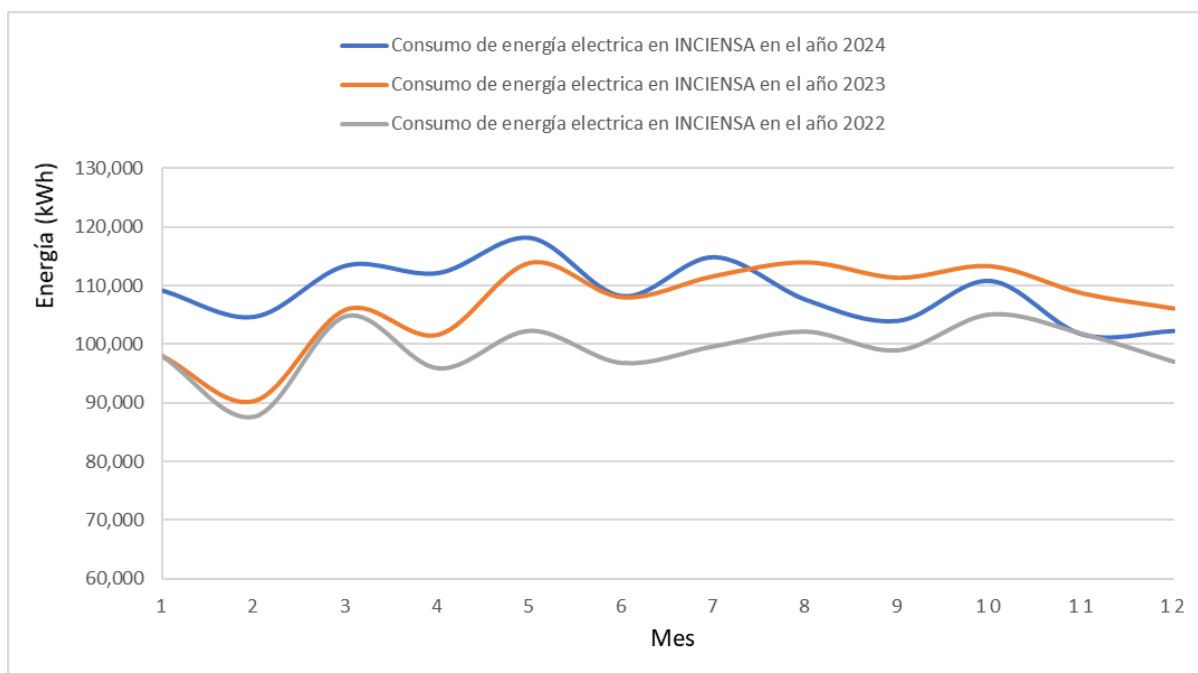
Subestación	Circuito	Localización	Número de medidor
154.94	5831.78	8615860760	1619.938362

Nota. Elaboración propia (2025).

La Figura 8 muestra el comportamiento del consumo de energía eléctrica que se tuvo durante los años fiscales 2022, 2023 y 2024 en las instalaciones de INCIENSA, basándose en los datos suministrados por el jefe de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento.

Figura 8

Comportamiento del consumo eléctrico en INCIENSA desde el año 2022 al año 2024



Nota. Elaboración propia (2025).

El gráfico presentado en la Figura 8 muestra la evolución mensual del consumo de energía eléctrica en INCIENSA durante los años 2022, 2023 y 2024. Se puede observar una tendencia general al alza en el consumo energético de la institución a lo largo de estos tres años. En particular, el año 2024 presenta los valores más altos en casi todos los meses en comparación con los dos años anteriores, lo que podría estar relacionado con un aumento en las actividades operativas, la ampliación de servicios o la incorporación de nuevos equipos.

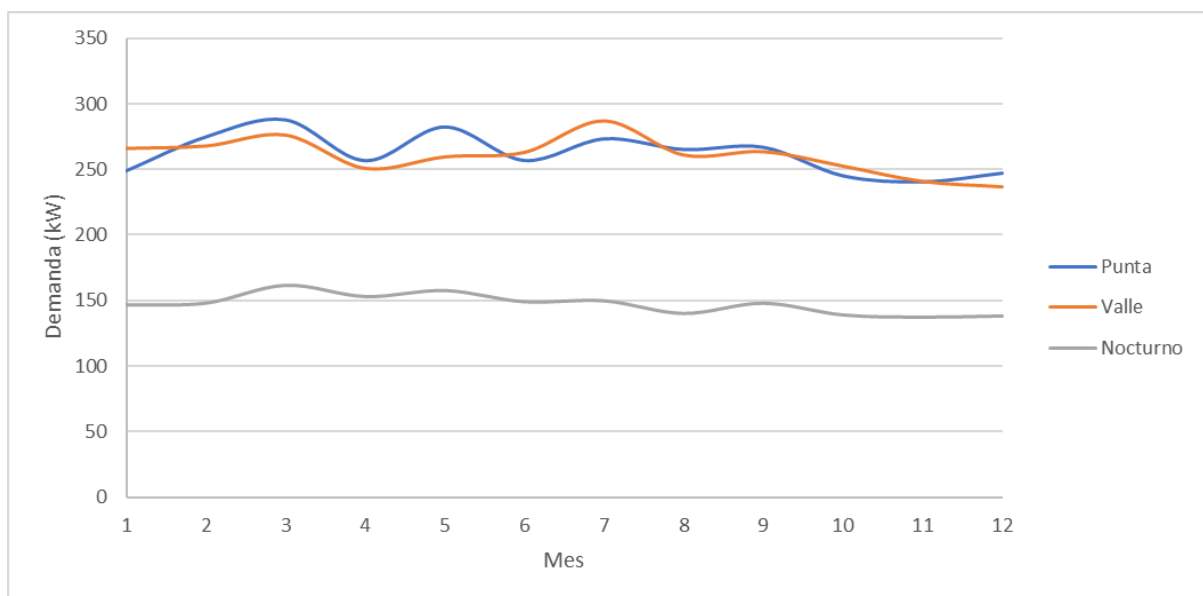
En cuanto al comportamiento mensual, se evidencia una disminución significativa del consumo energético en el mes de diciembre para todos los años analizados. Esta reducción puede atribuirse al periodo de vacaciones de fin de año, durante el cual una parte importante

del personal se ausenta, ya sea por vacaciones colectivas o por el uso de días acumulados. Como resultado, las operaciones del laboratorio disminuyen, generando una menor demanda eléctrica.

Asimismo, se nota un patrón de aumento del consumo en los meses de marzo, mayo y octubre, posiblemente vinculado a picos en la actividad institucional, como campañas sanitarias, producción de reactivos o aumentos en la carga de trabajo en áreas clave. Este tipo de análisis permite identificar oportunidades para implementar estrategias de eficiencia energética, como la programación de mantenimientos o la gestión de la carga durante los meses de mayor consumo.

Figura 9

Comportamiento de la demanda energética en INCIENSA para el año 2024



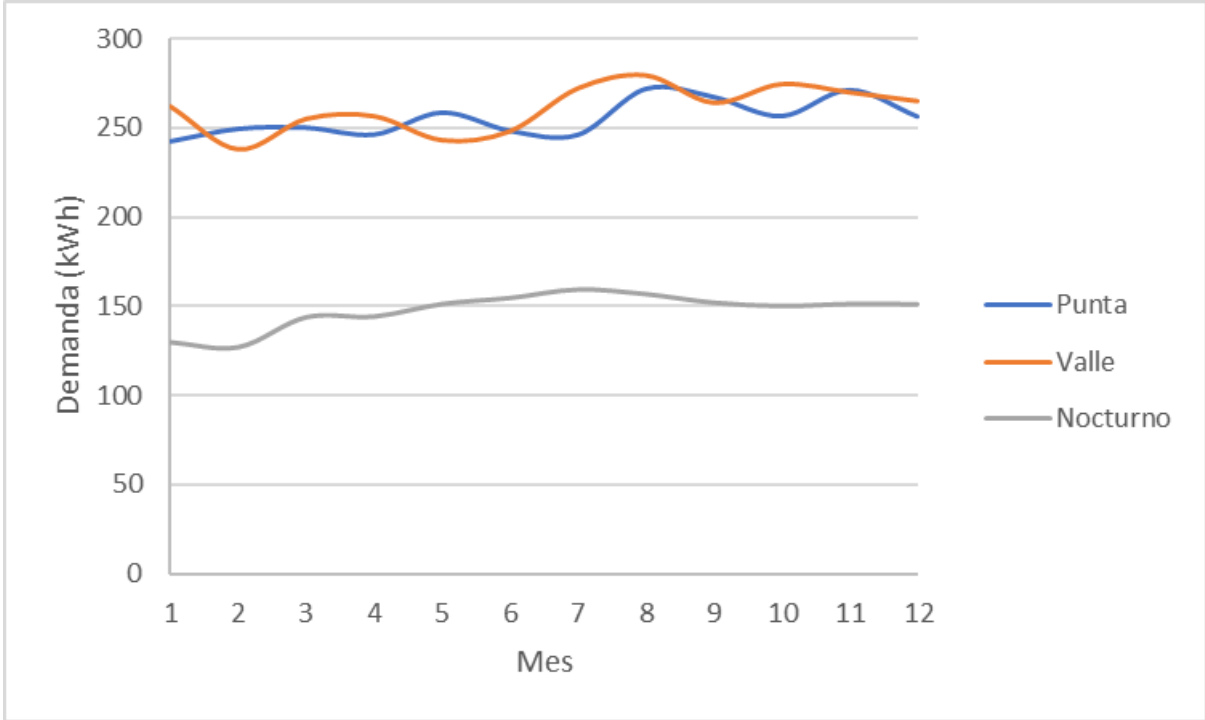
Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 9 se presenta el perfil de demanda energética de INCIENSA, donde se evidencia un comportamiento relativamente estable a lo largo del año. Se observa que los niveles de consumo durante los periodos valle y pico no presentan diferencias significativas, lo cual indica una operación continua de los procesos institucionales durante las horas laborables. Sin embargo, durante el periodo nocturno se registra una reducción considerable en la demanda

energética. Esta disminución se atribuye a la ausencia de personal en las instalaciones fuera del horario laboral, lo que conlleva a que una gran parte del equipamiento permanezca inactivo, reflejando un consumo mínimo en ese intervalo del día.

Figura 10

Comportamiento de la demanda energética en INCIENSA para el año 2023



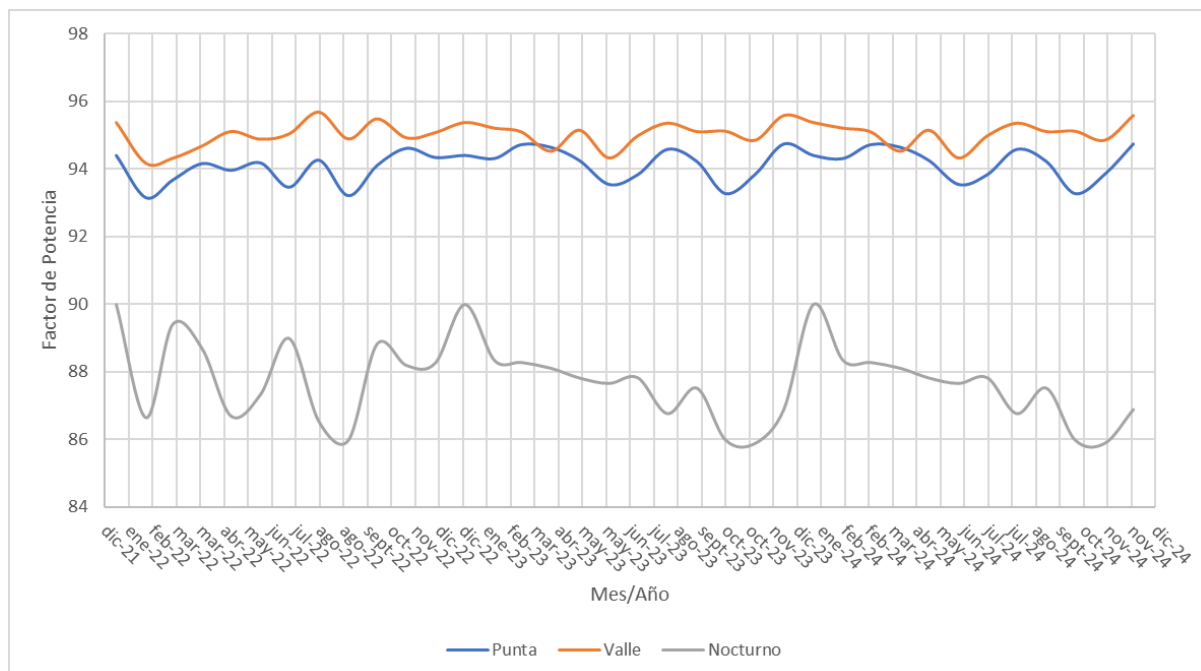
Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 10 se observa una tendencia creciente en la demanda energética, similar al consumo de energía eléctrica a lo largo del tiempo. Este comportamiento permite deducir que ambos factores han experimentado un aumento sostenido, lo cual podría estar asociado al crecimiento de las actividades operativas y al uso intensivo de equipos eléctricos dentro de la institución.

Al comparar los datos de los años 2023 y 2024, se evidencia que la demanda energética presenta patrones muy similares durante los periodos de valle y punta. No obstante, en el periodo nocturno se registra una disminución significativa en la demanda, atribuible a la ausencia de personal laborando durante esas horas.

Figura 11

Comportamiento del factor de potencia de INCIENSA, desde enero 2022, hasta diciembre de 2024



Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 11 se presenta el gráfico del comportamiento del factor de potencia en las instalaciones de INCIENSA, tomando como referencia los datos recolectados de enero 2022 a diciembre de 2024, clasificados según las tres franjas horarias de facturación eléctrica: Punta, Valle y Nocturna.

Durante el periodo analizado, el comportamiento del factor de potencia en la franja Valle fue consistentemente el más eficiente. Los valores registrados se mantuvieron mayoritariamente por encima del 94%, alcanzando en varias ocasiones niveles cercanos al 96%.

En la franja Punta, el factor de potencia también se mantuvo en rangos aceptables, oscilando entre el 93% y el 95%. Si bien se observaron algunas fluctuaciones cíclicas, estas no representan una desviación crítica, lo que indica que el sistema presenta un comportamiento relativamente estable durante las horas de máxima demanda. No obstante, se recomienda

mantener una vigilancia continua para evitar que caídas ocasionales por debajo del 93% puedan generar penalizaciones.

Por otro lado, el comportamiento del factor de potencia en la franja Nocturna presenta una situación que requiere atención inmediata. A lo largo del periodo evaluado, se registraron valores que oscilaron entre el 85.5% y el 90%, siendo frecuentes las caídas por debajo del umbral del 87%. Esta tendencia evidencia un problema estructural en la calidad del consumo energético durante la noche, posiblemente asociado a una alta proporción de cargas inductivas sin la compensación adecuada, o a la desconexión de bancos de capacitores fuera del horario laboral.

Las caídas más pronunciadas en el factor de potencia nocturno se identificaron en marzo y agosto de 2022, así como en septiembre de 2023 y agosto de 2024, lo que podría sugerir patrones operativos específicos, mantenimientos programados o fallas técnicas recurrentes en esos periodos.

Con base en este análisis, se recomienda realizar una revisión detallada del sistema eléctrico nocturno, particularmente en lo que respecta a la compensación de energía reactiva. Es fundamental evaluar si es necesario considerar la instalación de sistemas automáticos de corrección del factor de potencia que se ajusten a la variabilidad de la carga durante la noche. Asimismo, la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real contribuiría a detectar y corregir desviaciones de manera oportuna.

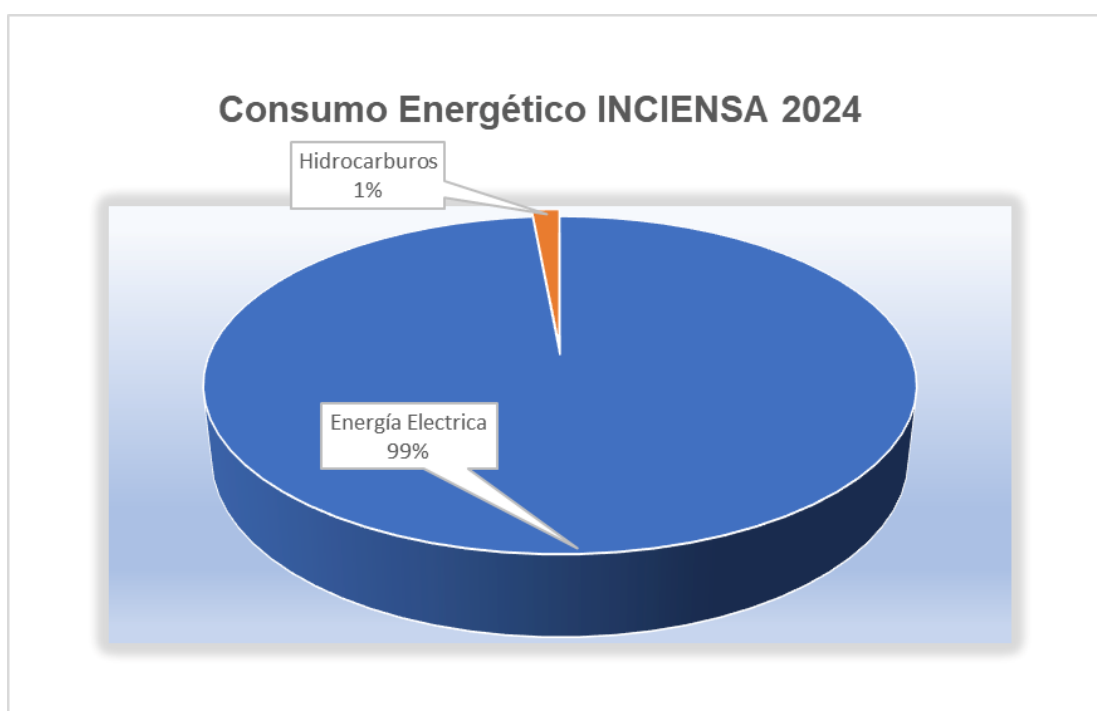
Si bien el sistema presenta un comportamiento aceptable en las franjas Punta y Valle, el rendimiento en la franja Nocturna revela oportunidades claras de mejora que, de atenderse, permitirían optimizar el desempeño energético global de las instalaciones y reducir posibles sobrecostos por penalización del factor de potencia.

Diagnóstico del Consumo de Energías Primarias

Con el propósito de comparar el consumo de energías primarias dentro de la institución, se elaboró el diagrama de pastel que se presenta en la Figura 12. Esta representación gráfica permite visualizar de forma clara y concisa la proporción de consumo correspondiente a cada tipo de energía primaria utilizada por INCIENSA. El objetivo principal de este análisis es identificar cuál de las dos fuentes energéticas evaluadas representa el mayor porcentaje de consumo, y así facilitar la toma de decisiones orientadas a una gestión energética más eficiente y sostenible.

Figura 12

Gasto energético por tipo de energía en INCIENSA en el año 2024



Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 12 se presenta la distribución del consumo de energías primarias en INCIENSA durante el año 2024, donde se evidencia una marcada predominancia del uso de energía eléctrica, la cual representa el 99% del total. Este elevado porcentaje se debe a que la

mayoría de los equipos e instalaciones del centro operan exclusivamente con este tipo de energía.

Por el contrario, el consumo de diésel apenas alcanza un 1%, y se limita a equipos específicos como vehículos, chapeadoras, el generador de emergencia y la bomba del sistema de protección contra incendios. Estos últimos dispositivos, al estar destinados a situaciones críticas, se activan únicamente durante pruebas periódicas o en eventos excepcionales, como interrupciones del suministro eléctrico o emergencias relacionadas con incendios, que ocurren con muy baja frecuencia.

Dado el escaso margen de maniobra para gestionar o reducir el consumo de combustibles fósiles en estos equipos, el modelo de gestión energética de INCIENSA se enfoca principalmente en la eficiencia y optimización del uso de la energía eléctrica, buscando maximizar su aprovechamiento, reducir pérdidas y mejorar el desempeño energético institucional.

Balances de Energía

Al emplear los datos de consumo expuesto en las secciones anteriores, se procedió a elaborar los balances energéticos correspondientes. Por medio de estos balances se puede conocer con detalle el uso y consumo que se tiene en INCIENSA, logrando una mejor comprensión de la distribución de cargas y logrando evidenciar cómo se utiliza la energía en la institución.

Balance energético por equipos de la organización

Como se observa en la Figura 12, la energía eléctrica representa aproximadamente el 99% del consumo energético total generado en INCIENSA. Por esta razón, se ha puesto un énfasis particular en el análisis de este tipo de energía.

Con el objetivo de comprender de manera más precisa el consumo energético en las distintas áreas de INCIENSA, se procedió a realizar un análisis sectorizado por zonas. A partir

del estudio de la potencia y los horarios de operación asociados a los equipos utilizados en la institución, se elaboró la siguiente tabla, en la que se estima la cantidad de energía consumida por cada tipo de equipo en funcionamiento. La Tabla 4 presentada muestra el consumo mensual de energía eléctrica por tipo de equipo en INCIENSA, expresado tanto en kilovatios hora (kWh) como en porcentaje del total general, que asciende a 114,010.60 kWh.

Tabla 6

Consumo eléctrico por tipo de equipo en INCIENSA

Equipos	Consumo Mensual (kWh)	Porcentaje
Aire Acondicionado	34,142.13	29.95%
Congeladores	26,440.10	23.19%
Refrigeradores	19,520.63	17.12%
Incubadoras	15,482.22	13.58%
Cómputo y Electrónico	5,082.00	4.46%
Cabinas	3,537.71	3.10%
Autoclaves	5,544.00	4.86%
Luminarias	2,678.72	2.35%
Hornos	741.50	0.65%
Analizadores	294.53	0.26%
Calentadores	238.72	0.21%
Centrífugas	207.10	0.18%
Agitadores	96.29	0.08%
Incineradoras	4.95	0.00%
Total	114,010.60	100.00%

Nota. Elaboración propia (2025).

El análisis y cálculo del consumo mensual de energía eléctrica en INCIENSA evidencia que la mayor demanda energética proviene del aire acondicionado, con un consumo de

34,142.13 kWh, representando el 29.95% del total. Estos equipos destacan como los principales consumidores de energía, debido a la necesidad de mantener condiciones ambientales específicas para el correcto funcionamiento de los laboratorios y la conservación de equipos.

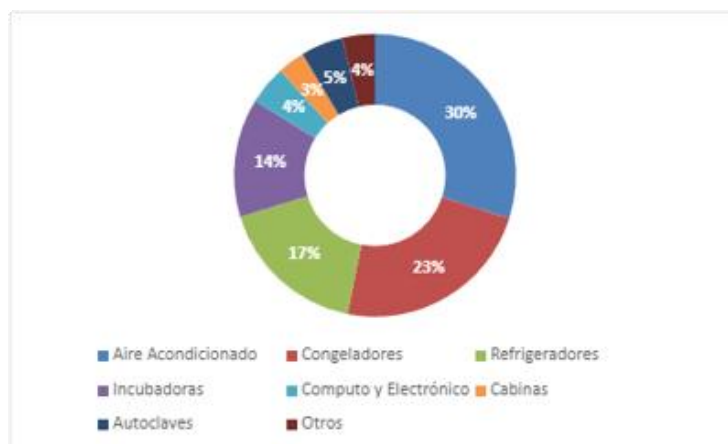
Les siguen los congeladores con 26,440.10 kWh (23.19%) y los refrigeradores con 19,520.63 kWh (17.12%), ambos esenciales para la conservación de reactivos, muestras biológicas y otros materiales de laboratorio. En conjunto, estos tres tipos de equipos concentran más del 70% del consumo total, lo que resalta su importancia operativa y su impacto energético.

En una segunda categoría de consumo se encuentran las incubadoras (13.58%), los equipos de cómputo y electrónico (4.46%), las cabinas (3.10%), y las autoclaves (4.86%), los cuales también desempeñan funciones críticas en las actividades científicas y administrativas de la institución.

Los demás equipos presentan un consumo considerablemente menor, siendo los agitadores, las centrífugas, los calentadores, los analizadores, los hornos y las luminarias los que representan menos del 5% del total en conjunto. Las incineradoras registran el menor consumo energético, con solo 4.95 kWh mensuales, lo cual representa un 0.00% del total.

Figura 13

Diagrama de pastel del consumo energético por tipo de equipo en INCIENSA en el año 2024



Nota. Elaboración propia (2025).

El consumo energético en INCIENSA está fuertemente concentrado en equipos de climatización y conservación térmica. Esta información resulta clave para identificar oportunidades de optimización energética, como la implementación de sistemas más eficientes o la gestión inteligente del uso de estos equipos de alto consumo. También puede guiar la priorización de acciones dentro de programas de eficiencia energética institucionales.

Balance energético por zonas de la organización

INCIENSA cuenta con diversos centros de referencia, donde se llevan a cabo pruebas y procedimientos fundamentales para la salud pública del país. Con el objetivo de comprender las necesidades energéticas específicas de cada uno de estos espacios, se realizó una división de las cargas por zona. Este enfoque permite identificar cuáles áreas concentran una mayor proporción del consumo total de energía dentro de la institución, facilitando así una gestión energética más eficiente y focalizada.

Tabla 7*Consumo eléctrico por área en la institución*

Sección de la Institución	Energía Mensual (kWh)	Porcentaje
Área Congeladores	2,299.76	2.02%
Casa Máquinas	418.54	0.37%
CNR Bacteriología	14,870.44	13.04%
CNR Bromatología	18,538.45	16.26%
CNR Entomología	2,418.29	2.12%
CNRIMA	15,533.24	13.62%
CNR Leptospirosis	2,772.82	2.43%
CNR		
Micobacteriología	8,181.88	7.18%
CNR Parasitología	8,527.29	7.48%
CNR Química Clínica	2,340.56	2.05%
CNR Virología	17,358.44	15.23%
Dirección		
Administrativa	2,195.76	1.93%
Financiero Contable	467.16	0.41%
Nutrición	1,149.35	1.01%
Proveeduría	431.83	0.38%
Recursos Humanos	726.63	0.64%
Regencia Química	1,900.14	1.67%
Servicio al Cliente	1,409.22	1.24%
Unidad de Servicios Técnicos	7,355.71	6.45%
Unidad de TI	4,656.41	4.08%
Unidad de Ingeniería y Mantenimiento	458.68	0.40%
Total	114,010.60	100.00%

Nota. Elaboración propia (2025).

El análisis del consumo energético mensual por secciones dentro de INCIENSA revela una distribución claramente dominada por los Centros Nacionales de Referencia (CNR), los cuales concentran la mayor parte de la demanda eléctrica, debido a la naturaleza intensiva de sus actividades técnicas y científicas.

La sección con mayor consumo es el CNR de Bromatología, con 18,538.45 kWh, lo que representa el 16.26% del consumo total. Esta cifra refleja el uso constante de equipos especializados para el análisis de alimentos y sustancias químicas. Le sigue el CNR de Virología, con 17,358.44 kWh (15.23%), una unidad crítica que requiere refrigeración continua, incubación y procesamiento de muestras altamente sensibles.

El CNRIMA, encargado de estudios en alimentos, ocupa la tercera posición con 15,533.24 kWh (13.62%), seguido por el CNR de Bacteriología, que consume 14,870.44 kWh (13.04%). Estas cuatro unidades representan juntas más del 58% del consumo energético institucional, lo que pone de manifiesto su peso operativo y la relevancia de intervenir prioritariamente en estas áreas para mejorar la eficiencia energética.

En un segundo nivel se encuentran el CNR de Parasitología y el CNR de Micobacteriología, con 8,527.29 kWh (7.48%) y 8,181.88 kWh (7.18%), respectivamente. También destaca la Unidad de Servicios Técnicos, con un consumo de 7,355.71 kWh (6.45%), lo que se justifica por su función transversal de soporte a las diferentes áreas operativas.

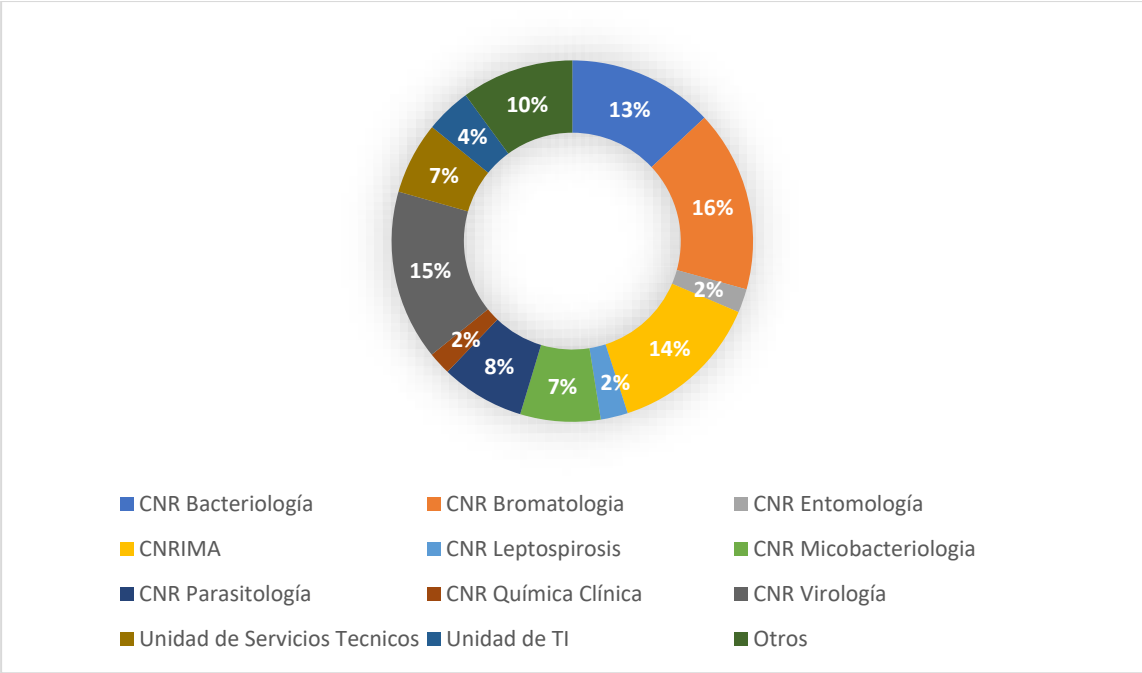
El área de TI, responsable de la infraestructura tecnológica, consume 4,656.41 kWh (4.08%), reflejando el funcionamiento constante de servidores, equipos de respaldo y sistemas de red. Por su parte, el área de congeladores, utilizada para almacenamiento especializado, registra un consumo de 2,299.76 kWh (2.02%), lo cual es coherente con su uso continuo.

Las zonas administrativas como Dirección Administrativa, Recursos Humanos, Servicio al Cliente, Regencia Química y Nutrición presentan consumos más moderados, entre el 1% y el 2%, mientras que áreas como Financiero Contable, Proveeduría, Casa de Máquinas y Unidad de Ingeniería y Mantenimiento tienen consumos menores al 0.5% del total. Este patrón es consistente con el perfil de uso energético de oficinas, donde predominan equipos de cómputo, iluminación y aire acondicionado en menor escala.

En términos generales, esta distribución del consumo permite identificar con claridad las áreas de mayor impacto energético dentro de INCIENSA. La priorización de medidas de eficiencia debe centrarse en los laboratorios de análisis (CNR), donde el reemplazo de equipos obsoletos, la optimización de horarios de operación y la automatización de procesos pueden generar importantes ahorros. Paralelamente, en las áreas administrativas se pueden fomentar prácticas de ahorro como el uso racional del aire acondicionado, la iluminación eficiente y las campañas de concientización para el uso responsable de la energía.

Figura 14

Diagrama de pastel del consumo energético por zona en INCIENSA en el año 2024



Nota. Elaboración propia (2025).

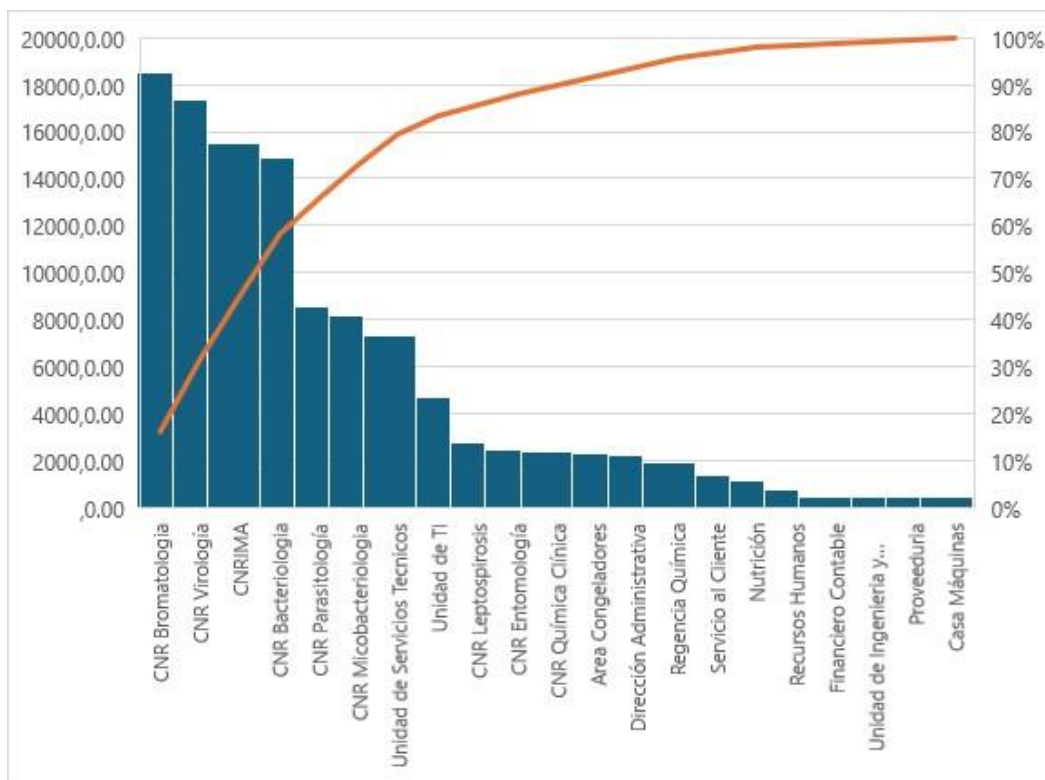
Usos significativos de la energía

Con el fin de identificar los usos significativos de la energía de INCIENSA, se analizaron todas las zonas en las que se divide la empresa y, posteriormente, para cada área se analizaron los tipos de equipos que hay, las cantidades de estos y el consumo energético que representan,

donde se observó que en los Centros Nacionales de Referencia (CNR), junto con el área de la Unidad de Servicios Técnicos, es donde se concentra el mayor consumo.

Figura 15

Diagrama de Pareto del consumo por áreas de la institución



Nota. Elaboración propia (2025).

El análisis del diagrama de Pareto, correspondiente al consumo energético en las distintas unidades del INCIENSA, permite identificar de manera clara las áreas que concentran la mayor parte del gasto energético institucional. Este gráfico de la Figura 15, basado en el principio de Pareto (también conocido como regla 80/20), revela que un pequeño número de unidades consume un porcentaje significativo del total de energía utilizada, lo cual es crucial para orientar un modelo eficiente de gestión energética.

Entre las unidades con mayor consumo se encuentran CNR Bromatología, CNR Virología, CNRMA, CNR Bacteriología y CNR Parasitología. Estas cinco áreas por sí solas representan más del 60% del consumo total, según lo refleja la curva acumulativa del diagrama.

Esta concentración de consumo indica que cualquier esfuerzo por mejorar la eficiencia energética debe enfocarse prioritariamente en estas zonas, ya que presentan el mayor potencial de ahorro y retorno sobre la inversión en medidas correctivas o de mejora tecnológica.

En un segundo grupo se ubican unidades como la Unidad de Servicios Técnicos, la Unidad de Tecnologías de Información, CNR Leptospirosis y CNR Entomología. Aunque su consumo es inferior al del grupo anterior, sigue siendo significativo, por lo que también deben ser consideradas en etapas posteriores de intervención. Por último, se identifican áreas con un consumo energético relativamente bajo, tales como Casa Máquinas, Proveduría, Unidad de Ingeniería y Mantenimiento, así como los departamentos Financiero Contable, de Recursos Humanos y Nutrición. Si bien estas áreas no constituyen un foco principal, es importante no excluirse completamente del modelo de gestión, porque la eficiencia global también depende de la mejora continua en todos los niveles.

El énfasis en las zonas de mayor consumo se justifica por varias razones. En primer lugar, intervenir en estas áreas puede generar una reducción considerable en el consumo total, ya que concentran la mayor parte de la demanda energética. En segundo lugar, permite que el modelo de gestión de la energía se diseñe con un enfoque estratégico, orientado por datos concretos que reflejan la realidad operativa de la institución. En tercer lugar, cualquier inversión en tecnologías más eficientes, automatización, monitoreo con dispositivos IoT o mantenimiento predictivo será más rentable si se aplica en zonas donde el consumo es más elevado. Además, al priorizar estas áreas en auditorías energéticas, se facilita la identificación de oportunidades de mejora relacionadas con el uso de equipos, los horarios operativos, la climatización y otros factores determinantes del consumo.

La implementación de medidas correctivas en estas unidades contribuirá de forma significativa a la reducción de costos operativos y a la mejora del desempeño ambiental institucional. Este enfoque está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible,

especialmente aquellos vinculados con la eficiencia energética, el uso responsable de recursos y la acción frente al cambio climático. En consecuencia, para el desarrollo de un modelo de gestión energética efectivo en el INCIENSA, resulta fundamental iniciar con un diagnóstico detallado de las unidades con mayor consumo, priorizando en ellas la aplicación de tecnologías, estrategias de eficiencia y acciones de mejora continua.

Oportunidades de mejora energética

Durante la auditoría energética realizada, se identificaron diversas oportunidades de mejora orientadas a la reducción del consumo eléctrico y a la optimización del uso de la energía, con el objetivo de avanzar hacia una gestión energética más eficiente y consciente. Estas oportunidades abarcan tanto deficiencias técnicas como aspectos operativos que pueden ser corregidos o mejorados.

Sistemas de Climatización

Una de las áreas más críticas corresponde al sistema de climatización, específicamente los equipos de aire acondicionado, que representan uno de los mayores consumos energéticos en las instalaciones de INCIENSA. Se detectó la presencia de múltiples unidades antiguas o tecnológicamente obsoletas, lo que representa una oportunidad para sustituirlos por modelos más eficientes, como los equipos tipo inverter, los cuales ajustan dinámicamente su capacidad de enfriamiento, reduciendo así significativamente el consumo energético.

Uno de los hallazgos está relacionado con los sistemas de refrigeración, particularmente los congeladores, refrigeradores e incubadoras, los cuales representan una carga energética constante y crítica para los procesos del laboratorio. En varios de estos equipos se observó que cuentan con tecnologías antiguas o no optimizadas para un funcionamiento eficiente. En este sentido, se recomienda considerar su sustitución progresiva por modelos más eficientes energéticamente, preferiblemente aquellos que cuenten con certificaciones de eficiencia, compresores inverter y sistemas de refrigeración con gases ecológicos.

Otra oportunidad importante consiste en verificar y mejorar el aislamiento térmico de estos equipos. La revisión del estado de las gomas de sellado de las puertas es crucial para evitar fugas de aire frío. Del mismo modo, se recomienda reducir al mínimo las aperturas innecesarias o prolongadas de las puertas, ya que estas acciones comprometen la estabilidad térmica y aumentan el trabajo del compresor.

Luminarias

También se detectaron oportunidades de mejora en el sistema de iluminación, específicamente con la presencia de lámparas fluorescentes, que podrían ser reemplazadas por luminarias LED de alta eficiencia. Este cambio no solo contribuye a una reducción del consumo energético, sino que también mejora la calidad de la iluminación y reduce los costos de mantenimiento, debido a la mayor vida útil de las luces LED.

Factor de potencia nocturno

En el desarrollo de la auditoría energética, se identificó una oportunidad importante de mejora relacionada con el factor de potencia, especialmente durante las horas nocturnas. El factor de potencia es un indicador que refleja qué tan eficientemente se está utilizando la energía eléctrica. Un valor ideal se aproxima a 1.0 (o 100%), lo cual indica que casi toda la energía suministrada por la red está siendo convertida en trabajo útil. Sin embargo, en el caso de INCIENSA, se observó que, durante ciertos períodos, particularmente en las noches, cuando la carga activa disminuye, el factor de potencia se reduce significativamente.

Este comportamiento tiene diversas consecuencias técnicas y económicas. Desde el punto de vista técnico, un bajo factor de potencia provoca que las líneas eléctricas transporten más corriente de la necesaria para una misma cantidad de energía útil, lo cual genera sobrecarga en conductores, pérdidas por efecto Joule (calor) en los cables, caída de tensión y un menor aprovechamiento de la capacidad instalada de transformadores y generadores. Esto reduce la

vida útil de los equipos eléctricos, y puede derivar en fallos prematuros o necesidad de sobredimensionamiento de la infraestructura eléctrica.

Desde el punto de vista económico, la empresa distribuidora de electricidad impone penalizaciones tarifarias cuando el factor de potencia cae por debajo de un umbral mínimo (0.90), ya que la red debe transportar más potencia aparente (kVA) para entregar la misma potencia activa (kW). Esto se traduce en un aumento innecesario en la facturación eléctrica, sin un incremento real en la productividad o en el uso efectivo de la energía.

Para mitigar este problema, se propone realizar un análisis más detallado del comportamiento del factor de potencia en función de las cargas conectadas a lo largo del día. Como acción correctiva, se recomienda la instalación de bancos de capacitores automáticos o programables, que permitan la compensación dinámica de la energía reactiva, especialmente en horarios donde las cargas inductivas (como motores, refrigeración o iluminación) son menores. Esta medida no solo permitirá evitar penalizaciones, sino que también contribuirá a mejorar la estabilidad de la red interna, reducir pérdidas energéticas y optimizar el uso de la capacidad instalada.

Equipos de Monitoreo

Finalmente, se recomienda ampliar la instalación de equipos de monitoreo de energía eléctrica, similares a los que ya se encuentran en operación, para lograr una supervisión más completa del consumo en tiempo real. Además, se plantea como medida clave la homologación de los sistemas de monitoreo existentes, de modo que todos los equipos puedan integrarse en una misma plataforma de análisis y visualización de datos. Esto facilita la toma de decisiones informadas, el análisis comparativo entre áreas, y la generación de reportes automáticos que ayuden a dar seguimiento a las medidas implementadas.

Capítulo II: Línea de base e indicadores energéticos

En este capítulo se presentan los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) y las líneas de base energética, como parte del proceso de cuantificación del desempeño energético de INCIENSA. Para su determinación, se utilizaron variables como la cantidad de muestras procesadas, la energía consumida, tanto eléctrica como de combustibles fósiles, y las emisiones de CO₂ generadas. La definición de estos parámetros se realizó conforme a las directrices establecidas por la norma ISO 50006:2014. Los datos utilizados para la implementación de este objetivo fueron proporcionados por el jefe de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento.

Definición de los IDEn y Líneas de Base Energética

Para cuantificar y dar seguimiento al desempeño energético de INCIENSA, se definieron los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) y las líneas de base energética, tomando en cuenta las características operativas y los procesos críticos que la institución desarrolla como parte de su labor en salud pública. Estas actividades incluyen el análisis microbiológico, químico y molecular de muestras clínicas, alimentarias, ambientales y de agua, así como la vigilancia epidemiológica y la evaluación de riesgos sanitarios, los cuales requieren una infraestructura altamente especializada y un consumo energético significativo.

Con base en estos procesos, se identificaron y analizaron las variables que inciden directamente en el consumo de energía, con el propósito de establecer parámetros de referencia que permitan evaluar mejoras o variaciones en el desempeño energético. La principal fuente de energía en INCIENSA es la electricidad, razón por la cual la mayoría de los IDEn propuestos se centran en este tipo de consumo. Sin embargo, también se consideró el uso de combustibles fósiles en actividades como la operación de vehículos institucionales, chapeadoras, el grupo electrógeno y la bomba de supresión de incendios. Aunque su impacto en el consumo total es

menor en comparación con la electricidad, estos equipos son esenciales para el funcionamiento integral de la institución y, por tanto, fueron incorporados en el análisis energético.

IDEn Establecidos

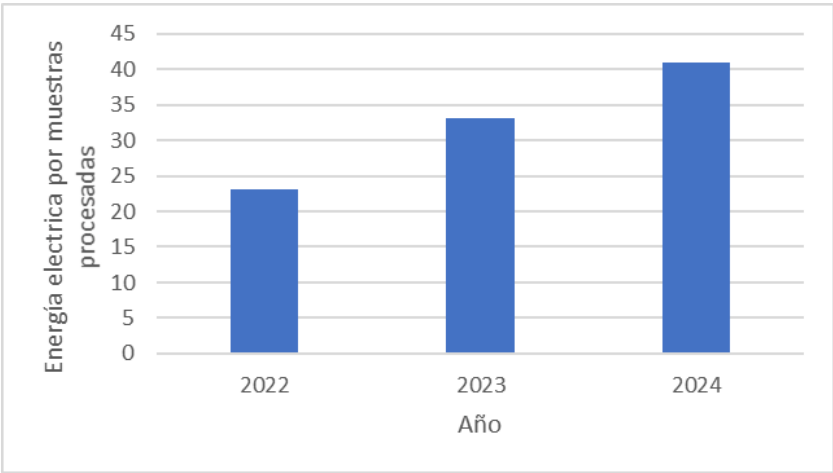
Energía eléctrica consumida por muestras procesadas

Uno de los indicadores propuestos para el modelo de gestión de la energía es la relación entre la energía eléctrica consumida y la cantidad de muestras procesadas en INCIENSA. Este indicador se construye a partir de los datos proporcionados por el jefe de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento, lo que permite analizar la correlación entre ambas variables. Su importancia radica en que la principal actividad productiva de la institución es el procesamiento de muestras, por lo que este indicador facilita evaluar el consumo energético en función del volumen de producción registrado durante los últimos tres años.

$$IDEn\ 1 = \frac{Energía\ (kWh)}{Muestras\ procesadas\ (unidades)}\ (3)$$

Figura 16

IDEn, Energía eléctrica consumida por cantidad de muestras procesadas



Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 16 se presenta el comportamiento estimado del consumo energético por muestra procesada en INCIENSA durante los últimos tres años. A partir del análisis de los datos históricos, se observa que, en promedio, se consumieron aproximadamente 32,4 kWh por cada muestra procesada. No obstante, se evidencia una tendencia al alza en el consumo específico de energía por muestra a lo largo del periodo analizado, lo que indica un aumento progresivo en la cantidad de energía requerida para procesar una misma unidad de producción.

Este comportamiento podría estar relacionado con diversos factores, como el envejecimiento de los equipos, una mayor complejidad en los análisis realizados, o el aumento de la cantidad de equipos en uso de la institución. Por lo tanto, este indicador resulta fundamental para identificar oportunidades de mejora en la gestión energética institucional, y establecer acciones correctivas orientadas a optimizar el uso de los recursos.

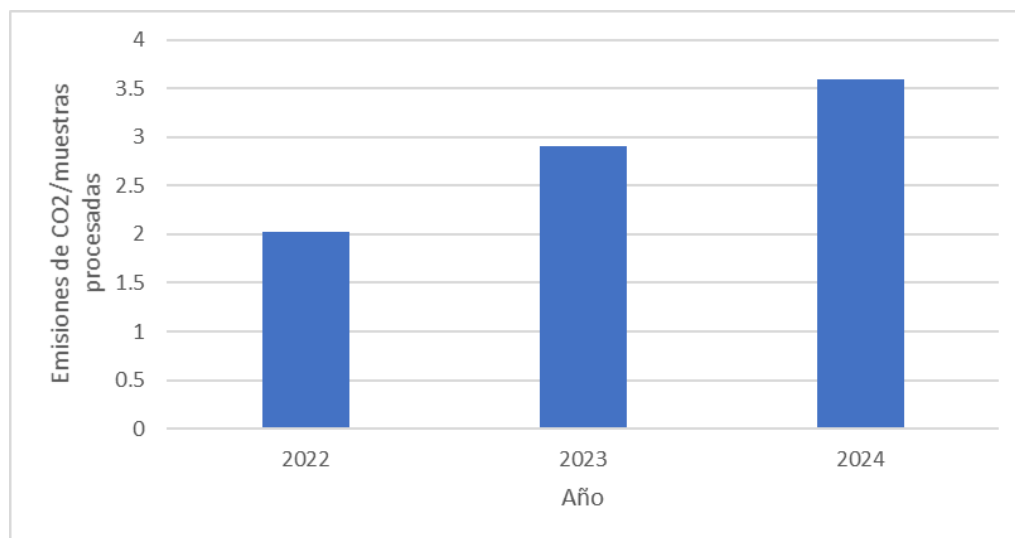
Emisiones de CO₂ contra cantidad de muestras procesadas

Este indicador permite evaluar la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono generadas por las operaciones de INCIENSA en relación con la cantidad de muestras procesadas. Su objetivo es cuantificar el impacto ambiental por unidad de producción, facilitando el seguimiento de la huella de carbono institucional y apoyando la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad.

$$IDEn\ 2 = \frac{Emisiones\ de\ CO_2\ (kg)}{Muestras\ procesadas\ (unidades)} \quad (4)$$

Figura 17

IDEn, emisiones de CO₂ contra cantidad de muestras procesadas



Nota. Elaboración propia (2025).

En la Figura 17 se observa que, en promedio, por cada muestra procesada en INCIENSA se emiten aproximadamente 2,84 kilogramos de dióxido de carbono (CO₂) al ambiente. Este valor refleja la intensidad de las emisiones asociadas al consumo energético institucional, tanto eléctrico como de combustibles fósiles, durante los procesos de análisis y diagnóstico. El indicador es de gran relevancia para la gestión ambiental, ya que permite dimensionar la huella de carbono generada por la actividad productiva del laboratorio, y constituye una herramienta clave para establecer metas de reducción de emisiones, identificar áreas críticas de consumo y promover el uso de tecnologías más limpias y eficientes.

Establecimiento de LBE_n

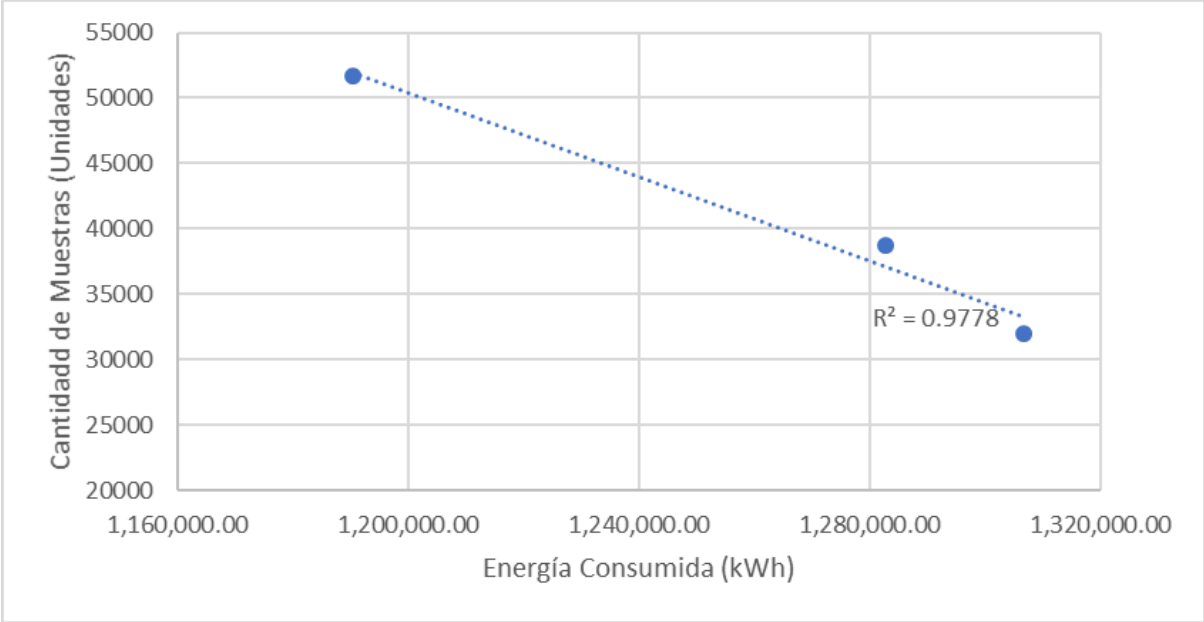
LBE_n, energía eléctrica consumida por muestras procesadas

Esta línea base permite visualizar cómo varía el consumo de energía eléctrica en relación con la cantidad de muestras procesadas en INCIENSA. Fue construida a partir de la

comparación entre los kilovatios hora (kWh) consumidos anualmente y el número de muestras procesadas desde el año 2022, lo que proporciona una referencia útil para evaluar el desempeño energético institucional a lo largo del tiempo.

Figura 18

LBE_n, Energía eléctrica consumida por cantidad de muestras procesadas



Nota. Elaboración propia (2025).

El gráfico de la Figura 18 muestra una clara relación inversamente proporcional entre la energía eléctrica consumida (kWh) y la cantidad de muestras procesadas en INCIENSA. Es decir, a medida que aumenta el consumo energético, disminuye la cantidad de muestras procesadas. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9778$) indica que existe una fuerte correlación lineal negativa entre ambas variables. Este comportamiento podría estar asociado a diversos factores, como el envejecimiento de los equipos, el incremento en la complejidad de los análisis realizados, o el aumento en la cantidad de equipos operando en la institución.

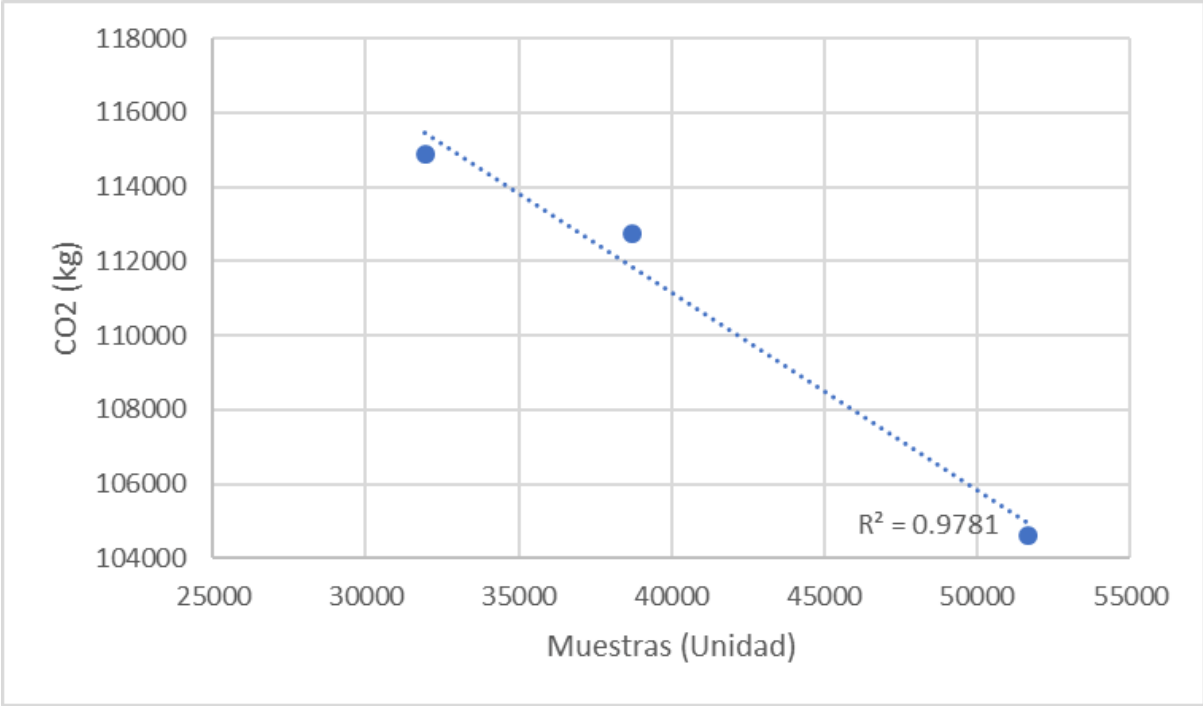
LBE_n emisiones de CO₂ contra cantidad de muestras procesadas

Esta línea base establece la relación entre la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el consumo energético institucional y el número de muestras procesadas en INCIENSA durante un periodo determinado. Su propósito principal es medir el

impacto ambiental relativo de las operaciones del instituto, en función de su productividad técnica.

Figura 19

IDEn, emisiones de CO₂ contra cantidad de muestras procesadas



Nota. Elaboración propia (2025).

El gráfico de la Figura 19 presenta la relación entre las emisiones totales de CO₂ (kg) y la cantidad de muestras procesadas en INCIENSA durante tres periodos consecutivos. La línea de tendencia muestra una clara pendiente descendente, lo cual indica que, a medida que aumenta la cantidad de muestras procesadas, las emisiones de CO₂ tienden a disminuir.

El valor de R² = 0.9781 refleja una correlación negativa muy fuerte y consistente entre ambas variables, lo que significa que el modelo explica casi la totalidad de la variabilidad observada en los datos.

Capítulo III: Prototipo del sistema de monitoreo en tiempo real y plan piloto para el aprovechamiento de equipos de medición

En este capítulo se presenta el diseño, construcción, calibración y validación de un prototipo de sistema de monitoreo de consumo eléctrico en tiempo real. El sistema desarrollado emplea un sensor de corriente no invasivo (modelo SCT-013) que envía señales analógicas a un microcontrolador Arduino UNO. Este, mediante un programa específico, procesa las señales y muestra los datos en una pantalla LCD de 16x2. Adicionalmente, se almacena la información en una tarjeta microSD por medio de un módulo Ethernet Shield.

La prueba del prototipo se llevó a cabo en un equipo de aire acondicionado tipo split, seleccionado por su significativa participación en el consumo energético del sistema, y en atención a la limitación del sensor, cuya capacidad máxima es de 100 A. Esta decisión permitió evitar sobrecargas, como las que podría generar un chiller.

Las mediciones obtenidas permitieron trazar el perfil de demanda del equipo durante su operación normal. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos con los de un amperímetro de gancho digital, evidenciando un margen de error bajo y validando así la funcionalidad del prototipo. Finalmente, se identificaron áreas de mejora para una futura implementación y escalamiento del sistema.

Diseño del Prototipo

Para la construcción del prototipo, se utilizaron los componentes listados en la Tabla 8, donde se detalla la función específica de cada uno dentro del sistema.

Tabla 8*Lista de componentes electrónicos para el prototipo*

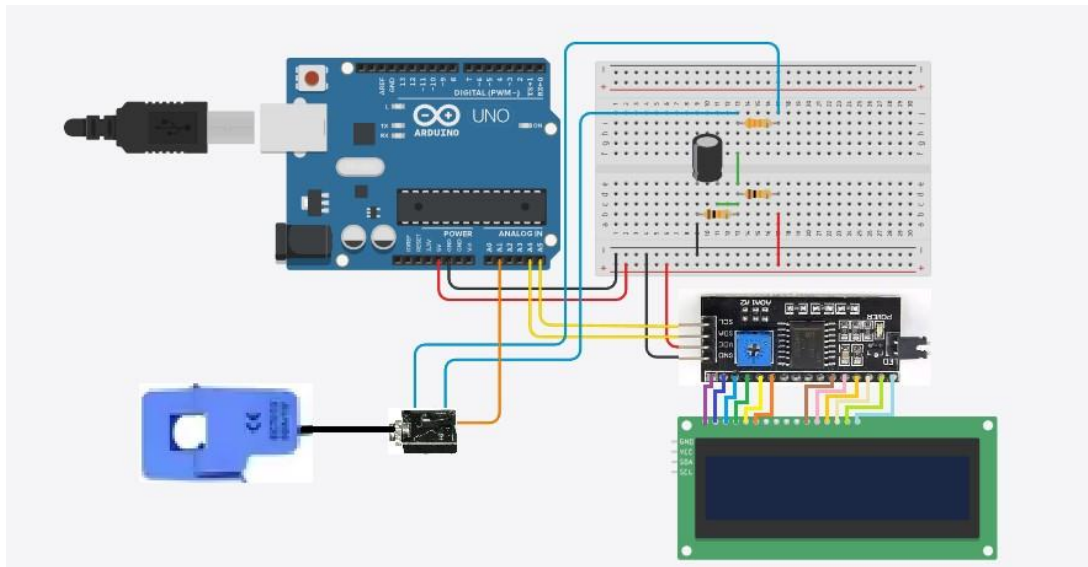
Componente Electrónico	Cantidad	Función
Adaptador de corriente (1.2 A)	1	Fuente de alimentación para el circuito
Arduino UNO	1	Microcontrolador encargado de procesar y visualizar las señales
Cable USB macho-B	1	Alimentación del Arduino desde fuente externa
Condensador 10 μ F 50V	1	Funciona de offset DC en el circuito de entrada
Ethernet Shield W5100	1	Facilita la conexión a microSD y a la red local
Jack hembra 3.5 mm	1	Interfaz de conexión con el sensor
Jumpers macho-macho	11	Interconexión de componentes
Módulo I2C	1	Permite la comunicación eficiente entre el Arduino y la pantalla LCD
Pantalla LCD 16x2	1	Muestra en tiempo real el valor de la corriente medida
Protoboard	1	Permite el ensamblaje sin soldadura de los componentes
Resistencia 33 Ω	1	Resistencia de carga para el sensor
Resistencias 10 k Ω	2	Forman parte del circuito divisor de voltaje
Sensor de corriente SCT-013 (100A)	1	Mide la corriente alterna de forma no invasiva
Tarjeta microSD	1	Almacena los datos medidos

Nota. Elaboración propia (2025).

El ensamblaje del prototipo se realizó siguiendo el diagrama de conexión mostrado en la Figura 20. Todos los componentes fueron instalados dentro de una caja de plexo con dimensiones de 220 x 170 x 190 mm, diseñada para proteger el circuito y permitir su uso en campo.

Figura 20

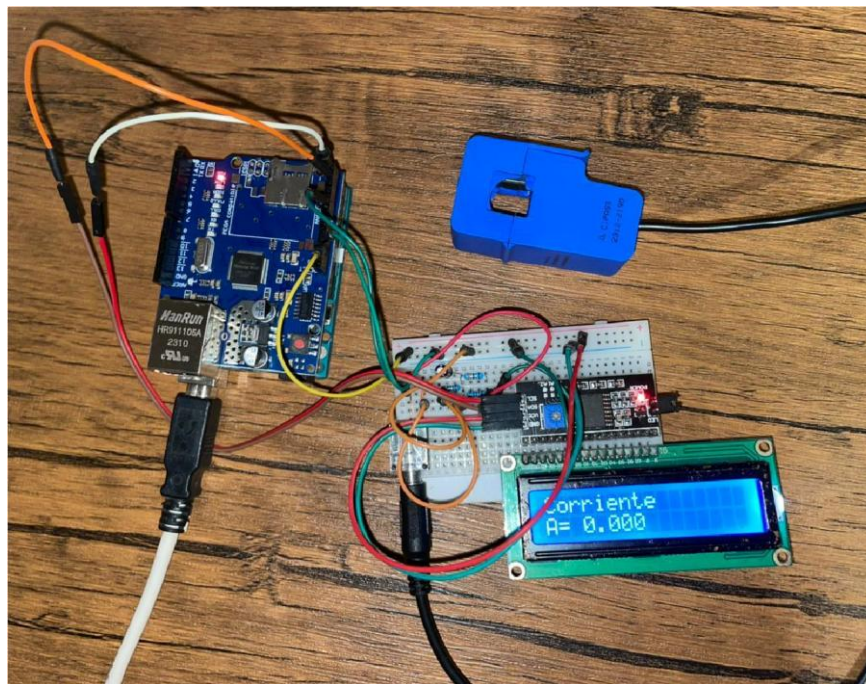
Diagrama de conexión del sistema de monitoreo en tiempo real



Nota. Elaboración propia (2025).

Figura 21

Ensamblaje del prototipo de medición



Nota. Elaboración propia (2025).

El código que gestiona la adquisición de datos, su procesamiento y posterior visualización/almacenamiento se encuentra en el Apéndice.

Construcción del Prototipo

Selección de la Resistencia de Carga

La resistencia de carga convierte la señal de corriente de salida del sensor SCT-013 en una señal de voltaje adecuada para ser interpretada por el microcontrolador. Esta se selecciona considerando la corriente máxima que se espera medir.

Dado que el sensor SCT-013 admite hasta 100 A y tiene una relación de transformación de 2000:1, se aplican los siguientes cálculos:

$$I_{pico\ primario} = I_{rms} \times \sqrt{2} = 100A \times \sqrt{2} = 141.42 A \quad (5)$$

$$I_{pico\ secundario} = \frac{I_{pico\ primario}}{Relación\ transformación} = \frac{141.42 A}{2000} = 0.07071 A \quad (6)$$

$$R_{carga\ ideal} = \frac{\frac{AREF}{2}}{I_{pico\ secundario}} = \frac{\frac{5V}{2}}{0.07071 A} = 35,36\Omega \quad (7)$$

Debido a que 35.4 Ω no es un valor comercial estándar, se utilizó la resistencia más cercana disponible, que es de 33 ohmios.

Circuito de Acondicionamiento de Señal

Para adaptar la señal analógica del sensor al rango del Arduino (0-5V), se añadió un offset de 2.5V mediante un divisor resistivo con dos resistencias de 10 k Ω y un condensador de 10 μ F. Este circuito asegura una correcta interpretación de la señal alterna centrada.

Calibración del Sensor SCT-013

Al utilizar la resistencia de carga de 33 Ω , se determinó la constante de calibración por medio de la siguiente relación:

$$Constante = \frac{I_{rms\ primario}}{\frac{I_{rms\ secundario}}{R_{carga}}} = \frac{100\ A}{\frac{0.050A}{35.36\Omega}} = 56.56\ (8)$$

Esta constante fue utilizada en el código de Arduino y posteriormente verificada mediante la comparación con mediciones reales.

Validación del Prototipo

Se realizó una prueba comparativa entre el prototipo y el amperímetro digital Fluke 325. Los valores obtenidos mostraron una desviación porcentual mínima, como se indica en la Tabla 9.

Figura 22

Amperímetro digital Fluke 325



Nota. Elaboración propia (2025).

Tabla 9

Comparación de mediciones entre prototipo y Fluke 325

Prototipo de Medición	Fluke 325	% Error
0.213 A	0.20 A	6.5

Nota. Elaboración propia (2025).

Etapa de Medición en Campo

Se seleccionó un equipo de aire acondicionado tipo split para llevar a cabo la medición, debido a que su corriente a plena carga es inferior a 100 A. La instalación del prototipo se realizó en el seccionador del equipo, conectando el sensor al conductor de la línea de alimentación.

Figura 23

Split medido con el prototipo (condensadora)

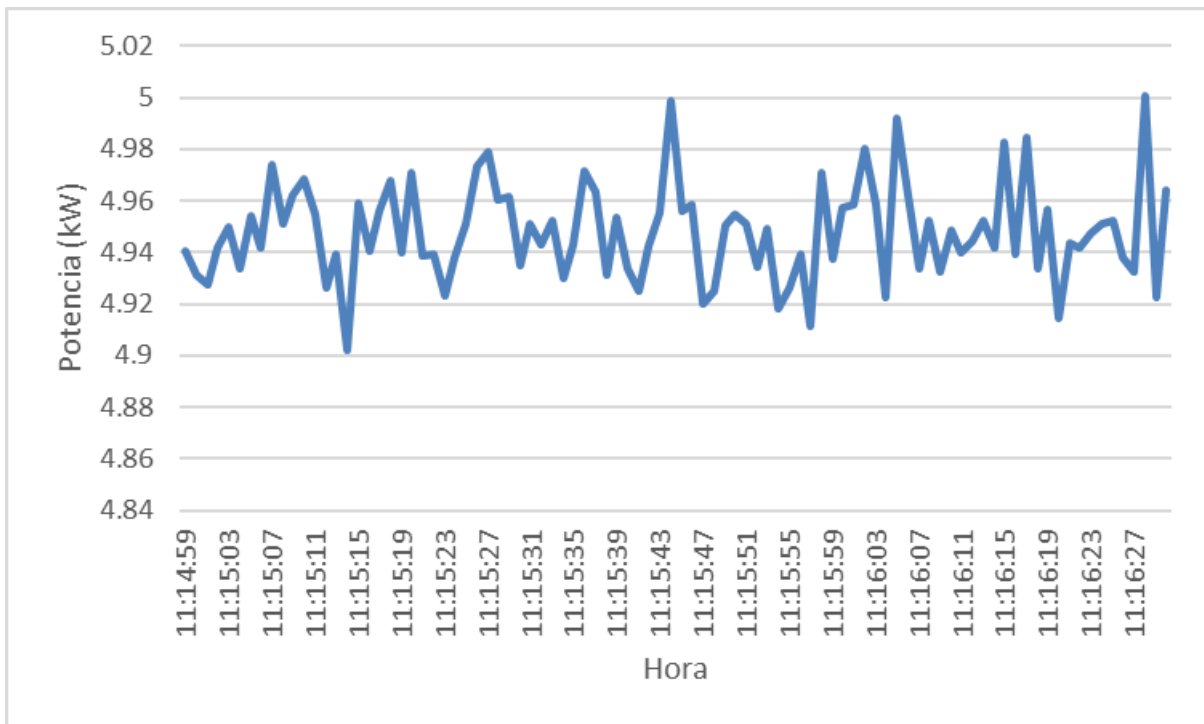


Nota. Elaboración propia (2025).

Se registró la corriente cada segundo y se calculó la demanda eléctrica, considerando un voltaje de 208V y un factor de potencia de 0.91. La Figura 24 muestra el comportamiento del consumo del equipo.

Figura 24

Perfil de demanda del equipo split medido con prototipo



Nota. Elaboración propia (2025).

Para validar la exactitud de las mediciones realizadas con el prototipo de monitoreo energético, se procedió a consultar la ficha técnica del fabricante del equipo, específicamente del modelo de condensadora DAIKIN McQuay GSX13-CP. El objetivo fue contrastar los datos registrados con los valores de consumo energético esperados bajo las condiciones reales de operación.

En dicha ficha técnica se establece que, para condiciones ambientales similares a las de la zona donde opera el equipo -considerando variables como la temperatura ambiente y la configuración de operación de la unidad-, el consumo energético promedio de la condensadora debe rondar los 4,97 kW. Este valor de referencia coincide de forma muy cercana con las mediciones obtenidas por el prototipo desarrollado, lo cual permite concluir que los datos recopilados son confiables y representativos del consumo real del equipo.

Este tipo de verificación técnica resulta fundamental para validar la precisión de sistemas de medición en campo, y refuerza la utilidad del prototipo como herramienta de monitoreo energético en tiempo real (Daikin McQuay, s.f.).

Oportunidades de Mejora del Prototipo

Integración de IoT

La incorporación del Internet de las Cosas permitiría transmitir los datos en tiempo real a una plataforma web, eliminando la dependencia de la microSD o la visualización local en pantalla. Esto puede lograrse aprovechando el módulo Ethernet Shield W5100, o migrando a un microcontrolador con WiFi (como ESP32).

Medición de Voltaje

Actualmente, el sistema asume un voltaje constante. La adición de un sensor como el ZMPT101B permitiría obtener una medición directa del voltaje y, así, calcular la potencia con mayor precisión.

Medición Trifásica

Para ampliar el rango de aplicación a instalaciones trifásicas, se recomienda incluir dos sensores SCT-013 adicionales y tres sensores de voltaje. Ello permitiría evaluar el balance de carga entre fases y detectar anomalías.

Mejora del Encapsulado

El diseño actual del prototipo dificulta la visualización de datos sin abrir la caja. Se sugiere diseñar una carcasa personalizada con la impresora 3D de la Unidad de Ingeniería y Mantenimiento, que permita integrar la pantalla LCD en la tapa frontal, mejorando la ergonomía y la usabilidad del dispositivo.

Plan piloto para aprovechar equipos de medición instalados

En el contexto actual, donde la eficiencia energética, la sostenibilidad y la digitalización de procesos son elementos clave para la gestión moderna de infraestructuras, INCIENSA cuenta con equipos de medición y monitoreo eléctrico avanzados que, si bien ya están instalados, no están siendo utilizados para la toma de decisiones energéticas ni para el análisis de la calidad del suministro eléctrico. Este plan piloto busca plantear el uso adecuado de estos dispositivos como parte de una estrategia de gestión energética institucional.

La falta de aprovechamiento de los equipos actualmente instalados representa una oportunidad desaprovechada para la mejora continua, el mantenimiento predictivo y la eficiencia en el uso de la energía. Con el uso correcto de estos dispositivos, INCIENSA podría detectar eventos de mala calidad eléctrica que afecten equipos críticos de laboratorio, monitorear en tiempo real los consumos eléctricos por áreas, generar reportes automatizados para análisis y auditorías energéticas, y establecer una base para proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones.

Este plan piloto tiene como objetivo establecer las bases para la utilización efectiva de los equipos de medición energética ya instalados en INCIENSA, con el fin de desarrollar un sistema de monitoreo continuo que apoye la toma de decisiones técnicas, operativas y de sostenibilidad.

En INCIENSA se cuenta actualmente con tres tipos de equipos de medición eléctrica avanzados, que han sido instalados en distintos puntos de la infraestructura, pero que hasta la fecha no se han utilizado de manera activa para la recolección y análisis de datos. Esta guía plantea de forma clara y estructurada cómo deben emplearse estos dispositivos para apoyar una futura estrategia de monitoreo energético, calidad eléctrica y mantenimiento predictivo.

Medidor Schneider Electric A9MEM3255

Este dispositivo es un medidor de energía monofásico diseñado para instalaciones en riel DIN. Para comenzar a utilizarlo, es necesario verificar que esté correctamente conectado a la alimentación del circuito, y confirmar que el medidor recibe tensión adecuada (230 V AC).

Una vez energizado, el equipo permite visualizar en su pantalla digital variables como corriente, voltaje, frecuencia, potencia y consumo acumulado en kWh. Para un uso más avanzado, puede integrarse a un sistema de monitoreo remoto mediante comunicación Modbus RTU por RS-485. Se recomienda asignarle una dirección Modbus específica y configurar la velocidad de comunicación desde su menú.

Figura 25

Equipo de monitoreo de la energía A9MEM3255 de INCIENSA



Nota. Elaboración propia (2025).

Este medidor es muy útil para detectar consumos ocultos o cargas que permanecen activas fuera del horario laboral, lo que facilita la implementación de estrategias de eficiencia energética. También puede contribuir al control interno de consumo por áreas específicas.

Analizador de Calidad de Energía Eaton Power Xpert 2250 (PXM2250MA65105)

El Power Xpert 2250 es un analizador trifásico diseñado para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica. Para su utilización, se debe verificar que los transformadores de corriente (CTs) estén instalados correctamente y con la orientación adecuada. Luego, se conecta el equipo a la red de datos institucional mediante un cable Ethernet. A través de su interfaz web, accesible por medio de navegador e ingresando su dirección IP, se pueden configurar el reloj interno, los parámetros de red, y activar el registro de eventos.

Figura 26

Equipo de monitoreo de la energía PXM2250 de INCIENSA



Nota. Elaboración propia (2025).

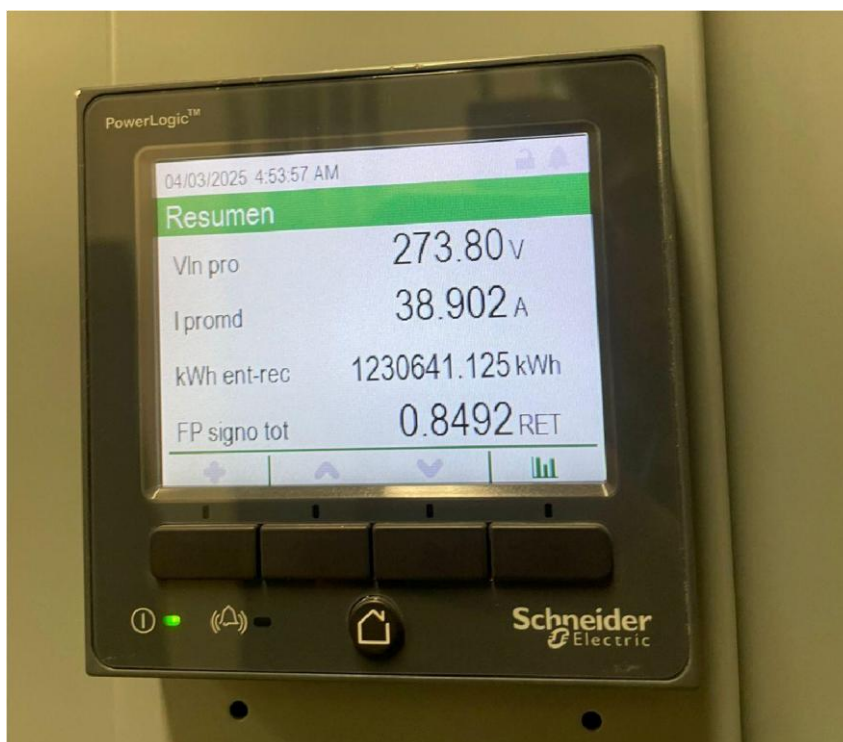
Este equipo permite visualizar en tiempo real variables como armónicos, transitorios, caídas de tensión, flicker y otros fenómenos eléctricos que pueden comprometer la operación de equipos sensibles. También permite generar reportes automáticos y establecer alarmas que notifiquen eventos críticos, lo cual resulta esencial para la prevención de daños en laboratorios, sistemas de climatización o unidades de respaldo.

Medidor PowerLogic PM8243

El PowerLogic PM8243 es un medidor trifásico avanzado que combina funciones de medición de energía con análisis de calidad eléctrica. Su uso recomendado en INCIENSA es en subtableros estratégicos que alimentan áreas críticas, como laboratorios, equipos biomédicos, sistemas de climatización o UPS.

Figura 27

Equipo de monitoreo de la energía PM8243 de INCIENSA



Nota. Elaboración propia (2025).

Antes de utilizar el equipo, se debe comprobar que las conexiones a transformadores de corriente y las fases estén correctamente configuradas, de acuerdo con el tipo de red (estrella o delta). Una vez energizado, la pantalla táctil del PM8243 permite acceder directamente a datos como potencia activa, reactiva y aparente, energía por fase, factor de potencia, armónicos y desequilibrio entre fases.

Para una gestión más robusta, este dispositivo puede integrarse a redes Modbus TCP/IP o Ethernet, y enlazarse con software como EcoStruxure Power Monitoring Expert. Desde allí, se puede programar la captura de transientes, establecer alarmas por variaciones fuera de los rangos normales y configurar el almacenamiento automático de datos históricos.

El PM8243 es especialmente útil para monitorear el rendimiento eléctrico de equipos clave y detectar condiciones anormales que puedan comprometer la eficiencia o generar fallos. Además, su memoria interna permite registrar información, incluso si se interrumpe temporalmente la conexión al software.

Observaciones

Para garantizar un aprovechamiento efectivo de estos dispositivos, se recomienda asignar personal técnico responsable de su monitoreo, configuración y análisis de datos. Es fundamental establecer una rutina de revisión periódica (semanal o mensual), y aprovechar las capacidades de cada equipo para implementar acciones correctivas o de mejora en el sistema eléctrico.

Tabla 10*Equipos Disponibles en INCIENSA y sus Características Técnicas*

Equipo	Modelo	Fabricante	Tipo de Medidor	Parámetros Medidos	Comunicación	Aplicación Recomendada
Medidor de energía monofásico	A9MEM 3255	Schneider Electric	Medidor de energía monofásico (DIN rail)	Tensión, corriente, potencia activa, energía consumida, frecuencia	Modbus RTU (RS-485)	Monitoreo de cargas monofásicas (oficinas, luminarias, áreas administrativas)
Analizador de calidad de energía	Power Xpert 2250 (PXM22 50MA65 105)	Eaton	Analizador trifásico de calidad de energía	Voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, armónicos, flicker, transitorios, desequilibrios	Ethernet, Modbus TCP/IP, BACnet/IP	Supervisión en tiempo real del suministro eléctrico principal, diagnóstico de problemas de calidad de energía
Medidor multifunción avanzado	PowerLogic PM8243	Schneider Electric	Medidor de energía trifásico avanzado	Potencia, energía, armónicos, transientes, factor de potencia, THD, desequilibrio de fases	Ethernet, Modbus TCP/IP, RS-485, BACnet	Medición en subtableros críticos (climatización, UPS, laboratorios), análisis de calidad y balance de cargas

Nota. Elaboración propia (2025).

Se sugiere llevar a cabo una capacitación básica del personal técnico en la interpretación de parámetros eléctricos clave, así como documentar las observaciones y hallazgos que se deriven del uso de estos equipos. Esto no solo permitirá una mejor gestión de la energía, sino que servirá como base para futuros proyectos de eficiencia energética, mantenimiento predictivo y sostenibilidad institucional.

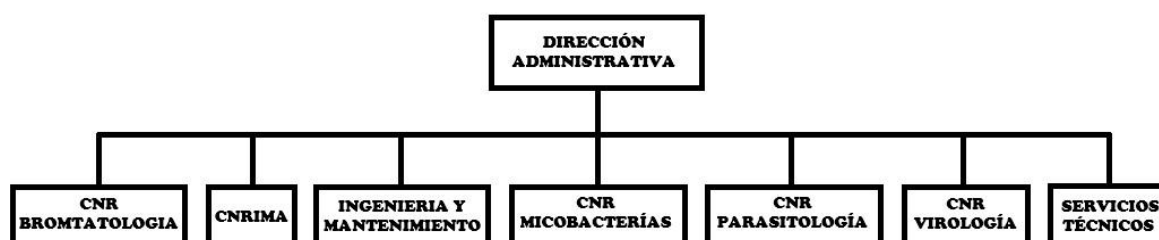
Capítulo IV: Cuadro de mando integral

La implementación de un Cuadro de Mando Integral (CMI) en INCIENSA se plantea como una herramienta estratégica clave para articular la visión institucional con una gestión energética eficaz, sustentable y alineada con los principios de mejora continua. Este modelo de gestión permite traducir los objetivos energéticos en acciones concretas, medibles y alineadas con las distintas áreas de la organización.

El CMI se estructura en torno a cuatro perspectivas fundamentales: cliente, financiera, procesos internos, y aprendizaje y crecimiento. Cada una de estas perspectivas incluye metas estratégicas, indicadores específicos, frecuencia de medición y responsables institucionales, de manera que se fomente un enfoque integral y transversal en la gestión energética.

Figura 28

Organigrama del equipo de gestión energética



Nota. Elaboración propia (2025).

La Figura 28 presenta la estructura propuesta para el Comité de Gestión de la Energía, como parte del modelo de gestión energética de INCIENSA. Se propone que este comité esté conformado por el jefe, gerente o director de cada una de las áreas representadas en el diagrama. La Dirección Administrativa debe liderar esta iniciativa, siendo el principal ente responsable de la gestión energética. El resto de los miembros deben ser representantes de las zonas de la institución con un consumo energético significativo. No obstante, es fundamental que toda la organización se involucre activamente en la gestión de la energía.

Perspectiva del Cliente

Desde la perspectiva del cliente, INCIENSA reconoce la importancia de proyectar una imagen institucional comprometida con la sostenibilidad y la eficiencia energética. Como institución pública dedicada a la protección de la salud en Costa Rica, mantener una comunicación clara y transparente sobre las acciones emprendidas en materia energética no solo fortalece la confianza de los usuarios externos, sino que también consolida la percepción institucional ante los entes rectores, los socios estratégicos y la ciudadanía.

Por tanto, se establece como meta estratégica mejorar la imagen institucional a través de la visibilización de buenas prácticas en eficiencia energética. Para lograrlo, se propone como indicador la visibilidad de las iniciativas de eficiencia energética en los canales de comunicación institucional, tales como la página web, los boletines internos, las redes sociales, y otros medios oficiales. Se pretende generar al menos cuatro comunicados o publicaciones anuales, que den cuenta de los esfuerzos realizados por la institución en materia de ahorro energético, implementación de tecnologías sostenibles o resultados obtenidos mediante auditorías energéticas.

El Departamento de Comunicación Institucional, en coordinación con el Comité Energético, será el responsable de recopilar la información relevante y difundirla, asegurando que estos mensajes reflejen con claridad los avances y el compromiso de INCIENSA con el desarrollo sostenible.

Perspectiva Financiera

Desde la perspectiva financiera, el enfoque está puesto en asegurar la sostenibilidad económica de la institución mediante una gestión eficiente de los recursos energéticos, en particular la electricidad y los combustibles utilizados en las operaciones críticas. Reducir el consumo energético no solo conlleva beneficios ambientales, sino que también representa una

oportunidad para optimizar el presupuesto institucional, liberando recursos que pueden ser reinvertidos en tecnologías de diagnóstico, infraestructura o formación del personal.

En este sentido, la meta estratégica de esta perspectiva es reducir progresivamente el gasto energético institucional, por medio de la implementación de proyectos que fomenten la eficiencia en el uso de la energía. Como principal indicador se utilizará el consumo energético total de la institución, medido en kilovatios hora (kWh) para la energía eléctrica y en litros (L) para los combustibles fósiles. La meta concreta es lograr una reducción del 3% anual, en comparación con la línea base energética establecida.

Complementariamente, se establece un segundo indicador financiero: el ahorro económico anual generado por los proyectos de eficiencia energética implementados. La meta es alcanzar un ahorro acumulado mínimo de ¢2,829,380.13 anuales, considerando tanto la reducción de consumo como los beneficios derivados de una gestión tarifaria eficiente.

El monitoreo de estos indicadores será responsabilidad de la Unidad de Mantenimiento, en conjunto con la Dirección Administrativa y Financiera, quienes deberán realizar evaluaciones periódicas basadas en los datos de facturación eléctrica, registros de consumo de combustibles y resultados de las auditorías energéticas.

Perspectiva de Procesos Internos

La perspectiva de procesos internos se orienta hacia la mejora continua de las actividades sustantivas y de apoyo que se desarrollan dentro de la institución. Dado que INCIENSA ejecuta una amplia gama de procesos complejos, como el análisis microbiológico, químico y molecular de muestras, es crucial que dichos procesos se realicen bajo condiciones energéticamente eficientes, sin comprometer la calidad técnica ni los tiempos de respuesta.

En esta línea, se establece como meta estratégica la reducción del consumo energético institucional mediante la optimización de procesos, el uso racional de la energía y la implementación de tecnologías más eficientes. Para ello, se utilizará como indicador principal

la disminución del consumo energético global de la institución, medido a través de auditorías energéticas internas anuales. Estas auditorías serán realizadas por personal capacitado o por un auditor energético externo designado por la Comisión Energética, y tendrán como objetivo identificar áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética de sistemas como la climatización, la iluminación, los equipos de laboratorio, y los de bombeo.

Además, se propone como indicador complementario el número de mejoras energéticas implementadas cada año como resultado directo de las auditorías o propuestas técnicas. La meta será ejecutar al menos tres acciones correctivas o de mejora cada año, las cuales pueden incluir desde cambios operativos, mantenimiento preventivo, hasta la sustitución de equipos por versiones más eficientes.

La responsabilidad de este componente recae en la Comisión Energética, en coordinación con la Unidad de Mantenimiento y las jefaturas de las áreas involucradas.

Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento

Por último, la perspectiva de aprendizaje y crecimiento pone énfasis en la formación, participación y motivación del personal como base fundamental para una gestión energética sostenible a largo plazo. Se reconoce que ninguna estrategia energética será exitosa sin un cambio cultural que promueva la participación activa de los colaboradores, su empoderamiento y el desarrollo de capacidades técnicas en eficiencia energética.

La meta estratégica en esta perspectiva es fomentar una cultura institucional orientada hacia el uso eficiente de los recursos energéticos, fortaleciendo el conocimiento y el compromiso del personal. En esta línea, se utilizarán dos indicadores clave.

El primero será la cantidad de horas de capacitación en eficiencia energética brindadas al personal de la institución. Se establece como meta realizar al menos una hora de capacitación semestral para cada unidad, ya sea de forma presencial o virtual, mediante charlas, talleres, o contenidos desarrollados en colaboración con expertos o instituciones aliadas. La Unidad de

Recursos Humanos será responsable de coordinar estas actividades, junto con el Coordinador Energético.

El segundo indicador será el número de propuestas de mejora energética recibidas por parte del personal, como parte de una estrategia participativa. Estas propuestas serán discutidas en las reuniones mensuales del Comité Energético, con la meta de recibir al menos cinco propuestas viables por año, de las cuales al menos una deberá ser implementada luego de su evaluación técnica.

Este enfoque contribuirá a afianzar el sentido de pertenencia, la innovación desde los distintos niveles operativos, y el compromiso transversal con la sostenibilidad y la mejora continua.

Figura 29

Cuadro de mando integral

Perspectiva	Meta Estratégica	Indicador	Frecuencia	Fuente de Información	Responsable	Ecuación	Unidad	Escala de medición		
								Alta	Media	Baja
Cliente	Mejorar la visualización del compromiso de INCIENSA con la gestión energética y la responsabilidad ambiental	Alcance de las iniciativas de eficiencia energética y su difusión en los canales de comunicación	Anual	Dirección General	Unidad de Atención al cliente	Boletines sobre la eficiencia energética y el desarrollo sostenible	Unidad	>6	6	<6
Financiera	Implementar proyectos de ahorro en INCIENSA que permita disminuir la facturación energética	Consumo de energía por muestra de INCIENSA	Anual	Factura de energía eléctrica emitida por la CNFL y datos de producción de INCIENSA	Unidad de Ingeniería y Mantenimiento	IDEn 1	kWh por muestra	< 25 kWh/muestra	25 kWh/muestra	> 25 kWh/muestra
Procesos Internos	Disminuir contaminación asociada al consumo energético de INCIENSA	Dióxido de carbono emitido por muestra	Anual	Comité de gestión energética	Dirección Administrativa	IDEn 2	CO2 por muestra	<2kg CO2/muestra	2kg CO2/muestra	>2kg CO2/muestra
Aprendizaje y Crecimiento	Fomentar un sentido de pertenencia del personal de cada área con el sistema de gestión de la energía	Charlas sobre la energía para el personal de INCIENSA	Semestral	Comité de gestión energética	Unidad de Ingeniería y Mantenimiento	Horas invertidas en charlas	Horas	>4	4	<4

Nota. Elaboración propia (2025).

Impacto en el consumo energético del modelo propuesto

La implementación de un modelo de gestión de la energía en INCIENSA puede generar un impacto significativo en la rentabilidad del negocio, al traducirse en beneficios concretos tanto económicos como estratégicos. Una adecuada gestión energética permite identificar oportunidades de ahorro, optimizar el uso de los recursos y reducir los costos operativos asociados al consumo energético. Esto se traduce directamente en una mejora de la eficiencia institucional, y en la liberación de recursos que pueden ser destinados a otras áreas prioritarias de la organización.

Además, al adoptar prácticas sostenibles y responsables en el uso de la energía, INCIENSA fortalece su imagen institucional, posicionándose como una entidad pública comprometida con la sostenibilidad y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este posicionamiento no solo mejora su reputación frente a la ciudadanía y las partes interesadas, sino que también puede abrir puertas a financiamiento verde, alianzas estratégicas y reconocimientos nacionales e internacionales.

La implementación de un modelo de gestión de la energía en instituciones públicas como INCIENSA se alinea de forma directa con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Uno de los más relevantes es el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, cuyo objetivo es garantizar el acceso a una energía fiable, sostenible y moderna para todos. En particular, la meta 7.3 establece el compromiso de “duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética para 2030” (Naciones Unidas, 2015, párr. 5). A través de una gestión energética eficiente, se pueden identificar oportunidades de ahorro, optimizar los procesos de consumo y promover el uso responsable de la energía, contribuyendo así a este objetivo global.

Asimismo, el modelo guarda estrecha relación con el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, el cual promueve infraestructuras resilientes, la industrialización sostenible y

la innovación. La meta 9.4 propone modernizar las infraestructuras y aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente en los sectores públicos e industriales. La gestión energética fomenta precisamente este tipo de mejoras, impulsando la innovación tecnológica, la adopción de sistemas inteligentes de monitoreo y el desarrollo de soluciones sostenibles (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2023).

Por otra parte, el ODS 12: Producción y consumo responsables, enfatiza la necesidad de garantizar modalidades sostenibles de consumo y producción. La meta 12.2 establece la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. Un modelo de gestión de la energía permite a las instituciones como INCIENSA planificar, medir y reducir de forma sistemática su consumo energético, disminuyendo el desperdicio y fomentando una cultura organizacional de eficiencia y responsabilidad ambiental (CEPAL, 2021).

Finalmente, el ODS 13: Acción por el clima, también se ve directamente influenciado por este tipo de iniciativas. La gestión energética contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de electricidad, especialmente si esta proviene de fuentes fósiles. Además, promueve la sensibilización del personal institucional sobre la mitigación del cambio climático, tal como lo establece la meta 13.3 del objetivo (Naciones Unidas, 2015). Esto posiciona a la institución como un actor comprometido con la acción climática desde su gestión interna.

En conjunto, estos objetivos reflejan cómo la implementación de un modelo de gestión de la energía no solo contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad institucional, sino que también posiciona a la organización como una entidad pública comprometida con el desarrollo sostenible, el uso racional de los recursos y la lucha contra el cambio climático.

Implementar un modelo de gestión energética robustece la capacidad de planificación y control interno de la institución, permite anticiparse a riesgos energéticos, mejora la trazabilidad del consumo, y promueve una cultura organizacional orientada a la eficiencia y la

mejora continua. De este modo, INCIENSA no solo se convierte en un referente dentro del sector público costarricense, sino que también avanza hacia un modelo de operación más resiliente, competitivo y ambientalmente responsable.

Impacto financiero de las mejoras propuestas

Sistemas de climatización

Como parte de las estrategias de mejora continua en el ámbito de la eficiencia energética institucional, se propone la sustitución progresiva de los sistemas de climatización actuales por equipos tipo inverter, reconocidos por su mayor eficiencia en el consumo eléctrico. Esta iniciativa tiene como objetivo principal reducir los costos operativos derivados del consumo energético, al tiempo que se refuerza el compromiso de la institución con la sostenibilidad ambiental y la mejora del desempeño energético.

Actualmente, algunos de los sistemas de climatización instalados en INCIENSA operan mayoritariamente con tecnología convencional ON/OFF, lo que implica un consumo energético elevado, debido a los ciclos frecuentes de encendido y apagado que trabajan a máxima potencia sin regulación automática. Este tipo de funcionamiento genera no solo un mayor consumo, sino también un mayor desgaste en los componentes del sistema.

Por el contrario, los equipos tipo inverter regulan de manera automática la velocidad del compresor, permitiendo una operación continua y eficiente, lo que se traduce en un ahorro energético estimado entre el 30% y el 60% en comparación con equipos tradicionales (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], 2022).

Para la evaluación preliminar, se contempla una sustitución de equipos en zonas críticas de alto uso, como laboratorios y oficinas administrativas. La inversión inicial estimada incluye la compra de los equipos tipo inverter, su instalación, y eventuales adecuaciones eléctricas. Según cotizaciones de mercado, se estima una inversión promedio de ₡ 5.120.000,00 considerando el reemplazo de al menos cinco unidades de climatización.

Con base en los registros históricos de consumo energético en climatización, y los cálculos realizados en el balance energético, se estima un consumo anual aproximado de 65 552,89 kWh en las áreas consideradas. Al asumir un ahorro conservador del 40%, se proyecta una reducción de 39.331,74 kWh anuales, lo que representa un ahorro económico directo de aproximadamente ¢ 1.288.114,48 anuales, tomando como referencia una tarifa institucional promedio de ¢ 32,75 por kWh.

Se aplica un análisis básico de retorno de la inversión, para determinar el período en que se recuperará la inversión inicial mediante los ahorros obtenidos.

Tabla 11

Periodo de recuperación de la inversión para el cambio de equipos de climatización

Inversión	Ahorro Anual	ROI
¢ 5 120 000,00	¢ 1 288 114,48	3,97 años

Nota. Elaboración propia (2025).

Este resultado indica que, bajo las condiciones actuales de consumo y tarifa eléctrica, la institución podría recuperar la inversión en poco menos de cuatro años. Posterior a este período, los ahorros generados representan un beneficio neto para INCIENSA.

Además del ahorro económico directo, la implementación de esta propuesta genera beneficios colaterales significativos como la reducción de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía, lo cual fortalece el compromiso institucional con el ODS 13: Acción por el clima. Se estima que cada kWh ahorrado evita la emisión de aproximadamente 0.0879 kg de CO₂ (Instituto Meteorológico Nacional, 2024).

Se pueden obtener también mejoras en la calidad del ambiente interno, al mantener temperaturas más estables y confortables. Además, reducción del mantenimiento correctivo debido al menor desgaste mecánico de los equipos inverter. Y posibilidad de integración futura a sistemas de gestión energética automatizada, potenciando aún más el control y la eficiencia operativa.

La evaluación financiera preliminar de la propuesta de sustitución de equipos de climatización por tecnología inverter en INCIENSA demuestra que se trata de una inversión rentable y sostenible. El período de recuperación estimado es razonable dentro de los márgenes institucionales y, una vez superado, representará un ahorro continuo que contribuirá a reducir los costos energéticos, mejorar el desempeño ambiental y fortalecer la imagen de INCIENSA como una institución pública comprometida con la eficiencia energética y la sostenibilidad.

Luminarias

Como parte del compromiso institucional de INCIENSA con la eficiencia energética, la sostenibilidad y la mejora continua del desempeño operativo, se propone la sustitución progresiva de las luminarias fluorescentes actuales por luminarias con tecnología LED en sus instalaciones. Esta medida representa una estrategia concreta para reducir el consumo energético destinado a la iluminación, disminuir costos operativos y contribuir a los objetivos ambientales y financieros de la institución.

En la actualidad, una parte significativa de la infraestructura de iluminación de INCIENSA utiliza luminarias fluorescentes de 36 o 40 vatios. Este tipo de tecnología, aunque ampliamente utilizada en décadas pasadas, presenta diversas limitaciones desde el punto de vista energético y operativo. Su eficiencia lumínica es relativamente baja, tiene una vida útil limitada, genera calor adicional y requiere de balastos para su funcionamiento, lo que incrementa el consumo energético total y la necesidad de mantenimiento.

Por el contrario, las luminarias LED ofrecen una solución eficiente y moderna, con múltiples ventajas. Estas luminarias pueden ofrecer la misma o mejor calidad de iluminación utilizando aproximadamente la mitad de la energía. Además, tienen una vida útil significativamente mayor, no requieren balastos, y su mantenimiento es mínimo. Estas características convierten a la tecnología LED en una alternativa preferente tanto desde la perspectiva ambiental como desde el enfoque financiero (Comisión Nacional para el Uso

Eficiente de la Energía [CONUEE], 2020).

Para evaluar la viabilidad financiera de esta propuesta, se estima un escenario de intervención inicial que contempla el reemplazo de 50 luminarias fluorescentes por luminarias LED de 18 vatios. Al considerar un costo promedio de ₡ 15.000,00 por unidad, la inversión inicial se estima en aproximadamente ₡ 750.000,00.

En cuanto al ahorro energético, cada luminaria LED consume 22 vatios menos que una fluorescente equivalente. Al suponer un uso promedio de 10 horas diarias durante 250 días al año (2.500 horas anuales), se estima un ahorro de 55 kilovatios-hora (kWh) por luminaria por año. En conjunto, la sustitución de 50 luminarias permitiría un ahorro anual aproximado de 2750 kWh. A un costo promedio de ₡ 32,75 por kWh (tarifa institucional aproximada), este ahorro se traduce en una reducción de costos operativos cercana a los ₡ 90.062,50 por año.

Con base en estos datos, el análisis de retorno de la inversión indica que la institución podría recuperar la inversión inicial en un período de aproximadamente ocho años. Posterior a este plazo, los ahorros generados representan un beneficio neto continuo para INCIENSA.

Además del impacto financiero positivo, esta medida conlleva beneficios colaterales significativos. La reducción del consumo eléctrico implica una disminución directa en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que por cada kWh ahorrado se evita la emisión de aproximadamente 0,45 kg de CO₂, por lo que la medida propuesta permitiría reducir anualmente cerca de 1238 kilogramos de CO₂ (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], 2022). Esta contribución es particularmente relevante en el marco del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La sustitución de luminarias fluorescentes por tecnología LED en INCIENSA representa una inversión financieramente justificable. Al mismo tiempo, esta medida fortalece la imagen institucional en términos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, y mejora las condiciones de trabajo al ofrecer una iluminación más eficiente, segura y confortable.

Factor de potencia

Durante la evaluación del comportamiento energético en las instalaciones de INCIENSA, se identificó que el Factor de Potencia (FP) durante el periodo nocturno se ha mantenido por debajo del umbral normativo del 0,90 en varios meses. En particular, el mes de noviembre presentó un FP de 0,8587, acompañado de una demanda activa máxima de 137,54 kW. Esta condición ha provocado recargos mensuales por energía reactiva, acumulando un total de ¢550.000 en penalizaciones durante los últimos 24 meses, lo que equivale a un promedio de ¢22.916,00 mensuales.

Este bajo factor de potencia implica que, para satisfacer la misma cantidad de energía útil (kW), el sistema debe transportar una mayor cantidad de energía total (kVA), lo que genera sobrecarga en cables, transformadores, motores y demás equipos eléctricos. Esto no solo incrementa el consumo y los costos, sino que también acelera el deterioro de los equipos, reduciendo su vida útil y aumentando el riesgo de fallas operativas. Además, se afecta la calidad del suministro eléctrico y se compromete la eficiencia general del sistema.

Mediante el análisis técnico realizado, se determinó que en noviembre la potencia reactiva demandada fue de 87,92 kVAR. Para alcanzar un factor de potencia objetivo de 0,92, se requeriría reducir esta demanda reactiva a 63,55 kVAR, lo que implica compensar aproximadamente 24,37 kVAR. Con base en este resultado, se propone como mejora la instalación de un banco automático de capacitores de 30 kVAR, dividido en etapas modulables de 10 kVAR. Esta configuración permite una compensación adaptable, según las variaciones de la carga nocturna, asegurando un factor de potencia estable y evitando penalizaciones económicas.

Desde el punto de vista económico, esta solución representa una inversión estimada de ¢1.000.000, con un retorno proyectado en 43,6 meses, considerando solo el ahorro por eliminación de penalizaciones. Sin embargo, si se consideran los beneficios adicionales, como

la prolongación de la vida útil de los equipos, la liberación de capacidad instalada y la mejora de la eficiencia operativa, la viabilidad del proyecto se fortalece significativamente.

La corrección del factor de potencia, mediante un banco de capacitores, representa una acción estratégica dentro del sistema de gestión de la energía de INCIENSA. No solo permite reducir costos operativos, sino que contribuye a una infraestructura eléctrica más segura, eficiente y alineada con los principios de sostenibilidad energética establecidos en la norma ISO 50001.

La siguiente es una tabla resumen del impacto financiero de las mejoras propuestas en INCIENSA:

Tabla 12

Resumen del impacto financiero de las mejoras

Área de mejora	Inversión estimada	Ahorro anual estimado	Periodo de recuperación (años)	Ahorro energético (kWh/año)
Climatización	₡ 5,120,000.00	₡1,288,114.48	3.97	39331.74
Iluminación	₡ 750,000.00	₡90,062.50	8.33	2750.00
Corrección del factor de potencia	₡ 1,000,000.00	₡275,000.00	3.63	NA

Nota. Elaboración propia (2025).

Conclusiones

Objetivo 1

El análisis de los balances energéticos realizados en INCIENSA permitió comprender detalladamente el patrón de consumo eléctrico. Se determinó que la electricidad representa el 99 % del total de energía consumida, lo que confirma su papel fundamental en el funcionamiento operativo y técnico de la institución. Los principales consumidores de energía son los sistemas de aire acondicionado, congeladores y refrigeradores, que en conjunto representan más del 70 % del consumo total, debido a la necesidad de mantener condiciones estrictas para conservación de muestras y operación continua de los laboratorios.

Los Centros Nacionales de Referencia (CNR) concentran más del 60 % del consumo, a causa de la intensidad de sus procesos técnicos y científicos. Otras áreas como la Unidad de Servicios Técnicos y la Unidad de TI también reflejan consumos importantes, aunque menores.

Objetivo 2

Se estableció un conjunto de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) y Líneas de Base Energética (LBE) conforme a la norma ISO 50006:2014, adaptados a las características operativas de INCIENSA. Uno de los hallazgos más relevantes fue la tendencia al alza en el consumo específico de energía por muestra procesada, con un promedio de 32,4 kWh/muestra. Esto podría estar vinculado al envejecimiento del equipo, a la mayor complejidad de análisis o a la expansión de la infraestructura.

El indicador de emisiones de CO₂ por muestra procesada, con un valor promedio de 2,84 kg/muestra, resulta clave para medir la huella de carbono institucional. La correlación negativa entre emisiones totales y cantidad de muestras procesadas sugiere que, al aumentar la productividad, mejora el desempeño ambiental relativo de la institución.

Objetivo 3

Se desarrolló y validó un prototipo de sistema de monitoreo eléctrico en tiempo real, caracterizado por su bajo costo, precisión y funcionalidad. El sistema fue validado exitosamente frente a un equipo de referencia (Fluke 325) y mediante comparación con datos técnicos de un equipo real (DAIKIN McQuay), confirmando su confiabilidad operativa.

Aunque INCIENSA cuenta con equipos avanzados de medición (A9MEM3255, Power Xpert 2250 y PM8243), estos no se han integrado efectivamente a la gestión energética, lo que representa un área de mejora crítica. El prototipo validado sienta una base sólida para transformar el monitoreo pasivo en una herramienta activa de toma de decisiones técnicas y sostenibles.

Objetivo 4

El Cuadro de Mando Integral (CMI) se consolidó como una herramienta estratégica clave para alinear la visión institucional de INCIENSA con una gestión energética efectiva, sostenible y orientada a la mejora continua. Su estructura basada en las cuatro perspectivas (financiera, cliente, procesos internos y aprendizaje/crecimiento) facilita la traducción de los objetivos energéticos en acciones concretas, medibles y con responsables definidos.

La implementación del CMI está directamente vinculada al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los ODS 7 (energía asequible y no contaminante), 9 (industria, innovación e infraestructura), 12 (producción y consumo responsables) y 13 (acción por el clima). Así, el CMI posiciona a INCIENSA como una entidad pública comprometida con el uso eficiente de los recursos y la acción climática.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos, se recomienda implementar un plan de eficiencia energética que inicie con las áreas de mayor consumo. La sustitución de equipos de aire acondicionado por unidades más eficientes, como los sistemas inverter, permitirá reducir significativamente el consumo eléctrico. Del mismo modo, se sugiere reemplazar progresivamente los congeladores, refrigeradores e incubadoras antiguos por modelos certificados con tecnologías de bajo consumo y refrigerantes ecológicos.

Se recomienda también realizar una revisión técnica del aislamiento térmico de estos equipos, prestando atención al estado de las gomas de sellado y fomentando prácticas de operación que reduzcan la apertura innecesaria de puertas. En cuanto a la iluminación, el cambio de lámparas fluorescentes por luminarias LED contribuirá a disminuir el consumo y a mejorar la calidad lumínica en los espacios de trabajo.

Otra medida prioritaria es la corrección del factor de potencia, especialmente en horario nocturno, mediante la instalación de bancos de capacitores automáticos o sistemas de compensación que permitan estabilizar y mejorar este indicador. Estas acciones no solo reducirán la demanda eléctrica, sino que también evitarán penalizaciones económicas por bajo factor de potencia.

Se sugiere desarrollar una estrategia institucional de gestión energética que incluya la implementación de tecnologías de monitoreo, mantenimiento predictivo y automatización, así como campañas de sensibilización dirigidas al personal sobre el uso racional de la energía. Este enfoque debe alinearse con los objetivos de desarrollo sostenible, promoviendo una operación más eficiente, responsable y comprometida con el medio ambiente.

Los indicadores establecidos deben incorporarse en los sistemas de monitoreo y evaluación de desempeño energético del instituto, permitiendo un seguimiento periódico y facilitando la toma de decisiones basada en datos. Para mejorar la calidad del análisis, se recomienda

establecer mecanismos sistemáticos y automatizados de recopilación de datos de consumo energético, incluyendo subdivisiones por área o proceso crítico.

Al aprovechar la correlación identificada, se sugiere definir metas progresivas de reducción de emisiones por unidad de producción, promoviendo el uso de energías limpias y prácticas sostenibles. Es conveniente complementar los resultados con estudios adicionales que exploren el impacto de variables operativas (horarios, tipo de análisis, condiciones climáticas) en el desempeño energético, con el fin de identificar patrones de uso y oportunidades de mejora.

Se recomienda designar personal técnico para la gestión, configuración y análisis de los medidores existentes, con rutinas periódicas de revisión y generación de reportes, para facilitar acciones correctivas o preventivas. Ofrecer formación básica sobre interpretación de parámetros eléctricos, calidad de energía y uso de los sistemas de medición permitirá maximizar el retorno de inversión en infraestructura ya instalada.

Referencias bibliográficas

- Ahorro de energía: 7 consejos para disminuir el consumo en casa.* (2022, 21 de abril). National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/03/ahorro-deenergia-7consejos-para-disminuir-el-consumo-en-casa>
- Arduino. (2024). *Arduino MEGA 2560 REV3 – Technical specifications*. Recuperado de <https://www.arduino.cc>
- BMF Business School. (2024). *Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)*. Recuperado de <https://www.bmfbs.com>
- Castro, J. (2021). Empresas pueden optar por rebajo de un 15 a 25% en tarifas eléctricas si se certifican bajo norma ISO 50001. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/empresas-pueden-optar-por-rebajo-de-un-15-a-25-en-tarifas-electricas-si-se-certifican-bajo-norma-iso-50001>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: an engineering approach*. McGraw-Hill Education.
- Chinchilla Bravo, N. (2021, 08 de junio). Empresas obtienen certificación ISO en sistemas de gestión de energía, gracias a pautas dadas por el TEC. *Hoy En El TEC*; www.tec.ac.cr. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2021/06/08/empresas-obtienen-certificacion-isisistemas-gestion-energia-gracias-pautas-dadas-tec>
- Clean Energy Ministerial. (s.f.). *ISO 50001 Energy management system - case study Indonesia 2024*. https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2024/08/cem_2024_emia_casestudy_changshin-inc-indonesia-factory.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para*

América Latina y el Caribe.

<https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

(2020). *Eficiencia energética en sistemas de iluminación*. Gobierno de México.

Recuperado de: <https://www.gob.mx/conuee>

Daikin McQuay. (s.f.). *Ficha técnica GSX13-CP*. Climaproyectos. Recuperado de

<https://climaproyectos.com.mx/wp-content/uploads/2016/07/FICHA-TECNICA->

Daikin. (2024). *Eficiencia energética en sistemas de climatización*. Recuperado de

<https://www.daikin.com>

DAIKIN-MCQUAY-GSX13-CP.pdf

ESPH. (2022). *Tarifas eléctricas vigentes*. Empresa de Servicios Públicos de Heredia.

https://cicr.com/wp-content/uploads/2022/12/Tarifas_electricas-ESPH.pdf

GoCardless. (2023). *¿Qué es el período de recuperación de la inversión (PRI)?*

Recuperado de <https://gocardless.com>

Gómez, R., Pérez, M., & Ramírez, L. (2021). *Eficiencia energética en la industria: principios y aplicaciones*. Editorial Alfa.

IEEE. (2020). *Standard for energy measurement in industrial systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud. (s.f.).

www.inciensa.sa.cr. <https://www.inciensa.sa.cr/>

Instituto Meteorológico Nacional. (2024). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero para Costa Rica 2024* (14a ed.). Centro de Coordinación del Cambio Climático, IMN.

<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemission/factoresemission2024/FactoresEmision-GEI-2024.pdf>

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2022). *Guía técnica sobre climatización eficiente*. Recuperado de <https://www.idae.es/tecnologia/climatizacion>
- ISO. (2014). ISO 50006: *Energy management systems - Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPIs) - General principles and guidance*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/51869.html>
- ISO. (2018a). ISO 50001: *Energy management systems - Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/69426.html>
- ISO. (2018b). ISO 50002: *Energy audits - Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/60088.html>
- ISO 50001 Energy Management Systems*. (2018). iso.org. <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100400.pdf>
- JULABO. (2024). *Potencial de calentamiento global (GWP) y su impacto ambiental*. Recuperado de <https://www.julabo.com>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2020). *The balanced scorecard: translating strategy into action*. Harvard Business School Press.
- LearnMetrics. (2023). *Understanding IPLV and its relevance in HVAC systems*. Recuperado de <https://www.learnmetrics.com>
- Ministerio de Ambiente y Energía MINAE. (2015). *VII Plan nacional de energía 2015-2030*. Cambioclimate. https://cambioclimate.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía MINAE. (2019). *Plan nacional de descarbonización 2018-2050*. Cambioclimate. <https://cambioclimate.minae.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía MINAE. (s.f.). *Guía para la gestión de la energía - documento de orientación para el sector público*. Dirección Sectorial de Energía.
http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_para_gestion_de_energia_pgai_version_1.0.pdf

Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. <https://sdgs.un.org/es/goals>

Naylamp Mechatronics. (2024). Ethernet Shield W5100 para Arduino. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com>

Objetivo 7 | *Objetivos de desarrollo sostenible*. (2020, 16 de julio). [Ods.cr](https://ods.cr).
<https://ods.cr/es/objetivo/objetivo-7>

ONU. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

OpenEnergyMonitor. (2024). *Non-invasive current sensors SCT-013*. Recuperado de <https://www.openenergymonitor.org>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). *Informe sobre los objetivos de desarrollo sostenible 2023*. <https://www.undp.org/es/sdgs>

¿Qué es la eficiencia energética? (s.f.). Energía y Sociedad.
<https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/>

¿Qué es la eficiencia energética y qué ventajas tiene? (2024). REPSOL.
<https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml>

SparkFun. (2024). *LCD 16x2 Display with I2C Interface - Technical Guide*. Recuperado de <https://www.sparkfun.com>

Trujillo, R. (2023). Situación energética de Costa Rica según el reporte Estado de la Nación 2023. *La República*.
<https://www.larepublica.net/noticia/situacion-energetica-de-costa-rica-segun-el-reporte-estado-de-la-nacion-2023>

Anexos

Tabla

Tabla 13

Muestras procesadas en INCIENSA los últimos tres años

CNR/Año	Muestras		
	2022	2023	2024
Virología	38621	21001	10872
Bacteriología	5323	8496	9170
Parasitología	2849	3854	5476
Micobacterias	2723	3462	3203
Bromatología	1334	1113	1186
IMA	647	611	1063
Leptospirosis	115	136	791
Entomología	57	50	175
Total	51669	38723	31936

Nota. Elaboración propia (2025), con datos de INCIENSA.

Figuras

Figura 30

Primera parte del código empleado para programar el Arduino UNO

```
1 #include <SD.h>
2 #include "EmonLib.h"
3 #include <TimeLib.h>
4 #include <SPI.h>
5 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
6
7 EnergyMonitor emon1;
8 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
9 double IrmsA;
10 File myFile;
11
12 void setup() {
13   Serial.begin(9600);
14   Serial.println("Iniciando sistema..");
15
16   lcd.init();
17   lcd.backlight();
18   lcd.clear();
19   lcd.setCursor(0,0);
20   lcd.print("Sistema Listo");
21   delay(2000);
22   lcd.clear();
23
24   if (!SD.begin(4)) {
25     Serial.println("Error: No se detecta SD.");
26     return;
27   }
28   Serial.println("Tarjeta SD detectada.");
```

Nota. Elaboración propia (2025).

Figura 31

Segunda parte del código empleado para programar el Arduino UNO

```
29
30 if (!SD.exists("Datalog.csv")) {
31   myFile = SD.open("Datalog.csv", FILE_WRITE);
32   if (myFile) {
33     Serial.println("Creando archivo y escribiendo encabezado...");
34     myFile.println("Fecha(HH:MM:SS DD/MM/YY),Corriente(A)");
35     myFile.close();
36   } else {
37     Serial.println("Error al crear el archivo.");
38   }
39 }
40
41 emon1.current(1, 57.65);
42 setTime(10,0,00,3,3,2025); // Fecha y hora
43
44
45 void loop() {
46   Serial.print("Registrando nuevo dato... ");
47   myFile = SD.open("Datalog.csv", FILE_WRITE);
48
49   if (myFile) {
50     IrmsA = emon1.calcIrms(1480);
51     time_t t = now();
52
53     String timeStamp = String(hour(t)) + ":" + String(minute(t)) + ":" + String(second(t)) +
54     " " + String(day(t)) + "/" + String(month(t)) + "/" + String(year(t));
55
56     myFile.print(timeStamp);
```

Nota. Elaboración propia (2025).

Figura 32

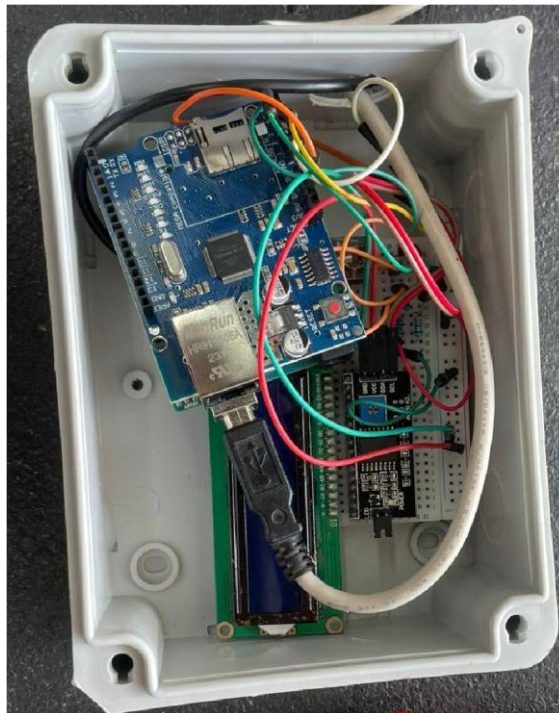
Tercera parte del código empleado para programar el Arduino UNO

```
56     myFile.print(timeStamp);
57     myFile.print(",");
58     myFile.println(IrmsA);
59     myFile.close();
60
61     Serial.println("Guardado en SD -> " + timeStamp + " | Corriente: " + String(IrmsA, 3) + "A");
62
63     lcd.clear();
64     lcd.setCursor(0,0);
65     lcd.print("Medicion Activa");
66     lcd.setCursor(0,1);
67     lcd.print("A= ");
68     lcd.print(IrmsA, 3);
69 } else {
70     Serial.println("Error: No se pudo escribir en SD.");
71     lcd.clear();
72     lcd.setCursor(0,0);
73     lcd.print("Error SD");
74 }
75
76 delay(1000);
77 }
78
79
```

Nota. Elaboración propia (2025).

Figura 33

Caja plexo empleada para el prototipo



Nota. Elaboración propia (2025).