

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Modelo de gestión energética en una planta de manufactura de semiconductores
bajo lineamientos de la norma INTE/ISO 50001 para la mejora continua del
desempeño energético

Informe para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, con el
grado académico de Licenciatura

ÁREA DE CONOCIMIENTO:
Gestión

REALIZADO POR:
David Rojas Gómez

II SEMESTRE DE 2025



Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de Acreditación de programas de Ingeniería y de Arquitectura

Datos personales

Nombre completo: David Rojas Gómez
Número de cédula: 305150356
Número de carné: 2017239605
Número de teléfono: 85308140
Correo electrónico: david21@estudiantec.cr
Dirección exacta de domicilio: San Rafael, Oreamuno, Cartago, 75 m
norte verdulería La buena siembra

Datos de la Empresa

Nombre: Qorvo S.R.L.
Actividad Principal: Manufactura de semiconductores
Dirección: Zona Franca Metropolitana, Heredia
Teléfono: 2209 8900

Dedicatoria

Dedico este Trabajo Final de Graduación a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y por ser siempre mi mayor motivación.

A mis padres, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la disciplina, este logro es tan mío como de ustedes.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional, su paciencia y por acompañarme en cada etapa de mi formación académica.

Extiendo mi agradecimiento a mi supervisor en Qorvo, Byron Cortés, por su guía, confianza y por compartir sus conocimientos durante mi proceso de aprendizaje. De igual manera, agradezco a los ingenieros Carlos Lopez y Eduardo Ramírez, cuyo apoyo técnico y disposición fueron clave para fortalecer mis competencias y para avanzar en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis profesores y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a mi crecimiento profesional y académico.



Por este medio, Qorvo Costa Rica hace constar que el estudiante David Rojas Gomez, cedula 305150356, numero de carné 2017239605, fue aceptado para realizar su presentación de anteproyecto, así como su Trabajo Final de Graduación: Modelo de gestión energética en una planta de manufactura de semiconductores bajo lineamientos de la norma INTE/ISO 50001 para la mejora continua del desempeño energético, bajo la supervisión del Ing. Byron Cortes Gamboa.

La relevancia de este proyecto se fundamenta en la apropiada gestión de la energía que permita reconocer y mejorar el desempeño energético de la empresa y establecer procesos de mejora continua cuantificables.

Hacemos constar que el desarrollo del proyecto se hará de acuerdo al calendario institucional del Instituto Tecnológico de Costa Rica correspondiente al segundo semestre del 2025. De requerir momentos para visitas a la Empresa se requerirá del cumplimiento de todos los protocolos de seguridad y salubridad.

Firma del supervisor

A handwritten signature in black ink that reads "Byron Cortés G." The signature is written in a cursive style. Below the signature is a horizontal line.

Correo: byron.cortes@qorvo.com

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
RESEÑA DE LA EMPRESA.....	9
ANTECEDENTES	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS.....	17
JUSTIFICACIÓN	18
ALCANCE	20
VIABILIDAD.....	21
ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO	22
METODOLOGÍA.....	23
MARCO TEÓRICO.....	26
OBJETIVO I. BALANCE ENERGÉTICO	31
OBJETIVO II. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	59
OBJETIVO III. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA	66
OBJETIVO IV. ANÁLISIS FINANCIERO	83
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÉNDICES.....	99
ANEXOS	106

RESUMEN

El proyecto se centra en el análisis del desempeño energético de una planta de manufactura de semiconductores en Costa Rica, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora que permitan una gestión más eficiente y sostenible. Se propone desarrollar un modelo de análisis energético alineado con la norma INTE/ISO 50001, que incluya la evaluación de consumos actuales, establecimiento de líneas base, definición de indicadores y propuesta de Oportunidades de Conservación de Energía (OCE). El estudio considera información histórica, mediciones en campo y referencias normativas, complementadas con un análisis técnico-financiero para respaldar la toma de decisiones. Las recomendaciones estarán orientadas a la eficiencia energética y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con energía asequible y producción responsable.

ABSTRACT

This project focuses on analyzing the energy performance of a semiconductor manufacturing plant in Costa Rica to identify improvement opportunities that enable more efficient and sustainable energy management. The proposed approach involves developing an energy analysis model based on the INTE/ISO 50001 standard, including current consumption evaluation, baseline establishment, performance indicators, and identification of Energy Conservation Opportunities (ECOs). The study integrates historical data analysis, on-site measurements, industry benchmarks, and a technical-financial feasibility assessment to support decision-making. Recommendations aim to enhance energy efficiency and align with Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 7 (Affordable and Clean Energy) and Goal 12 (Responsible Consumption and Production).

INTRODUCCIÓN

El consumo eficiente de energía es un aspecto cada vez más relevante para las organizaciones industriales, tanto por sus implicaciones económicas como por su impacto ambiental. En ese marco, este proyecto se enfoca en el análisis del desempeño energético de una planta de manufactura de semiconductores en Costa Rica, con el fin de identificar oportunidades de mejora que contribuyan a una gestión energética más eficiente y sostenible.

La motivación principal del trabajo surge ante la necesidad de contar con herramientas que permitan cuantificar el consumo de energía de forma estructurada, establecer indicadores de desempeño y apoyar la toma de decisiones técnicas y financieras.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un modelo de análisis energético basado en los lineamientos de la norma INTE/ISO 50001, que permita evaluar los consumos actuales, establecer líneas base, proponer Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) y analizar la viabilidad de su implementación. La investigación abarcará el análisis de información histórica, mediciones en campo, comparación con referencias de la industria y evaluación técnico-financiera de las propuestas de mejora.

El análisis permitirá identificar oportunidades de mejora energética a partir del comportamiento energético observado en la planta, considerando principios como la planificación energética, el análisis del desempeño y la implementación de acciones correctivas y preventivas. Las recomendaciones estarán alineadas con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad que guían la operación de instalaciones industriales modernas.

Este estudio se alinea con los principios de desarrollo sostenible, particularmente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 (Energía asequible y no contaminante) y número 12 (Producción y consumo responsables), al promover un uso responsable de la energía dentro del sector industrial.

RESEÑA DE LA EMPRESA

La empresa Qorvo se encuentra ubicada en la Zona Franca Metropolitana de Heredia desde 1996. Es una compañía líder en el desarrollo de tecnologías esenciales de radiofrecuencia (RF), que desempeñan un papel clave en conectar y proteger al mundo. Sus soluciones innovadoras están presentes en sectores como dispositivos móviles, infraestructura de comunicaciones, el Internet de las Cosas (IoT), así como en aplicaciones de defensa y aeroespaciales.

- Descripción del proceso productivo

C3-ULC. ASSY Flow Chart – Flip Chip ULC

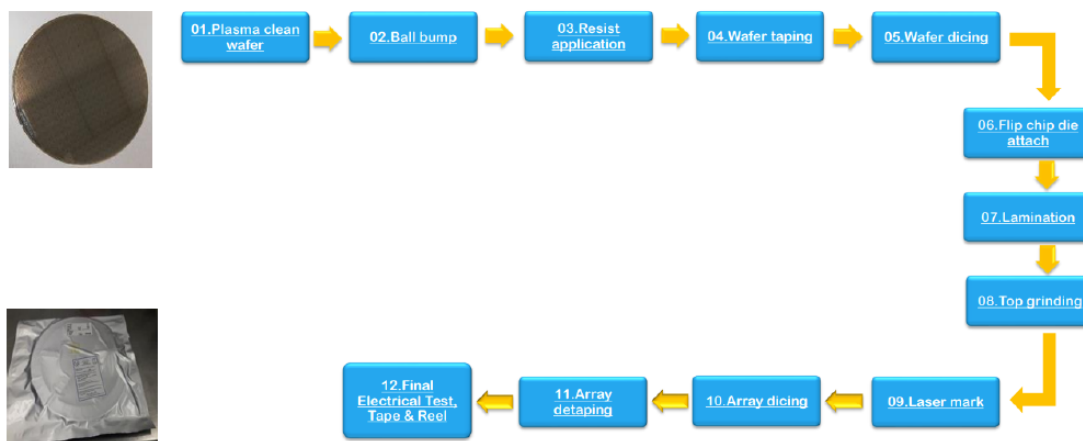


Figura 1. Diagrama de flujo de ensamble - Flip Chip ULC

Fuente: Qorvo Inc. (2025)

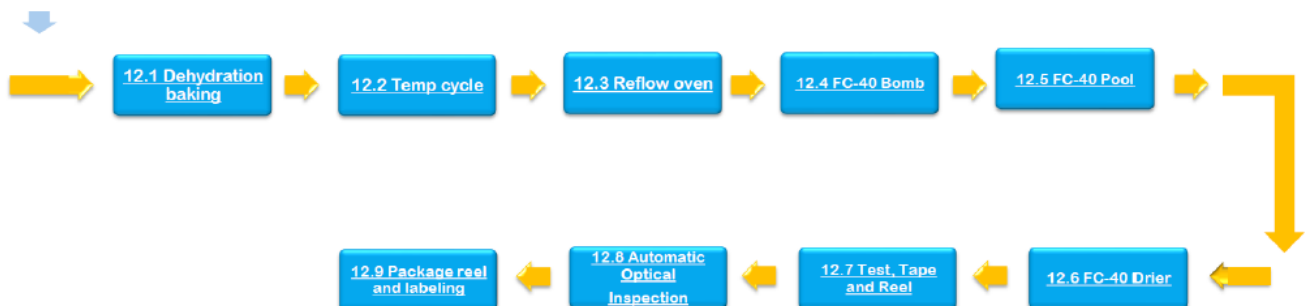


Figura 2. Diagrama de flujo de testeo - Final Electrical Test, Tape & Reel

Fuente: Qorvo Inc. (2025)

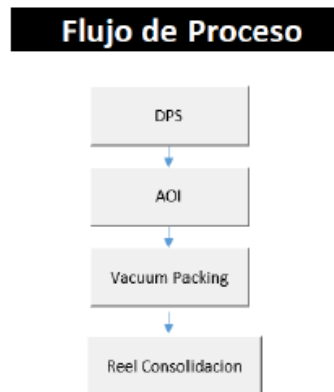


Figura 3. *Diagrama de flujo de proceso*

Fuente: Qorvo Inc. (2025)

ANTECEDENTES

Antecedentes teóricos

En el año 2015, las Naciones Unidas propusieron la Agenda 2030, un plan de acción global compuesto por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), orientados a erradicar la pobreza, proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de todas las personas. Dentro de estos objetivos destaca el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, que promueve el acceso universal a fuentes de energía modernas, limpias y eficientes. Además, el ODS 12: Producción y consumo responsables refuerza la necesidad de adoptar prácticas energéticas sostenibles, resaltando la importancia del uso racional de los recursos, evitando el consumo excesivo o mal gestionado de la energía (Organización de las Naciones Unidas, 2018).

En el contexto nacional, Costa Rica ha alineado sus políticas energéticas con estos principios. El VII Plan Nacional de Energía 2015–2030, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), define como objetivos centrales: mejorar la eficiencia energética del Sistema Eléctrico Nacional, fomentar el autoconsumo y la generación distribuida, fortalecer el marco normativo e institucional en materia de eficiencia energética, optimizar el cálculo tarifario, y

elevant el desempeño de las entidades públicas del sector eléctrico. Aunque el plan hace especial énfasis en el sector público, también contempla al sector privado, reconociendo su papel fundamental en el impulso de la competitividad y el desarrollo económico mediante políticas energéticas responsables (MINAE, 2015).

La norma ISO 50001, publicada por primera vez en junio de 2011, se reconoce como una herramienta clave para implementar una gestión energética responsable dentro de las organizaciones. Esta norma define los lineamientos necesarios para establecer un sistema de gestión de la energía que permita optimizar el desempeño energético, mejorar la eficiencia en el uso de la energía, y disminuir el impacto ambiental, todo sin comprometer la productividad. Además, favorece la competitividad empresarial al alinear la eficiencia energética con los objetivos estratégicos del negocio (Ladeuth et al., 2021).

La certificación conforme a esta norma puede ser otorgada a aquellas empresas que cumplan con todos los criterios exigidos en un plan de gestión energética formalmente estructurado. Un ejemplo ilustrativo se presenta en la Figura 4:



Figura 4. Modelo de gestión de la energía según ISO 50001.

Fuente: Ladeuth et al. (2021).

Complementariamente, la ISO 50002 proporciona lineamientos para la ejecución de auditorías energéticas, mientras que la ISO 50006 orienta sobre cómo establecer y utilizar indicadores y líneas base como parte del proceso de medición del rendimiento energético (ISO, 2014a; ISO, 2014b).

Desde una perspectiva académica, se ha señalado que el uso eficiente de la energía es clave para el desarrollo económico, la protección ambiental y la generación de empleo. Un estudio publicado en 2018 concluye que la eficiencia energética tiene un papel central en la sostenibilidad, y que su gestión responsable puede traducirse en beneficios económicos directos, especialmente considerando la naturaleza limitada de los recursos energéticos (Turkoğlu & Kardogan, 2018).

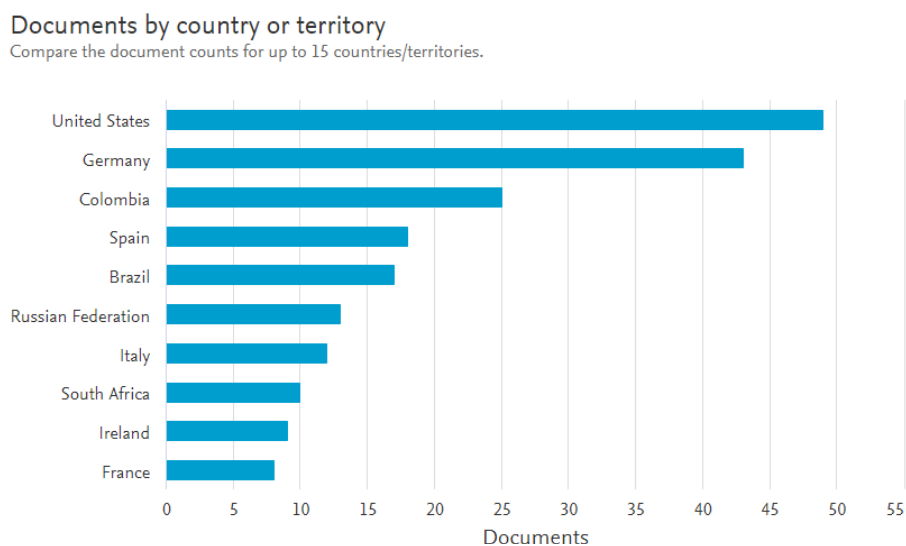


Figura 5. *Distribución de documentos para la búsqueda de ISO 50001 según el país de origen*

Fuente: Sanabria (2021).

Al observar la Figura 5, que representa la cantidad de documentos para la búsqueda de información sobre ISO 50001 de acuerdo con el país fuente, se puede notar que los países con mayor interés y conocimiento en el tema son principalmente naciones desarrolladas. Este dato resulta especialmente relevante

al ver que países como Colombia ocupan el tercer lugar en la lista, lo que resalta su posicionamiento como referente internacional en acreditación energética. Al situarse junto a países como Alemania y España, Colombia se convierte en un ejemplo destacado de avance en esta materia, y representa un modelo referente para el proceso de mejora continua en Costa Rica (Sanabria, 2021).

Investigaciones más recientes enfatizan la importancia de realizar diagnósticos energéticos detallados en organizaciones que consumen altos niveles de energía. En un estudio enfocado en la gestión de tarifas eléctricas en entornos universitarios, se concluye que la implementación de estrategias energéticas bien fundamentadas puede revelar áreas críticas de consumo, facilitar la identificación de oportunidades de mejora y apoyar la toma de decisiones para una gestión eficiente de los recursos (Vargas et al., 2021).

Diversos estudios respaldan el impacto positivo que tiene la gestión energética en el desempeño competitivo y ambiental de las organizaciones. El documento *“Potential of sustainable energy management in buildings”* destaca la necesidad de evaluar no solo el costo de los equipos, sino también su consumo energético, sugiriendo que las estrategias de ahorro -como la renovación tecnológica- deben adaptarse a las condiciones operativas específicas para maximizar su efectividad. Asimismo, se recomienda implementar múltiples alternativas y monitorear su rendimiento para incrementar el potencial de ahorro (Katzenbach et al., 2015).

En el caso de las industrias de manufactura de semiconductores, el consumo energético representa uno de los factores operativos más críticos, particularmente por los altos requerimientos de los sistemas HVAC, la operación de cuartos limpios y el uso constante de equipos de precisión. De hecho, estudios recientes han evidenciado que las fábricas de chips pueden llegar a consumir más energía que ciudades enteras, especialmente cuando se carece de una estrategia de eficiencia energética integral (Velazco, 2024). En esta industria, la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) no solo permite controlar el uso de la electricidad, sino que también se convierte en una herramienta estratégica para

garantizar sostenibilidad y competitividad. Países como Taiwán -líder mundial en semiconductores- han logrado establecer referencias de consumo energético eficientes mediante la aplicación de tecnologías limpias, automatización y análisis detallado de indicadores energéticos, lo que demuestra el potencial transformador de estos sistemas en sectores altamente especializados (Weng et al., 2021).

Antecedentes Experimentales

En Malasia un estudio relevante fue desarrollado en el año 2021, en una planta de manufactura del sector electrónico, como respuesta a los altos costos de operación y la necesidad de reducir el impacto ambiental derivado del uso energético. En este estudio, se implementó un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001, realizando primero un diagnóstico energético integral y luego aplicando medidas como la instalación de variadores de frecuencia, sustitución de iluminación por tecnología LED, y la optimización del funcionamiento de equipos industriales. Como resultado, se logró una reducción del consumo energético total del 12,5 %, equivalente a un ahorro de aproximadamente 146 000 kWh al año, con una reducción asociada de 94 toneladas de CO₂ y un retorno de inversión inferior a dos años (Muhammad-Sukki et al., 2021).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un contexto donde la eficiencia energética es clave para la sostenibilidad industrial, esta limitación representa una desventaja competitiva. La implementación de un modelo estructurado de gestión energética permitiría no solo optimizar el uso de la energía, sino también mejorar la capacidad de la organización para demostrar eficiencia operativa frente a otras regiones manufactureras. Este aspecto cobra especial importancia considerando que la compañía ha comenzado a expandir y trasladar varias de sus operaciones hacia países asiáticos, donde los costos operativos, energía, mano de obra e infraestructura son considerablemente más bajos (Source of Asia, 2023).

Actualmente, la planta de manufactura en Costa Rica no cuenta con una metodología formal que permita cuantificar y analizar de forma precisa el consumo

energético, ni dispone de indicadores clave que reflejen el comportamiento real de sus diversos sistemas. Esta carencia limita la toma de decisiones informadas y la capacidad de la planta para reducir costos, optimizar recursos y demostrar sostenibilidad frente a otras sedes globales.

En la industria de semiconductores, donde el consumo energético es alto debido a la necesidad de condiciones ambientales controladas, es fundamental evaluar la eficiencia energética con precisión. Uno de los indicadores más utilizados a nivel internacional es el consumo energético en términos kWh/m². Esta métrica relaciona la energía consumida con la superficie operativa activa, permitiendo evaluar de forma objetiva y comparable el desempeño energético de instalaciones altamente tecnificadas.

Según el estudio realizado por Weng et al. (2021) en plantas de semiconductores en Taiwán -uno de los referentes mundiales en esta industria-, se reportó un consumo energético diario de 2.18 kW/m². Este valor constituye un parámetro de referencia confiable para la evaluación comparativa en plantas de manufactura similares.

La falta de gestión energética formal impide que la planta pueda establecer indicadores de desempeño energético (IDEn), líneas base o metas realistas de mejora. La norma ISO 50001 propone una estructura estandarizada para implementar sistemas de gestión energética bajo un enfoque de mejora continua, integrando herramientas como auditorías energéticas (ISO 50002:2018) e indicadores de rendimiento (ISO 50006:2014). Su adopción permitiría mejorar la trazabilidad, identificar ineficiencias, reducir el consumo y posicionar mejor a la planta ante los requerimientos internacionales (ISO, 2018).

Además de los beneficios operativos, contar con un modelo de gestión energética genera ventajas estratégicas, como acceso a certificaciones reconocidas, aumento del atractivo para inversionistas y mejor posicionamiento frente a procesos de licitación internacional (Aleksandr et al., 2021). En un entorno marcado por la incertidumbre geopolítica y la presión por la eficiencia productiva,

este tipo de iniciativas se convierte no solo en una acción ambientalmente responsable, sino en una estrategia de supervivencia industrial.

Asia, y particularmente el sudeste asiático, ha consolidado su posición como centro neurálgico de la industria global de semiconductores. Países como Vietnam, Malasia e India han captado miles de millones en inversiones para la instalación de nuevas plantas, impulsadas por incentivos fiscales, costos de producción reducidos y políticas gubernamentales favorables (Fierce Electronics, 2024). Por ejemplo, Intel invirtió más de siete mil millones de dólares en Malasia para expandir su capacidad de prueba y empaquetado (Inside Logistics, 2024), mientras que Samsung y Foxconn han fortalecido su presencia en Vietnam e India, respectivamente (Reuters, 2025). Estas condiciones han acelerado la migración de procesos de manufactura hacia Asia, afectando la competitividad de otras regiones.

		Dato suministrado	Referencia bibliográfica
Debiera	Contar con un modelo de gestión energética estructurado que permita medir, monitorear y analizar con precisión el consumo de energía en todos sus sistemas. Este modelo proporciona información trazable y confiable que facilita la toma de decisiones técnicas, económicas y estratégicas a las organizaciones para optimizar su desempeño energético, así como también demostrar eficiencia y competitividad frente a referentes internacionales.	Según los parámetros operativos para procesos de manufactura de semiconductores, donde se cuenta principalmente con cuartos limpios clasificación ISO Clase 7, un consumo energético eficiente y sostenible se estima alrededor de 2.18 kWh/m ² diario, alrededor de 795.8 kWh/m ² anual.	Weng, Hsu, & Chang, (2021).

Desviación (problema)	Ante la expansión de las operaciones de la compañía hacia países asiáticos con menores costos operativos, la planta ubicada en Costa Rica enfrenta una desventaja competitiva al no contar con un sistema de gestión energética basado en indicadores claros de desempeño. Esta ausencia impide cuantificar y demostrar con evidencia técnica su nivel de eficiencia energética, lo cual limita su capacidad para justificar la permanencia de sus operaciones en el país frente a alternativas internacionales más económicas.
------------------------------	---

Realidad		Dato suministrado	Referencia
	La planta cuenta con registros de consumo energético, pero no dispone de un sistema que permita cuantificar dicho consumo en indicadores normalizados. La información disponible no se estructura ni analiza de forma que permita evaluar el uso global de la energía en la planta ni identificar los sistemas con mayor impacto.	Se establece un consumo “desconocido”.	No aplica.

Tabla 1. *Desviación entre debiera y realidad*

Fuente: Elaboración propia.

ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS

1. Objetivo general

- Desarrollar un modelo de gestión energética basado en la norma INTE/ISO 50001 mediante la recopilación y análisis de datos energéticos, para la identificación de indicadores de desempeño y oportunidades de mejora en el uso de la energía en la planta de manufactura Qorvo Costa Rica.

2. Objetivos específicos

- Realizar un balance energético de la planta para la identificación de los Usos Significativos de la Energía (USE), mediante una auditoría energética alineada con la norma ISO 50002.
- Establecer las Líneas Base Energéticas (LBEn) e Indicadores de Desempeño Energético (IDEn), para la evaluación del comportamiento energético de los principales sistemas, utilizando la metodología propuesta en la norma ISO 50006:2014.
- Identificar Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) en la planta, mediante el análisis del rendimiento energético y comparativo con valores de referencia técnicos o normativos, para la recomendación de acciones que optimicen el desempeño energético.
- Elaborar un estudio de prefactibilidad financiera de las Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) identificadas, mediante la aplicación de

modelos de análisis financiero, para el respaldo de la toma de decisiones y su relación costo-beneficio de su implementación.

JUSTIFICACIÓN

El aumento sostenido de la demanda energética representa uno de los principales desafíos para los sistemas eléctricos modernos, ya que obliga a ampliar la capacidad instalada, intensificar el uso de recursos naturales y enfrentar consecuencias económicas, sociales y ambientales. Ante este escenario, la mejora en la eficiencia energética surge como una medida prioritaria, no solo para disminuir el consumo sin sacrificar productividad, sino también para reducir la presión sobre las infraestructuras existentes y mitigar los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica (MINAE, 2015).

En el caso costarricense, el Plan Nacional de Energía 2015–2030 señala como una de las oportunidades estratégicas más relevantes la implementación de acciones que reduzcan el crecimiento de la demanda sin afectar otras metas de desarrollo. Entre estas se incluyen el uso racional de la energía, la adopción de tecnologías eficientes y la consolidación de modelos de gestión energética dentro de los sectores productivos, lo cual disminuiría la necesidad de construir nuevas plantas generadoras y contribuiría a la sostenibilidad del país (MINAE, 2015).

Desde una perspectiva económica y ambiental, la eficiencia energética constituye un factor clave para la competitividad. Mejorar el desempeño energético de una organización no solo permite reducir costos de operación, sino también posicionarse mejor en mercados cada vez más regulados y conscientes del impacto ambiental de la producción. Según Goh & Ang (2020), las estrategias de eficiencia energética bien implementadas tienen un papel relevante tanto en las políticas energéticas como en las climáticas. Además, Braglia et al. (2020) destacan que alcanzar eficiencia implica encontrar un equilibrio entre consumo mínimo y máxima productividad, lo que resulta fundamental para una producción sostenible.

Este proyecto se fundamenta en los principios establecidos por la norma INTE/ISO 50001:2018, la cual proporciona un marco para implementar sistemas de

gestión energética basados en la mejora continua. Esta norma permite a las organizaciones establecer indicadores de desempeño, líneas base y planes de acción que se ajusten a su realidad operativa, facilitando la toma de decisiones, el monitoreo de resultados y la adopción de buenas prácticas. Además, promueve la transparencia en la gestión energética y mejora la comunicación interna y externa sobre los logros alcanzados en eficiencia (ISO, 2018).

Junto con la ISO 50001, se consideran herramientas complementarias como la ISO 50002:2018, que regula las auditorías energéticas, y la ISO 50006:2014, que establece directrices para definir indicadores y líneas base de energía. Estas normas permiten estructurar de forma técnica y sistemática los procesos de evaluación energética y generar información cuantificable que respalde decisiones estratégicas en las organizaciones (ISO, 2014a; 2014b).

En el caso específico del sector industrial -y especialmente en plantas de manufactura de semiconductores, donde el consumo energético es elevado y continuo- implementar un sistema de gestión energética representa una ventaja competitiva clara. Esta medida puede traducirse en procesos más eficientes, reducción de costos, mayor transparencia, y en la posibilidad de acceder a mercados que exigen certificaciones ambientales o estándares internacionales. Aleksandr et al. (2021) afirman que la implementación de la norma ISO 50001 contribuye no solo a la reducción del impacto ambiental, sino también a la optimización de procesos, la mejora de reputación corporativa y el aumento del atractivo para inversionistas y socios comerciales.

Desde el punto de vista económico, este tipo de iniciativas fortalece la posición financiera de las organizaciones al identificar ineficiencias, disminuir costos no productivos y orientar inversiones hacia tecnologías de ahorro energético. Además, la certificación ISO 50001 permite participar en licitaciones internacionales, brinda ventaja competitiva, mejora la capitalización de la empresa y apoya la consolidación de estrategias sostenibles de largo plazo (ISO, 2015a; Castro & Torres, 2016)

Finalmente, la justificación de este proyecto también se alinea con los compromisos globales adquiridos por Costa Rica y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables). A través de este análisis, se busca sentar las bases para implementar un sistema que permita no solo optimizar el uso de la energía, sino también fortalecer la sostenibilidad, transparencia y resiliencia de la operación industrial.

ALCANCE

El presente trabajo tiene un alcance principalmente descriptivo y parcialmente correlacional, ya que busca caracterizar el consumo energético de una planta de manufactura de semiconductores en Costa Rica mediante la recopilación, organización y análisis de información energética disponible, con el objetivo de establecer un perfil claro del uso de la energía en la planta. Además, se pretende analizar la relación entre variables clave, como el consumo energético y los niveles de producción, para comprender el comportamiento energético bajo distintos escenarios operativos.

El estudio incluye el análisis de datos de consumo energético, la identificación de usos significativos de la energía (USE), la propuesta de líneas base e indicadores de desempeño energético (IDEn), así como el planteamiento de oportunidades de mejora según lo estipulado en las normas INTE/ISO 50001, 50002 y 50006.

El alcance no contempla la ejecución directa de mejoras, sino el análisis técnico previo que permita justificar, cuantificar y priorizar acciones basadas en datos trazables. Por ello, el método de investigación adoptado se fundamenta en la recolección documental, el análisis comparativo (realidad vs. debiera), el análisis correlacional de variables energéticas, y el estudio de viabilidad técnica y financiera de las Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) detectadas.

Este enfoque contribuye a generar insumos valiosos para la toma de decisiones organizacionales, facilitando la implementación futura de un Sistema de gestión de la energía, bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia y competitividad.

VIABILIDAD

La viabilidad del presente proyecto se respalda en la disponibilidad de los equipos básicos requeridos para realizar el análisis técnico, tales como una computadora portátil, software de procesamiento de datos y herramientas de consulta bibliográfica digital. Asimismo, se prevé la posibilidad de utilizar instrumentos de medición energética, registros internos o herramientas digitales proporcionadas por la empresa, en función de su disponibilidad. Además, se espera que, de ser necesario, se brinde acceso a plataformas internas de monitoreo o sistemas de gestión ya existentes para el procesamiento de información energética.

Dado que el proyecto no requiere una inversión económica significativa, la ejecución depende principalmente del acceso a los datos y recursos ya disponibles en la empresa. En caso de que surjan gastos menores relacionados como impresiones o materiales complementarios, estos son asumidos por la empresa. Por tanto, el componente financiero no representa una limitante significativa para el desarrollo del trabajo.

El proyecto cuenta con el acompañamiento de un ingeniero guía asignado por la empresa, quien posee el grado académico adecuado y experiencia profesional en el área. Además, se ha identificado una buena disposición por parte del personal operativo y técnico para colaborar en la entrega de información y facilitar el acceso a datos relevantes. La planta cuenta con equipos de trabajo comprometidos con la mejora continua y con experiencia previa en procesos de certificación de normas ISO, lo cual facilita la comprensión y apoyo al enfoque de gestión energética planteado.

La empresa proporciona acceso a registros históricos de consumo energético, facturación eléctrica y de gas, así como a datos relevantes del proceso productivo.

ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO

Durante el desarrollo del proyecto se identifican algunos riesgos que podrían afectar el cumplimiento del cronograma y la calidad de los resultados, por lo que se plantean estrategias de mitigación para su control.

Uno de los principales riesgos es el tiempo limitado disponible para la ejecución de la auditoría energética, la cual requiere una planificación cuidadosa para que las mediciones y análisis sean representativos del comportamiento real de la planta. Para mitigar este riesgo, se contempla la elaboración de un prediagnóstico energético inicial, que permita enfocar los esfuerzos en los sistemas con mayor impacto energético y establecer períodos de medición que reflejen fielmente los ciclos operativos de la instalación.

Otro riesgo identificado es la posible falta de disponibilidad inmediata de equipos de medición especializados, ya que algunos de estos dispositivos podrían encontrarse en uso o mantenimiento. Para gestionar este riesgo, se prevé realizar con anticipación un levantamiento de los instrumentos disponibles en la planta, validando su estado y disponibilidad operativa para agendar correctamente las mediciones requeridas. Como medida de respaldo, se dejará abierta la opción de alquilar equipos necesarios para medición como última alternativa.

Por último, se considera la gestión de la confidencialidad de los datos utilizados en el estudio. Aunque la empresa no impone restricciones absolutas respecto al uso de información técnica, sí establece la necesidad de ser notificada previamente sobre los datos que serán utilizados, publicados o trazados en los informes; por esto se mantendrá una comunicación abierta y transparente con la empresa durante todo el proceso, asegurando que cualquier información incluida en el trabajo académico cuente con el consentimiento previo de la organización.

METODOLOGÍA

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios estadísticos.	Resultados esperados (Indicador de logro)
Realizar un balance energético de la planta para la identificación de los Usos Significativos de la Energía (USE), mediante una auditoría energética alineada con la norma ISO 50002.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de facturación eléctrica y registros de consumo. - Visita técnica para levantamiento de información de equipos y áreas. - Auditoría energética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Facturas eléctricas mensuales. - Registros internos e históricos de operación. - Entrevistas con personal técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación porcentual de consumos por sistema. - Análisis comparativo del consumo por área y tipo de carga. 	Balance energético documentado de la planta
Establecer las Líneas Base Energéticas (LBE) e Indicadores de Desempeño Energético (IDEn), para la evaluación del comportamiento energético de los principales sistemas, utilizando la metodología propuesta en la norma ISO 50006:2014.	<ul style="list-style-type: none"> - Definición de variables relevantes por cada sistema o equipo. - Cálculo de indicadores energéticos normalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos operativos de producción. - Normas ISO 50006 y guías de aplicación. - Documentación técnica interna. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de regresión y correlación entre consumo y variables de producción. - Cálculo de indicadores base. 	Línea base definida para los equipos o sistemas priorizados.
Identificar Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) en la planta, mediante el análisis del rendimiento energético y la comparación con valores de referencia	<ul style="list-style-type: none"> - Comparación del desempeño energético con benchmarks y literatura técnica. - Detección de sobredimensionamiento o ineficiencias de equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudios de sistemas internacionales (SEMI, IEEE). - Consumos actuales de planta. - Resultados del balance energético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Brecha entre consumo real y consumo esperado. - Análisis de impacto energético potencial por mejora propuesta. 	Lista priorizada de OCE con justificación técnica y estimación de ahorros.

técnicos o normativos, para la recomendación de acciones que optimicen el desempeño energético.	- Formulación de propuestas de mejora.			
Elaborar un estudio de prefactibilidad financiera de las Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) identificadas, mediante la aplicación de modelos de análisis financiero, para el respaldo de toma de decisiones y su relación costo-beneficio de su implementación.	- Estimación de inversión requerida. - Cálculo de ahorro potencial en kWh y colones.	- Tarifas eléctricas. - Cotizaciones de proveedores. - Datos económicos de la empresa.	- Aplicación de modelos financieros: ROI, VAN, TIR. - Priorización de OCE según rentabilidad.	Informe técnico con análisis costo-beneficio de cada OCE.

Tabla 2. Metodología por emplear en el desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

CRONOGRAMA

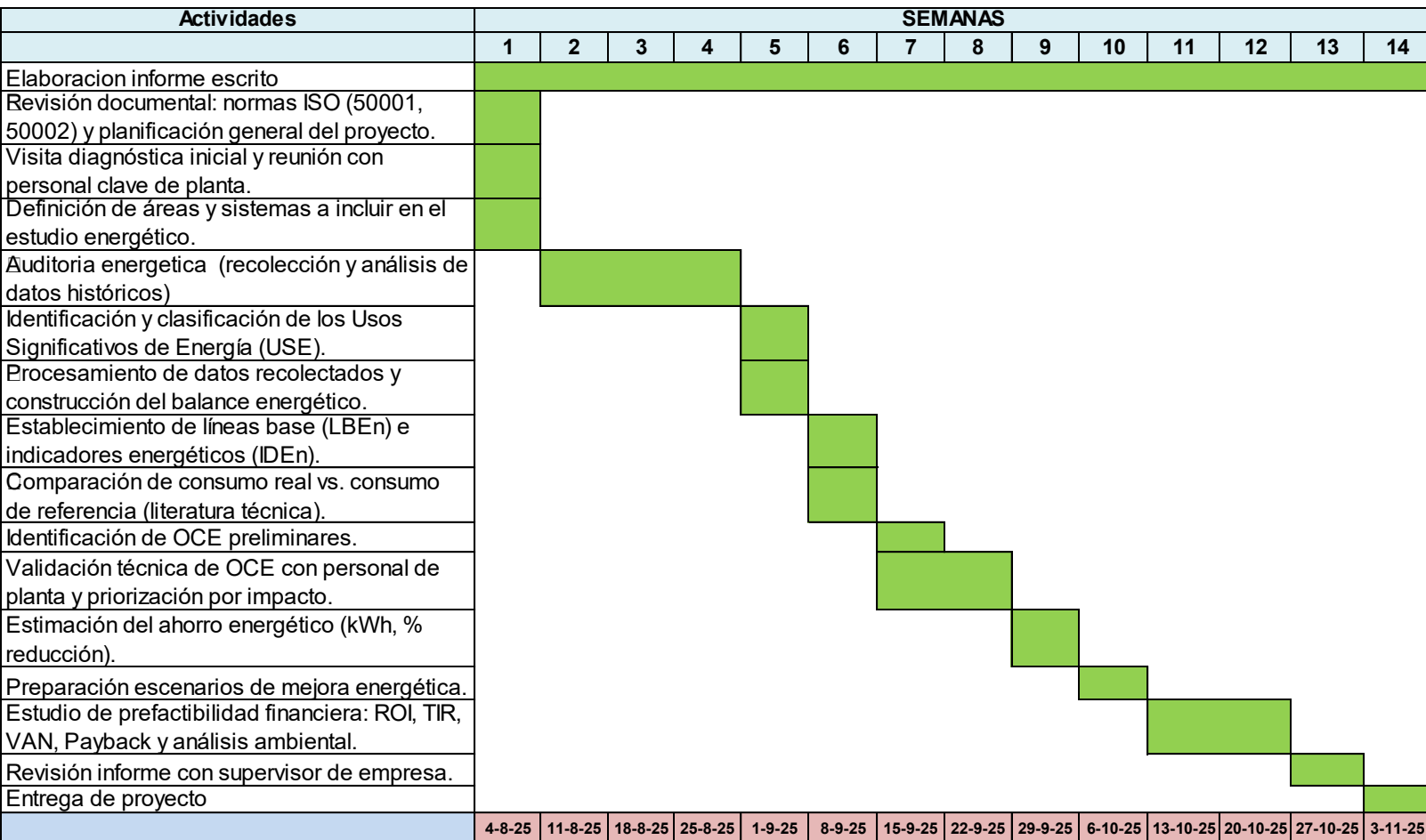


Figura 6. Cronograma de actividades para desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

MARCO TEÓRICO

Al hablar de un modelo de gestión de la energía y del establecimiento de indicadores energéticos, es necesario comprender previamente algunos términos y definiciones generales relacionados con la energía, su consumo, eficiencia y desempeño, así como las normas técnicas aplicables y los métodos de análisis financiero que permiten evaluar la viabilidad de las medidas de mejora energética. A continuación, se exponen los principales conceptos que sustentan teóricamente este proyecto.

1. Energía

La energía puede definirse como la capacidad de realizar un trabajo específico. En el contexto eléctrico, la energía está vinculada con la producción y las horas de operación de los equipos. Su fórmula general es:

$$E = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

La unidad comúnmente empleada es el kilowatt-hora (kWh), lo cual implica que el consumo de energía depende directamente del tiempo de funcionamiento (CNFL, 2020).

2. Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica representa la rapidez con la que se consume la energía. Su símbolo es la letra P y su unidad es el watt (W), siendo más común el kilowatt (kW). Esta depende directamente del diseño y tecnología del equipo, por lo que su reducción en condiciones normales requiere la sustitución del equipo (CNFL, 2020).

3. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía utilizada y la utilidad obtenida. Según Master & Montes (2019), es una herramienta útil para optimizar los procesos productivos, permitiendo obtener más con menos consumo energético. La Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2017) amplía el concepto indicando que se trata de reducir el uso de energía sin afectar la calidad de los

productos ni el confort de los usuarios, implicando también cambios en hábitos y actitudes para lograr una mejora sostenida.

4. Desempeño Energético

Guzmán (2018) define el desempeño energético como el resultado de la interacción entre la eficiencia, el consumo y el uso de la energía. Según la norma ISO 50001:2018, este desempeño debe evaluarse mediante indicadores específicos que reflejen el comportamiento energético de la organización, permitiendo establecer metas y líneas base de comparación (INTECO, 2018).

5. Modelo de Gestión de la Energía

El concepto de gestión de la energía surge como respuesta a la necesidad de dar continuidad a las iniciativas de eficiencia energética. De acuerdo con la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2017), los cambios tecnológicos aislados no generan valor sostenido si no van acompañados por una gestión estructurada. La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI, 2015) plantea que, por medio de un enfoque de mejora continua, es posible mantener los beneficios en el tiempo, reduciendo costos y emisiones.

6. Normas Técnicas Relacionadas

El establecimiento de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) requiere de un marco normativo robusto y articulado. La norma INTE/ISO 50001:2018 constituye la base de este modelo, pero su implementación efectiva demanda la comprensión e integración de otras normas complementarias que guían aspectos específicos como auditorías, certificaciones e indicadores. A continuación, se describen las normas más relevantes:

- **INTE/ISO 50001:2018**

Es la norma principal para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía. Define un enfoque sistemático basado en la mejora continua para lograr un desempeño energético sostenible y eficiente, lo cual incluye la definición de políticas energéticas, objetivos,

líneas base, programas y acciones documentadas (ISO, 2018). Esta norma puede aplicarse a cualquier organización independientemente de su tamaño, tipo o sector, y promueve la integración del SGEEn con otros sistemas de gestión existentes como ISO 9001 o ISO 14001.

- **INTE/ISO 50002:2018**

Especifica los requisitos para realizar auditorías energéticas con calidad, consistencia y comparabilidad. Define los principios, procesos comunes y entregables de una auditoría energética enfocada en el desempeño energético de la organización. Además, señala que una auditoría energética debe ser objetiva, reproducible y trazable, permitiendo identificar oportunidades de mejora energética significativas. Esta norma no cubre la certificación de sistemas de gestión energética, sino que se concentra en las auditorías energéticas como herramienta técnica previa a decisiones estratégicas (INTECO, 2018).

- **INTE/ISO 50003:2018**

Complementa la norma ISO 50001 al establecer los requisitos para la auditoría y certificación del sistema de gestión de la energía. Se enfoca principalmente en los organismos de certificación, especificando requisitos de competencia, coherencia e imparcialidad. Define también el proceso de auditoría, la duración mínima de las auditorías, la frecuencia y el muestreo de sedes múltiples. Este estándar busca asegurar que las organizaciones certificadas realmente cumplan con los requisitos y principios del SGEEn y no se limite a una verificación superficial (INTECO, 2018).

- **ISO 50006:2014**

Proporciona lineamientos detallados para establecer, utilizar y mantener Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) y líneas base energéticas (LBE). Cada organización debe definir sus indicadores de acuerdo con su contexto operativo, tipo de procesos, variables de influencia y metas

energéticas. La norma plantea métodos para seleccionar variables relevantes, normalizar los datos y representar gráficamente la evolución del desempeño energético a través del tiempo. Estos elementos son esenciales para evaluar el impacto de las medidas implementadas y sustentar la toma de decisiones (Consejo Nacional de Energía, 2018).

7. Normativa para Cuartos Limpios

Los cuartos limpios son espacios diseñados para mantener niveles controlados de contaminación, temperatura, humedad y presión, fundamentales en industrias como la médica, farmacéutica o de semiconductores. Su diseño, operación y validación se rigen por normas técnicas internacionales que establecen los parámetros de desempeño ambiental y los métodos de medición asociados.

- **ISO 14644-1:2015**

Esta norma define la clasificación de la limpieza del aire en función de la concentración de partículas en suspensión. Establece los límites máximos permitidos de partículas por metro cúbico de aire para cada clase de limpieza (de ISO Clase 1 a ISO Clase 9), dependiendo del tamaño de las partículas consideradas. En el contexto de la manufactura de semiconductores, esta clasificación es esencial para asegurar la calidad de los procesos, dado que la presencia de contaminantes puede afectar directamente el rendimiento y la confiabilidad de los dispositivos producidos. La norma también describe los procedimientos para la toma de muestras, la selección de ubicaciones de prueba y los criterios de aceptación (ISO, 2015).

- **ASHRAE Design guide for cleanrooms: fundamentals, systems, and performance**

La guía de diseño de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) proporciona lineamientos técnicos detallados para el diseño, selección y operación de sistemas HVAC en cuartos limpios. Incluye principios fundamentales de control de temperatura, humedad, presión diferencial y flujo de aire, así como recomendaciones para

la distribución del aire y la eficiencia energética del sistema. Además, aborda la relación entre los requisitos de pureza del aire y el consumo energético, promoviendo soluciones de diseño que equilibren el desempeño ambiental con la eficiencia operativa. Esta guía complementa la norma ISO 14644-1, al ofrecer criterios prácticos de ingeniería orientados al diseño y mantenimiento de instalaciones de alta exigencia técnica (ASHRAE, 2016).

8. Análisis Financiero de Proyectos Energéticos

La evaluación económica de las oportunidades de mejora energética requiere el uso de indicadores financieros que permitan analizar su viabilidad y rentabilidad:

- Valor Actual Neto (VAN): Representa el valor presente de los flujos netos de efectivo del proyecto. Si el $VAN \geq 0$, el proyecto se considera aceptable (Mete, 2014).
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de descuento que iguala el valor presente de ingresos y egresos del proyecto. Cuanto mayor sea la TIR, más rentable es la inversión (Mete, 2014).
- Retorno sobre la Inversión (ROI): Mide la relación entre el ingreso generado y la inversión realizada, reflejando la eficiencia del capital invertido (Cuevas, 2001).

9. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico utilizado para regular la velocidad y el par de un motor eléctrico de corriente alterna (AC) mediante el control de la frecuencia y el voltaje de la energía suministrada al mismo. Su principio de funcionamiento se basa en la conversión de la corriente alterna de entrada a corriente continua, y posteriormente en la generación de una nueva corriente alterna de salida con frecuencia variable, ajustable según las necesidades del proceso.

El control de velocidad a través de la frecuencia se fundamenta en la relación directa entre la velocidad de rotación del motor (n) y la frecuencia eléctrica (f), expresada por la ecuación:

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

Donde n es la velocidad del motor en revoluciones por minuto (rpm), f la frecuencia en hertz (Hz) y p el número de polos del motor.

OBJETIVO I. BALANCE ENERGÉTICO

Resumen

Qorvo Costa Rica cuenta con dos edificaciones, la primera data de 1990, mientras que la segunda fue construida en el año 2000. El total de la edificación es de 7044 m² de construcción. Sus principales fuentes de energía son la eléctrica, el gas LP y el diésel, siendo la electricidad la principal fuente de energía de toda la planta.

Condiciones de Operación:

Qorvo Costa Rica opera 24/7 en cinco turnos que se describen a continuación:

- Turno A: de lunes a miércoles de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Trabaja domingo de por medio.
- Turno B: de domingo a martes de 6:00 p.m. a 6:00 a.m. Trabaja sábado de por medio.
- Turno C: de jueves a sábado de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. Trabaja domingo de por medio.
- Turno D: de miércoles a viernes de 6:00 p.m. a 6:00 a.m. Trabaja sábado de por medio.
- Turno Administrativo: de lunes a viernes de 7:30 a.m. a 5:00 p.m.

Por lo general se opera todos los días del año, solamente se programan paros generales dos días al año, los cuales se aprovechan para el mantenimiento anual de los transformadores principales. Generalmente esos paros se programan el 15 de septiembre y el 1 de enero.

Para realizar el balance energético se utiliza toda la información recopilada de consumos eléctricos, diésel y gas LP. Algunos de los datos se obtienen a través de medición directa, mientras que otros son calculados por estimación basándose en el dato de placa del equipo.

Para la elaboración del balance eléctrico de la planta, se parte del dato conocido del consumo eléctrico mensual suministrado por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), considerando como período base el año 2024, debido a que representa el año con información más completa y reciente sobre el comportamiento energético de las instalaciones.

El balance eléctrico tiene como objetivo principal determinar la distribución y magnitud del consumo energético en los distintos sistemas, equipos y procesos que conforman la operación industrial, con el fin de identificar los principales consumidores de energía y establecer oportunidades de mejora.

Como punto de partida, se efectuó un inventario detallado de potencias nominales de todos los equipos instalados en planta. Este inventario permitió clasificar los equipos según su tipo de carga y su régimen de operación. En este sentido, algunos equipos presentan una carga constante y operan de manera continua (24 horas al día, los siete días de la semana), como es el caso de los sistemas de bombeo, ventiladores principales y equipos críticos de procesos productivos. Para este tipo de equipos, el consumo energético estimado es altamente confiable, dado que su comportamiento en el tiempo es prácticamente uniforme.

Por otro lado, existen equipos cuya demanda eléctrica varía en función de factores externos, como las condiciones ambientales o el nivel de ocupación de los

espacios. Este es el caso de los sistemas de aire acondicionado, los cuales, a pesar de encontrarse operando la mayor parte del tiempo, presentan una carga dinámica que depende de variables como la temperatura exterior, el nivel de ocupación del recinto, y las condiciones térmicas internas requeridas por los procesos o zonas específicas. Para estos equipos, el consumo no puede estimarse únicamente con base en la potencia de placa, por lo que se les aplica un factor de uso que representa el porcentaje de tiempo efectivo en que trabajan a su potencia nominal. Este factor permite obtener un valor más representativo del consumo real.

Adicionalmente, algunos equipos estratégicos se encuentran monitoreados directamente mediante instrumentos de medición de energía eléctrica instalados internamente en el sistema de gestión energética de la empresa, lo que permite contar con datos precisos y verificados sobre su demanda en tiempo real. Estos datos medidos facilitan la validación del balance energético general y sirven como referencia para ajustar los cálculos de los equipos no instrumentados.

Al partir de la base del consumo facturado mensual, se obtiene la siguiente tabla con los consumos facturados mensualmente:

Mes	Consumo total (kWh)
Enero	943,723
Febrero	908,356
Marzo	1,000,143
Abril	974,926
Mayo	1,083,461
Junio	1,039,658
Julio	1,013,128
Agosto	965,581
Septiembre	924,438
Octubre	928,376
Noviembre	894,041
Diciembre	717,168
Promedio	949,417

Tabla 3. Consumos facturados mensualmente en el año 2024

Fuente: ESPH (2024)

Dentro de los principales sectores consumidores de energía eléctrica identificados en la planta, se destacan aquellos sistemas y áreas que presentan una demanda significativa debido a su funcionamiento continuo, o a la naturaleza de los procesos que desarrollan.

De esta manera, los sectores con mayor incidencia en la demanda eléctrica corresponden a:

- Aires acondicionados (HVAC)
- Equipo de producción
- Compresores de aire
- iluminación
- Sistema de bombas de vacío
- Extractores industriales

A continuación, se procederá con la descripción detallada de cada uno de los sistemas que hacen uso de la energía eléctrica dentro de la planta, con el propósito de comprender su función, características operativas y nivel de incidencia en el consumo total. Cada sistema será descrito considerando aspectos como su principio de funcionamiento, potencia instalada, régimen de operación y condiciones de uso

Aires Acondicionados (HVAC)

Los equipos de climatización en la planta de Qorvo desempeñan un papel fundamental tanto en el mantenimiento de las condiciones de confort térmico en las áreas administrativas como en la garantía de parámetros ambientales controlados en las áreas productivas. En los espacios administrativos, su principal función es mantener temperaturas adecuadas para el bienestar y la productividad del personal, asegurando un ambiente confortable durante la jornada laboral.

Por otro lado, en las áreas de producción y soporte técnico, los sistemas de climatización cumplen un rol más crítico, ya que deben mantener condiciones específicas de temperatura y humedad relativa, establecidas de acuerdo con los requerimientos de los procesos productivos y de los equipos utilizados. En estos entornos, la estabilidad térmica es esencial para preservar la calidad del producto, proteger los equipos sensibles y cumplir con los estándares ambientales exigidos por la industria.

El régimen de operación de los sistemas varía según el tipo de área: las zonas productivas operan de manera continua las 24 horas del día, los siete días de la semana (24/7), por lo que los equipos asociados a estos espacios mantienen un funcionamiento permanente. En contraste, en las áreas administrativas, los sistemas están automatizados para encenderse a las 7:30 a.m. y apagarse a las 5:00 p.m., coincidiendo con la jornada laboral del personal administrativo.

Los equipos que componen los sistemas de aire acondicionado en la planta son:

- Unidades condensadoras (ACU)
- Unidades manejadoras de aire (AHU)
- Unidades de techo (RTU)
- Unidades recirculadoras de aire (RFU)

En el caso de los sistemas de aire acondicionado, es fundamental establecer un factor de uso adecuado para las unidades condensadoras, ya que su consumo energético no es constante y depende de diversas variables operativas y ambientales. Estas variaciones se deben principalmente a la carga térmica interna del recinto, la cantidad de personas presentes y la temperatura exterior, factores que influyen directamente en el tiempo de funcionamiento efectivo y en la potencia demandada por cada equipo.

Para las unidades condensadoras ubicadas en áreas no productivas, como oficinas o espacios administrativos, ya se dispone de los respectivos factores de uso determinados en función de los horarios de operación. No obstante, en el caso

de las unidades instaladas en áreas productivas, las cuales operan de manera continua las 24 horas del día, los siete días de la semana (24/7), es necesario estimar dichos factores mediante un análisis más detallado.

Esto se debe a que el consumo energético de los equipos en áreas productivas presenta una variabilidad significativa, influenciada por las condiciones térmicas internas y la dinámica del proceso productivo. Además, muchas de estas unidades cuentan con múltiples compresores que operan de manera dosificada o secuencial, activándose según la demanda térmica del momento o actuando como respaldo. Por tanto, para obtener un factor de uso representativo, se requiere relacionar los datos de placa de los equipos (potencia y corriente nominales) con mediciones directas de consumo eléctrico realizadas en distintos periodos de tiempo. De esta forma, se logra una aproximación más precisa y realista del comportamiento energético de los sistemas bajo condiciones normales de operación.

En cuanto a las unidades manejadoras de aire (AHU) y las unidades de recirculación de aire (RFU), sus factores de uso se consideran iguales a 1, dado que operan de forma continua y con carga prácticamente constante, manteniendo el flujo de aire requerido en los espacios controlados. Por su parte, las unidades tipo rooftop (RTU) utilizadas para climatizar las áreas administrativas cuentan con su factor de uso establecido, determinado a partir de los horarios de encendido y apagados automáticos programados en el sistema de control.

La correcta determinación de estos factores de uso es esencial para el balance eléctrico general de la planta, ya que permite estimar de manera más precisa el consumo real de los sistemas HVAC, evitando sobreestimaciones o subestimaciones que puedan distorsionar el análisis energético.

A continuación, se listan todas las unidades condensadoras con sus consumos nominales y respectivos factores de uso (si son conocidos):

Equipos de Climatización Qorvo					
Equipo	Potencia nominal (kW)	Factor de uso	Horas de Trabajo Diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
CR-HVAC-ACU-01NB	91.29	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-02NB	91.29	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-03NB	45.64	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-04NB	45.64	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-05	5.56	0.4	24	53.376	1601.28
CR-HVAC-ACU-06	12.68	0.4	24	121.728	3651.84
CR-HVAC-ACU-07	6.71	0.4	24	64.416	1932.48
CR-HVAC-ACU-12OB	5.97	0.4	24	57.312	1719.36
CR-HVAC-ACU-13OB	8.95	0.4	24	85.92	2577.6
CR-HVAC-ACU-14OB	4.1	0.4	24	39.36	1180.8
CR-HVAC-ACU-16OB	6.34	0.3	24	45.648	1369.44
CR-HVAC-ACU-1AB	137.21	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-1COB	12.68	0.25	24	76.08	2282.4
CR-HVAC-ACU-3OB	48.63	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-4OBN	25.36	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-5OBN	49.24	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-7OB	7.09	0.35	10	24.815	744.45
CR-HVAC-ACU-SHIPPING	12.68	0.35	10	44.38	1331.4
CR-HVAC-ACU-8OB	6.34	0.35	24	53.256	1597.68
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.44	-	24	-	-
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.44	-	24	-	-
CR-HVAC-ACU-IT01	9.33	0.6	24	134.352	4030.56

Tabla 4. Consumos de unidades condensadoras

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de los factores de uso de las unidades condensadoras instaladas en las áreas de producción, se emplea como metodología la medición directa de la corriente eléctrica que consumen los equipos en un instante determinado. A partir del valor de corriente medida y del voltaje nominal conocido de cada unidad, es posible determinar la potencia eléctrica instantánea mediante la siguiente ecuación:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times FP$$

Donde:

P : es la potencia eléctrica (W)

V : es el voltaje de línea (V)

I : es la corriente medida (A)

FP : es el factor de potencia del equipo.

Este procedimiento permite obtener una estimación puntual de la potencia consumida, que posteriormente se utiliza para determinar el promedio diario de consumo de cada unidad. Para ello, se realizaron mediciones de corriente cada hora desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., complementadas con dos mediciones adicionales a las 12:00 a.m. (medianoche) y a las 3:00 a.m., con el fin de contar con una muestra representativa del comportamiento eléctrico a lo largo de las 24 horas del día.

El proceso de medición se repitió durante una semana completa, con el objetivo de capturar las variaciones de carga y los patrones de funcionamiento típicos de cada unidad condensadora.

Una vez obtenidos los valores de corriente en distintos periodos de tiempo, se procede a calcular la potencia promedio diaria para cada equipo, y con estos resultados se determina el factor de uso, el cual se define como la relación entre la potencia real promedio y la potencia nominal de placa del equipo. Dicha relación se expresa matemáticamente como:

$$FU = \frac{P_{promedio}}{P_{nominal}}$$

Donde:

FU : factor de uso (adimensional)

$P_{promedio}$: potencia eléctrica promedio medida (kW)

$P_{nominal}$: potencia nominal indicada en el manual del equipo (kW)

Este análisis es esencial, ya que las unidades condensadoras no operan constantemente a su capacidad máxima, sino que ajustan su consumo en función

de la carga térmica demandada y del funcionamiento secuencial de los compresores. Por lo tanto, el factor de uso obtenido refleja de manera más precisa el comportamiento energético real de los sistemas HVAC en condiciones operativas normales.

Los valores medidos de corriente eléctrica correspondientes a cada unidad se presentan en el Apéndice correspondiente, debido a la extensión de los datos de corriente registrados. En la siguiente tabla, se muestran los cálculos resumidos de potencia promedio diaria para la unidad condensadora y el cálculo resultante de su factor de uso respectivo.

ACU-01NB		
Horas de uso	24	
Voltaje (V)	480	
Ø	trifásico	
Mediciones		
Día	I promedio (A)	Consumo promedio (kWh)
Lunes	32.74	24.50
Martes	33.88	25.35
Miércoles	32.53	24.34
Jueves	30.73	22.99
Viernes	29.49	22.06
Consumo prom/diaria (kWh)	572.35	
Consumo nominal/diaria (kWh)	2190.96	
Factor de uso	0.26	

Tabla 5. Cálculo de consumo y factor de uso

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos de los factores de uso para las restantes unidades condensadoras se presentan en los apéndices, junto con el detalle de los valores de corriente obtenidos.

Enseguida, se procede al diseño y elaboración de la tabla resumen que contiene el total de todos los valores de consumo eléctrico correspondientes a los equipos de aire acondicionado.

Equipos de Climatización Qorvo					
Equipo	Potencia nominal (kW)	Factor de uso	Horas Trabajo Diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
CR-HVAC-ACU-01NB	91.29	0.26	24	569.65	17089.49
CR-HVAC-ACU-02NB	91.29	0.27	24	591.56	17746.78
CR-HVAC-ACU-03NB	45.64	0.10	24	109.54	3286.08
CR-HVAC-ACU-04NB	45.64	0.03	24	32.86	985.82
CR-HVAC-ACU-05	5.56	0.40	24	53.38	1601.28
CR-HVAC-ACU-06	12.68	0.40	24	121.73	3651.84
CR-HVAC-ACU-07	6.71	0.40	24	64.42	1932.48
CR-HVAC-ACU-12OB	5.97	0.40	24	57.31	1719.36
CR-HVAC-ACU-13OB	8.95	0.40	24	85.92	2577.60
CR-HVAC-ACU-14OB	4.10	0.40	24	39.36	1180.80
CR-HVAC-ACU-16OB	6.34	0.30	24	45.65	1369.44
CR-HVAC-ACU-1AB	137.21	0.32	24	1053.77	31613.18
CR-HVAC-ACU-1COB	12.68	0.25	24	76.08	2282.40
CR-HVAC-ACU-3OB	48.63	0.25	24	291.78	8753.40
CR-HVAC-ACU-4OBN	25.36	0.07	24	42.60	1278.14
CR-HVAC-ACU-5OBN	49.24	0.34	24	401.80	12053.95
CR-HVAC-ACU-7OB	7.09	0.35	10	24.82	744.45
CR-HVAC-ACU-SHIPPING	12.68	0.35	10	44.38	1331.40
CR-HVAC-AHU-SHIPPING	3.73	1.00	24	89.52	2685.60
CR-HVAC-ACU-8OB	6.34	0.35	24	53.26	1597.68
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.44	0.44	24	15.21	456.19
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.44	0.44	24	15.21	456.19
CR-HVAC-ACU-IT01	9.33	0.60	24	134.35	4030.56
CR-HVAC-AHU-RTU-01	18.35	0.40	10	73.40	2202.00
CR-HVAC-AHU-RTU-03	18.35	0.40	10	73.40	2202.00
CR-HVAC-AHU-RTU-04	18.35	0.40	10	73.40	2202.00
CR-HVAC-AHU-RTU-05	61.90	0.17	24	252.55	7576.56
CR-HVAC-AHU-RTU-06	61.90	0.19	24	282.26	8467.92
CR-HVAC-AHU-RTU-07	61.90	0.57	24	846.79	25403.76
CR-HVAC-AHU-RTU-08	61.90	0.05	10	30.95	928.50
CR-HVAC-RFU-1	14.92	1	24	358.08	10742.40

CR-HVAC-RFU-2	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-RFU-3	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-RFU-4	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-RFU-5	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-RFU-6	7.46	1	24	179.04	5371.20
CR-HVAC-RFU-7	7.46	1	24	179.04	5371.20
CR-HVAC-RFU-8	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-RFU-9	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-RFU-10	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-AHU-01	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-AHU-02	14.92	1	24	358.08	10742.40
CR-HVAC-AHU-03	5.60	1	24	134.40	4032.00
CR-HVAC-AHU-04	5.60	1	24	134.40	4032.00
CR-HVAC-AHU-05	5.59	1	24	134.16	4024.80
CR-HVAC-AHU-06	5.59	1	24	134.16	4024.80
CR-HVAC-AHU-07	0.37	1	24	8.88	266.40
CR-HVAC-AHU-12OB	8.95	1	24	214.80	6444.00
CR-HVAC-AHU-13OB	8.95	1	24	214.80	6444.00
CR-HVAC-AHU-14OB	1.49	1	24	35.76	1072.80
CR-HVAC-AHU-15OB	0.75	1	24	18.00	540.00
CR-HVAC-AHU-16OB	0.75	1	24	18.00	540.00
CR-HVAC-AHU-1AOB	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-AHU-1BOB	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-AHU-1COB	5.60	1	24	134.40	4032.00
CR-HVAC-AHU-2OD	7.46	1	24	179.04	5371.20
CR-HVAC-AHU-3OB	11.19	1	24	268.56	8056.80
CR-HVAC-AHU-4OBN	17.46	1	24	419.04	12571.20
CR-HVAC-AHU-5OB	22.38	1	24	537.12	16113.60
CR-HVAC-AHU-7OB	2.24	1	24	53.76	1612.80
CR-HVAC-AHU-8OB	8.95	1	24	214.80	6444.00
CR-HVAC-AHU-IT01	1.12	1	24	26.88	806.40
CR-HVAC-AHU-IT02	1.12	1	24	26.88	806.40
Total				12,762.18	382,865.26

Tabla 6. Consumos totales de equipos HVAC

Fuente: Elaboración propia.

Aire Comprimido

En el sistema de aire comprimido de la planta se dispone de un total de siete compresores, los cuales se encuentran interconectados en una red tipo anillo, diseñada para garantizar una presión constante y una distribución uniforme del aire comprimido en todas las áreas de consumo.

La potencia total instalada de este conjunto asciende aproximadamente a 800 HP, lo que representa una porción significativa del consumo energético total de la planta.

El principio de operación de la red se basa en mantener una gestión eficiente de la carga: los compresores equipados con sistema de modulación carga/descarga se programan para trabajar al 100% de su capacidad durante los periodos de máxima demanda, mientras que el compresor principal, de 200 HP, cuenta con un variador de frecuencia (VFD) que permite ajustar su velocidad de operación según las variaciones de consumo en la red. Este compresor modula típicamente entre un 65% y un 85% de su capacidad, absorbiendo las fluctuaciones de demanda y optimizando el uso de energía.

Adicionalmente, el sistema cuenta con tres generadores de nitrógeno destinados al proceso productivo, los cuales operan a una pureza de 500 ppm de oxígeno. Cada generador dispone de un compresor de aire independiente, garantizando la estabilidad del suministro de aire requerido para la generación del gas. En la actualidad, solo uno de los generadores se mantiene en operación continua, mientras que los otros dos se conservan en condición de respaldo, listos para entrar en servicio en caso de mantenimiento o falla del equipo principal.

A continuación, se presenta la tabla resumen con los cálculos de los consumos eléctricos totales asociados a los equipos del sistema de aire comprimido y a los generadores de nitrógeno.

Consumo Mensual Compresores de Aire Comprimido						
Equipo	Estado	Potencia (HP)	Relación Carga/Descarga	Horas de trabajo diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
CDA1	Apagado	100	80%	0	0	0
CDA2	Apagado	100	80%	0	0	0
CDA3	Apagado	100	80%	0	0	0
CDA4	Apagado	100	80%	0	0	0
CDA5	Encendido	100	100%	24	1,790.4	53,712
CDA6	Apagado	100	80%	0	0	0
CDA7	Encendido	200	66%	24	2,363.3	70,899.8
CDA8	Encendido	200	50%	24	1,790.4	53,712
NNI COMP1	Encendido	75	80%	24	1,074.2	32,227.2
NNI COMP2	Apagado	75	80%	0	0	0
NNI COMP3	Apagado	75	80%	0	0	0
				Total	7,080.8	212,423.0

Tabla 7. Consumos de equipos de aire comprimido

Fuente: Elaboración propia

Sistema de Bombas de Vacío

El sistema de vacío de la planta está conformado por dos anillos principales, los cuales tienen como función el suministro de vacío a los distintos equipos y líneas de producción que lo requieren para sus operaciones. Cada anillo se encuentra diseñado para trabajar a diferentes niveles de presión, de acuerdo con las exigencias específicas de los procesos productivos.

El primer anillo opera a una presión de -550 mbar, mientras que el segundo anillo trabaja a una presión más profunda de -800 mbar, lo que permite atender equipos que demandan un mayor nivel de vacío. Ambos sistemas cuentan con bombas de vacío de desplazamiento positivo, diseñadas para mantener una presión estable y continua dentro de los márgenes de operación establecidos, incluso ante variaciones en la demanda.

Actualmente, solo el sistema correspondiente al edificio 2 se encuentra en funcionamiento, siendo este el que abastece directamente las líneas de producción

activas. El segundo sistema se mantiene en condición de reserva operativa, lo cual permite contar con redundancia y respaldo en caso de mantenimientos preventivos, correctivos o fallas en el sistema principal.

A continuación, se presenta la tabla de cálculos correspondiente, donde se detallan las potencias instaladas, los factores de uso y los consumos energéticos estimados de las bombas de vacío que conforman la red.

Consumo Mensual Bombas de Vacío					
Equipo	Potencia nominal (kW)	Factor de uso	Horas de trabajo diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
SPNCR01	15.08	100%	24	361.92	10,857.60
VAC23	9.048	100%	24	217.15	6,514.56
VAC24	9.048	100%	24	217.15	6,514.56
VAC28	22.62	65%	24	352.87	10,586.16
VAC29	22.5	0%	0	0	0.00
VAC30	37.3	0%	0	0	0.00
Total				1,149.10	34,472.88

Tabla 8. Consumo de sistema de vacío

Fuente: Elaboración propia.

Equipo de Producción

Para el análisis del consumo eléctrico correspondiente al sector de producción, se procedió inicialmente a realizar una evaluación diferenciada de los dos edificios principales donde se concentran los equipos productivos. El objetivo de este procedimiento es determinar de manera precisa el consumo energético asociado exclusivamente a las actividades de producción, separándolo de las demás cargas generales del edificio.

En primera instancia, se abordó el edificio 1, el cual cuenta con cuatro tableros eléctricos principales encargados de alimentar a todos los equipos de producción ubicados en esta área. Para determinar el consumo correspondiente, se realizó la medición directa de corriente en las tres fases de cada tablero mediante el uso de un analizador de redes o pinza amperimétrica de precisión. Posteriormente, con los valores obtenidos, se calculó la corriente promedio trifásica

de cada tablero, y con base en el voltaje nominal del sistema, se estimó la potencia eléctrica activa empleando las relaciones conocidas entre corriente, tensión y factor de potencia. Este procedimiento permitió obtener una estimación confiable y representativa del consumo eléctrico total de los equipos de producción del edificio 1.

Tablero eléctrico	F1 (A)	F2 (A)	F3 (A)	I prom. (A)	Voltaje (V)	Potencia (kW)
XFMR-1	85	75	114	91.3	480	
XFMR-2	27	28	26	27	480	
TC2	63	73	79	71.7	480	
TC3	28	19	19	22	480	
Total	203	195	238	212		176.253

Tabla 9. Consumo de equipo de producción de edificio #1

Fuente: Elaboración propia.

Una ventaja importante de este sector es que los equipos productivos presentan una demanda eléctrica relativamente estable, sin picos de potencia significativos, debido a que la mayoría de ellos operan con motores de baja potencia y sistemas de control electrónico. Esta característica facilita la medición y análisis del consumo, ya que los valores registrados tienden a mantenerse constantes durante los periodos de operación normal.

En cuanto al edificio 2, los equipos de producción se encuentran conectados a varios tableros asociados a un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS). Este sistema permite garantizar la continuidad del suministro eléctrico en caso de interrupciones, y a su vez facilita el monitoreo de la energía consumida. La UPS cuenta con su propio medidor integrado, el cual proporciona de manera directa el valor total del consumo eléctrico correspondiente a las cargas conectadas, que en este caso son exclusivamente los equipos de producción.

Equipo	Potencia (KW)
Tablero UPS	185
Total	185

Tabla 10. Consumo de equipo de producción de edificio #2

Fuente: Elaboración propia.

Con los detalles de la potencia instalada en cada edificio, se procede a calcular el consumo energético total consolidado de toda la planta, integrando los resultados de cada sistema.

Consumo total equipo de producción					
P. edificio 1 (kW)	P. edificio 2 (kW)	Potencia total (kW)	Horas de uso	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)
176.3	185.0	361.3	24.0	8,670.1	260,102.5

Tabla 11. Consumo total de equipo de producción

Fuente: Elaboración propia.

Iluminación

En Qorvo, la iluminación artificial se encuentra instalada en la mayoría de las áreas del edificio, con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de visibilidad y confort para los usuarios y operaciones productivas. La iluminación predominante en el interior de los espacios se compone principalmente de luminarias para cielo suspendido con dimensiones de 1.22 m x 0.60 m, equipadas cada una con tres tubos fluorescentes T8, los cuales proporcionan un nivel de iluminación uniforme y eficiente para áreas de trabajo estándar.

En la zona de oficinas administrativas del segundo piso, se han implementado paneles LED para cielo suspendido, reemplazando las luminarias fluorescentes tradicionales. Esta medida permite no solo una mayor eficiencia energética, sino también una iluminación más uniforme y con mejor calidad de luz para las tareas administrativas.

En las áreas exteriores, se utilizan reflectores LED, seleccionados para ofrecer una adecuada luminosidad en pasillos, estacionamientos y zonas de circulación, mientras que en la bodega de cartón se cuenta con dos “solar tubes”, los cuales permiten el aprovechamiento de la luz natural durante las horas de día, reduciendo así la dependencia de la iluminación artificial y optimizando el consumo energético.

Para facilitar la organización y el análisis del consumo energético, a continuación, se presentan las tablas con los consumos de las cargas de iluminación correspondientes a todas las áreas de la planta.

Consumo Mensual en Iluminación Qorvo							
Cant.	Potencia (Watts)	Cantidad Tubos	Tipo Luminaria	Ubicación	Uso Diario (h/día)	Potencia Área (Watts)	Consumo Mensual (kWh)
13	32	3	Fluorescente	Sala reuniones 1	12	1248	449.3
6	40	N/A	LED	Recepción	12	240	86.4
7	32	3	Fluorescente	Oficinas recepción	12	672	241.9
2	32	3	Fluorescente	Sistemas	12	192	69.1
5	32	3	Fluorescente	Dicing saw	12	480	172.8
15	40	N/A	LED	Sala de training II	8	600	144
34	75	N/A	LED	Oficinas del II	14	2550	1,071.00
41	75	N/A	LED	Oficinas de gerentes	12	3075	1,107.00
4	32	3	Fluorescente	Bodega de DIES	24	384	276.5
14	32	3	Fluorescente	Bodega de Bases	24	1344	967.7
20	32	3	Fluorescente	Bodega prod term	24	1920	1,382.40
7	32	3	Fluorescente	Andén	24	672	483.8
4	32	3	Fluorescente	Taller de R&M	18	384	207.4
14	57	2	Fluorescente	Cuarto de máquinas I	24	798	574.6
8	57	2	Fluorescente	Cuarto de máquinas II	24	456	328.3
6	40	N/A	LED	Taller de facilites	24	240	172.8
2	57	3	Fluorescente	Cuarto eléctrico I	24	57	41
2	57	2	Fluorescente	Bodega de facilites	10	57	17.1

2	57	2	Fluorescente	Sobre dicing saw	6	57	10.3
2	57	2	Fluorescente	Plenun I sobre final 1	12	57	20.5
8	57	2	Fluorescente	Cuarto limpio	12	228	82.1
4	57	2	Fluorescente	Cuarto eléctrico II	24	114	82.1
9	57	2	Fluorescente	Plenun II	16	256.5	123.1
13	32	3	Fluorescente	Oficina Gerardo Chaves	24	1248	898.6
3	32	3	Fluorescente	Rayos X	24	288	207.4
3	40	N/A	LED	Incoming insp	24	120	86.4
1	40	N/A	LED	Incoming insp	24	40	28.8
24	32	3	Fluorescente	Dicing saw	24	2304	1,658.90
4	32	3	Fluorescente	Ingeniería proceso	24	384	276.5
81	32	3	Fluorescente	Ensamble final I	24	7776	5,598.70
2	40	N/A	LED	Oficina de supervisores	24	80	57.6
4	40	N/A	LED	Vestíbulo cuarto limpio I	24	160	115.2
157	32	3	Fluorescente	Cuarto limpio I	24	15072	10,851.80
96	32	3	Fluorescente	Ensamble final II	24	9216	6,635.50
4	32	3	Fluorescente	Producto	24	384	276.5
4	32	3	Fluorescente	Vestíbulo cuarto limpio II	24	384	276.5
155	32	3	Fluorescente	Cuarto limpio II	24	14880	10,713.60
24	32	3	Fluorescente	Soda	24	2304	1,658.90
8	40	N/A	LED	Cocina	14	320	134.4
11	40	N/A	LED	Pasillo sur	24	440	316.8
20	40	N/A	LED	Pasillo oeste	24	800	576

3	40	N/A	LED	Baños de hombres	24	120	86.4
4	32	3	Fluorescente	Baños de mujeres	24	384	276.5
7	40	N/A	LED	Pasillo norte	24	280	201.6
8	40	N/A	LED	Pasillo este	24	320	230.4
5	32	3	Fluorescente	Baños de hombres oeste	24	480	345.6
5	32	3	Fluorescente	Baños de mujeres oeste	24	480	345.6
2	57	2	Fluorescente	Pasillo sobre bodega	8	57	13.7
12	40	N/A	LED	Pasillo II piso	24	480	345.6
4	40	N/A	LED	Baño de mujeres II	24	160	115.2
4	40	N/A	LED	Baño de hombres II	24	160	115.2
11	40	N/A	LED	Pasillo edificio II	24	440	316.8
1	40	N/A	LED	Gradadas edif II	14	10	4.2
Total					75,652.5	50,947.56	

Tabla 12. Consumo total de equipo de iluminación

Fuente: Elaboración propia.

Sistema de extracción

El sistema de extracción de aire de la planta está conformado por equipos individualizados, diseñados específicamente para atender las diferentes necesidades de ventilación y extracción de cada área o proceso.

A continuación, se presenta la tabla detallada con la información de cada uno de los equipos de extracción, incluyendo características como capacidad, potencia nominal y factores de uso.

Consumo Sistema Extracción					
Equipo	Potencia (kW)	Factor de uso	Horas de trabajo diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
EEF-01	0.57	0	24	0	0
EEF-02	0.75	1	24	18.1	542.88
EEF-03	0.38	1	24	9.05	271.44
EEF-04	0.13	1	24	3.08	92.29
EEF-05	0.13	0	24	0	0
EEF-06	0.13	0	24	0	0
EEF-07	1.13	1	24	27.14	814.32
EEF-08	0.19	1	24	4.52	135.72
EEF-09	1.13	1	24	27.14	814.32
EEF-10	0.38	1	24	9.05	271.44
EEF-11	0.38	1	24	9.05	271.44
EEF-12	0.75	1	24	18.1	542.88
EIF-14	7.54	1	24	180.96	5428.8
EIF-15	7.54	1	24	180.96	5428.8
IEF-01	0.04	1	24	0.9	27.14
IEF-02	0.04	1	24	0.9	27.14
IEF-03	0.13	1	24	3.08	92.29
IEF-05	0.75	0	24	0	0
IEF-07	0.19	0	24	0	0
IEF-08	5.66	1	24	135.72	4071.6
IEF-09	5.66	0	24	0	0
IEF-12	5.66	1	24	135.72	4071.6
IEF-13	5.66	1	24	135.72	4071.6
IEF-14	5.66	1	24	135.72	4071.6
IEF-15	5.66	0	24	0	0
IEF-16	5.66	0	24	0	0
IEF-17	0.13	0	24	0	0
IEF-18	0.57	0	24	0	0
IEF-19	1.51	1	24	36.19	1085.76
IEF-20	5.66	1	24	135.72	4071.6
IEF-21	0.38	0	24	0	0
IEF-22	0.57	1	24	13.57	407.16
IEF-23	0.57	0	24	0	0
IEF-24	3.77	1	24	90.48	2714.4
Total				1,310.87	39,311.81

Tabla 13. Consumo total de sistema de extracción

Fuente: Elaboración propia.

Una vez completado el levantamiento detallado de los consumos de los principales sistemas eléctricos de la planta, es posible proceder al cálculo del consumo total de energía eléctrica. Este proceso permite consolidar la información obtenida de cada uno de los equipos y sistemas medidos, sumando sus consumos individuales para determinar el balance eléctrico integral de toda la planta. Además, se muestra la distribución de la carga instalada por edificio.

Distribución edificio 1	KW
Compresores aire comprimido	47.36
Aires Acondicionados	295.00
Bombas de Vacío	0.00
Iluminación	42.47
Producción	176.25
Extractores Dicing	22.58
Total	583.66

Tabla 14. *Carga instalada en edificio #1*

Fuente: Elaboración propia.

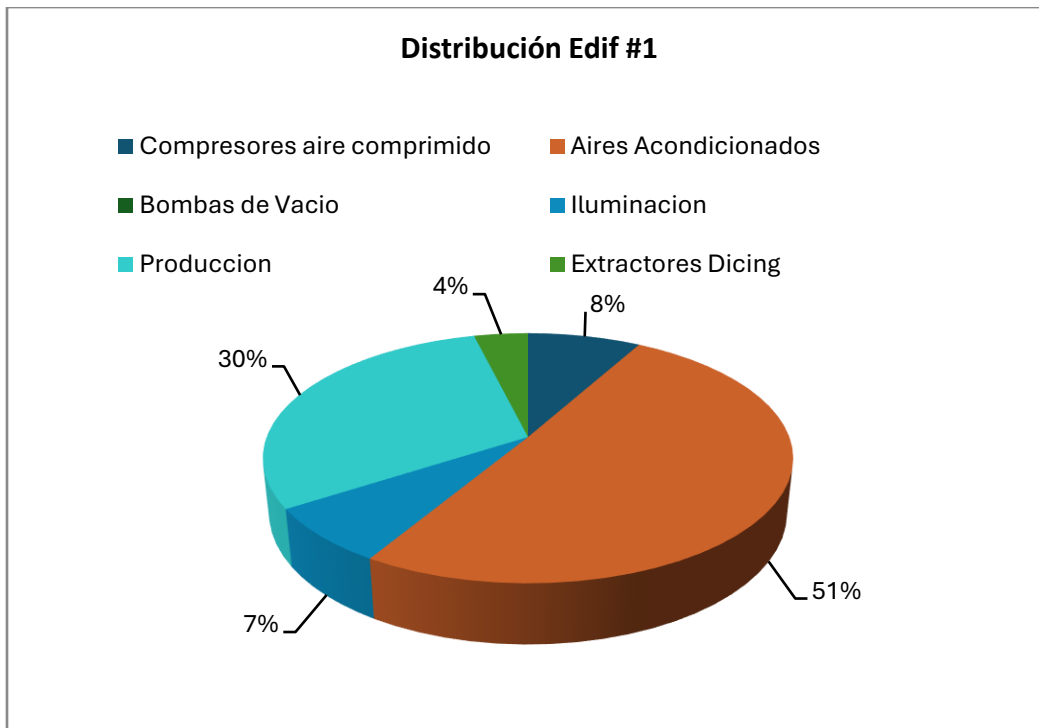


Figura 7. *Distribución porcentual por sistema en edificio #1*

Fuente: Elaboración propia.

Distribución edificio 2	KW
Compresores aire comprimido	247.67
Aires Acondicionados	245.83
Bombas de Vacío	47.54
Iluminación	33.40
Producción	185.00
Extractores	32.018
Total	759.45

Tabla 15. Carga instalada en edificio #2

Fuente: Elaboración propia.

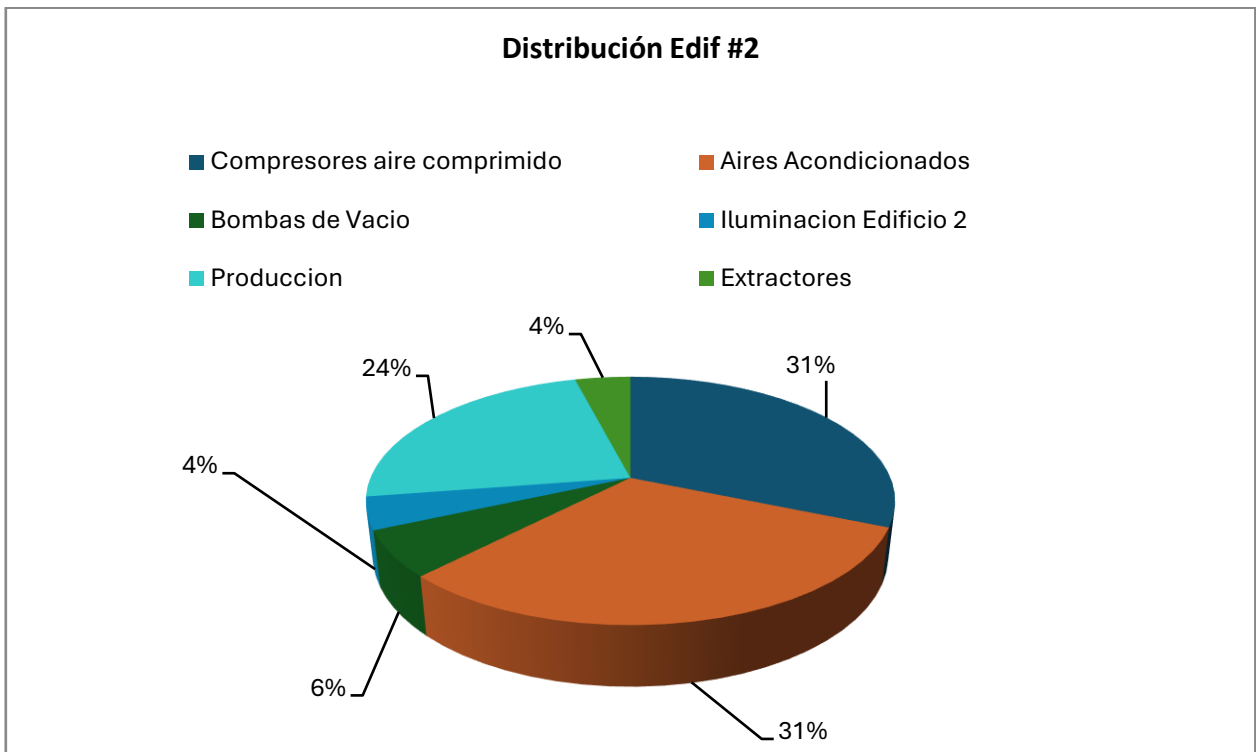


Figura 8. Distribución porcentual por sistema en edificio #2

Fuente: Elaboración propia.

Distribución Total	Consumo mensual (kWh)
Compresores aire comprimido	212,423.04
Aires Acondicionados	381,727.10
Bombas de Vacío	34,232.40
Iluminación	50,947.56
Producción	260,102.51
Extractores	39,311.81
Total	978,744.41

Tabla 16. Consumo eléctrico mensual de la planta

Fuente: Elaboración propia

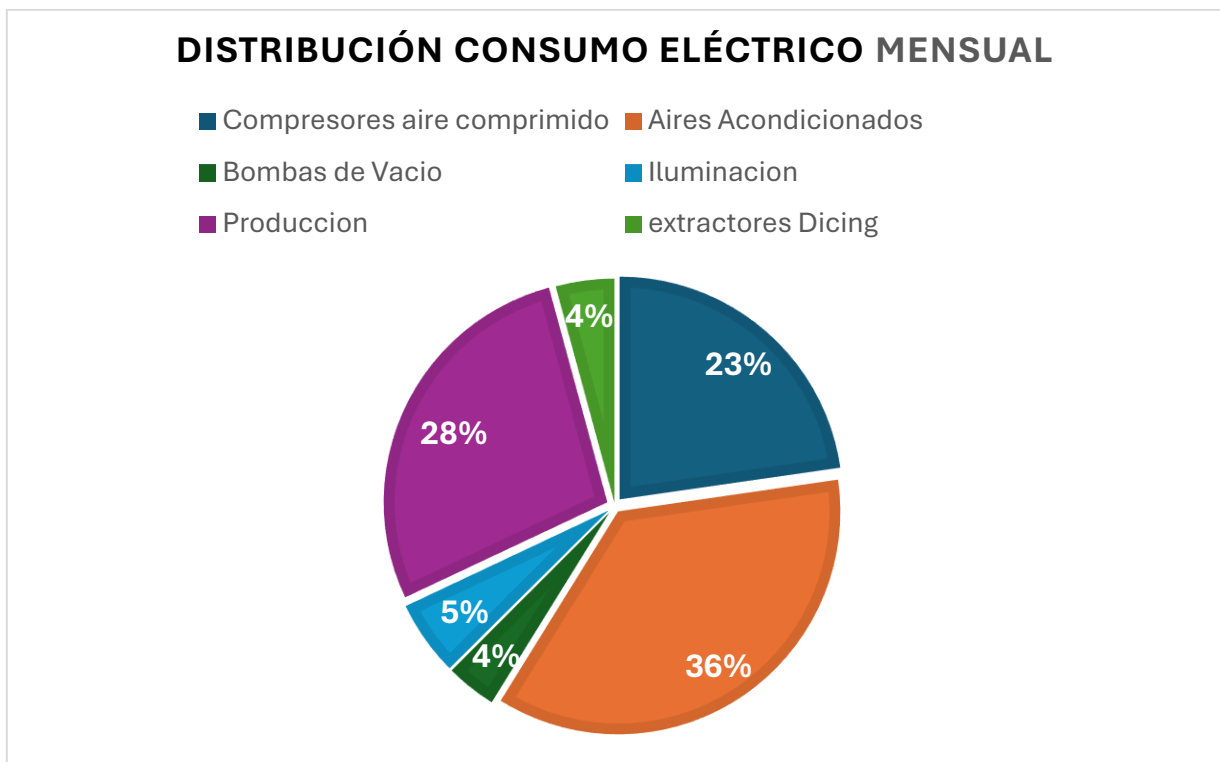


Figura 9. Distribución consumo eléctrico mensual

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el balance eléctrico, con el objetivo de corroborar la exactitud y confiabilidad de los cálculos, se procedió a comparar los consumos estimados de los principales sistemas eléctricos con los valores de facturación del

mes de septiembre de 2024. Esta comparación permite evaluar el porcentaje de error entre los datos medidos y los registrados por la compañía suministradora, brindando un indicador de precisión del balance llevado a cabo. La elección del mes de septiembre se debe a que muchas de las mediciones efectuadas para este proyecto se hicieron durante septiembre de 2025, lo cual permite un mejor ajuste estacional y una comparación más representativa entre ambos conjuntos de datos.

Consumo eléctrico facturado 2024	
Mes	Consumo total (kWh)
Enero	943,723
Febrero	908,356
Marzo	1,000,143
Abril	974,926
Mayo	1,083,461
Junio	1,039,658
Julio	1,013,128
Agosto	965,581
Septiembre	924,438
Octubre	928,376
Noviembre	894,041
Diciembre	717,168
Promedio	949,417

Tabla 17. Consumo facturado indicado en mes de septiembre 2024

Fuente: ESPH (2025)

Balance eléctrico realizado septiembre 2025	% Error respecto mes septiembre 2024
Consumo total (kWh)	5.5%
978,744.41	

Tabla 18. Porcentaje de error entre consumo facturado vs. consumo proyectado

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 18, el porcentaje de error obtenido fue de 5.5%, lo que demuestra una excelente aproximación entre los consumos calculados y los reales. Este resultado respalda la validez del balance eléctrico y confirma que los datos obtenidos pueden ser utilizados como base confiable para el análisis del consumo total de electricidad en la planta, así como para la identificación de oportunidades de ahorro y optimización energética.

A continuación, se procede a realizar el balance de hidrocarburos, los cuales, si bien no se utilizan directamente en los procesos productivos, cumplen funciones importantes en equipos de soporte, tales como la cocina industrial, los sistemas de protección contra incendios o los generadores eléctricos de respaldo. La correcta contabilización de estos consumos es fundamental y alineada a las normativas para obtener una visión integral del consumo energético de la planta.

Equipos consumidores de gas LP

Los equipos de cocina representan el mayor consumo de gas LP, dado su uso constante en la preparación de alimentos y la operación de cocinas industriales. Por otra parte, se registra un consumo significativamente menor en el montacargas, que utiliza hidrocarburos de manera ocasional y representa solo una fracción reducida del consumo total de este tipo de energía en la planta.

Para determinar el consumo energético de los hidrocarburos, se parte de los costos totales de adquisición del combustible utilizado en la planta durante el período de análisis. A partir de esta información económica, se calcula el equivalente energético en terajulios (TJ), utilizando los factores de conversión correspondientes al tipo de hidrocarburo.

Este procedimiento permite homogeneizar las diferentes fuentes de energía, facilitando la comparación y relación del consumo de hidrocarburos con la energía eléctrica, que constituye la principal fuente energética de la planta.

Compra total de Gas LP en el año 2024			
Hidrocarburo	Compra total anual (€/año)	Consumo anual (l/año)	Energía anual (TJ/año)
LPG	2,065,133.23	12,240.83	0.30

Tabla 19. Consumo total Gas LP

Fuente: Facturación Gas LP (2024)

Consumidores Gas LP Qorvo		
Consumidor	Porcentaje de uso	Consumo anual (l/año)
Equipos de cocina	97%	11,873.61
Montacargas	3%	367.22

Tabla 20. Consumidores Gas LP

Fuente: Elaboración propia.

Equipos consumidores de diésel

En la planta, los consumos de diésel se concentran principalmente en tres áreas específicas: los generadores eléctricos de respaldo, la bomba del sistema de supresión de incendios y un vehículo de carga liviana destinado a diligencias y operaciones internas de la empresa. Cada uno de estos equipos utiliza el diésel como fuente de energía para garantizar su operación confiable y continua.

El sistema de supresión de incendios está compuesto por un tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 90,000 galones, conectado a una bomba accionada por un motor diésel, la cual garantiza la presión necesaria para la distribución de agua a través de rociadores ubicados en todas las áreas de la planta y gabinetes contra incendio estratégicamente dispuestos.

Compra total de Diésel en el año 2024			
Hidrocarburo	Compra total anual (€/año)	Consumo anual (l/año)	Energía anual (TJ/año)
Diésel	1,095,773.70	2,813.44	0.10

Tabla 21. Consumo total Diésel

Fuente: Facturación Diésel (2024)

Consumidores Diésel Qorvo		
Consumidor	Porcentaje de uso	Consumo anual (l/año)
Generador eléctrico y bomba de incendio	97%	2,729.04
Vehículo	3%	84.40

Tabla 22. Consumo total Diésel

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de USE's

Con los datos recopilados de las tres principales fuentes de energía de la planta -electricidad, gas LP y diésel-, se procede a la determinación de los usos significativos de energía (USE) de la instalación. Este análisis es fundamental para identificar cuáles son los sistemas, equipos o procesos que contribuyen de manera más relevante al consumo total de energía, y, por tanto, representan las mayores oportunidades de eficiencia energética.

Para la determinación de la significancia, se consideraron todos los usuarios finales de energía, excluyendo las pérdidas propias de distribución o transformaciones internas, y se organizaron de mayor a menor consumo en una tabla de análisis comparativo. Esta metodología permite priorizar los usos de energía que requieren atención inmediata, orientando las acciones de conservación y optimización hacia los sectores de mayor impacto.

Se definieron los siguientes niveles de significancia como una referencia técnica para facilitar la identificación y priorización de los usos de energía más relevantes dentro de la planta. Esta clasificación sirve como herramienta de apoyo para la toma de decisiones estratégicas en la gestión energética, permitiendo focalizar los esfuerzos de optimización y conservación en aquellos sistemas que representan un mayor impacto en el consumo total.

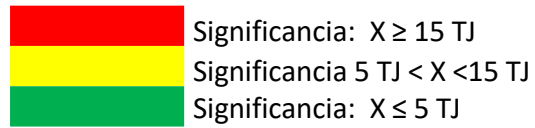


Figura 10. Nivel de significancia energética

Fuente: Elaboración propia.

Donde “X” corresponde al valor de significancia para cada uso de energía, representando su contribución relativa al consumo total de la planta. Al aplicar esta escala de significancia, se obtuvo el siguiente resultado:

Usos significativos de energía		
Uso	Tipo de energía	Energía (TJ/año)
HVAC	Electrica	16.49
Compresores	Electrica	9.18
Producción	Electrica	11.24
Iluminación	Electrica	2.20
Bombas de vacío	Electrica	1.48
Extractores	Electrica	1.70
Equipo de cocina	LPG	0.30
Generadores eléctricos y bomba de incendios	Diesel	0.10

Tabla 23. Clasificación de usos significativos de energía

Fuente: Elaboración propia.

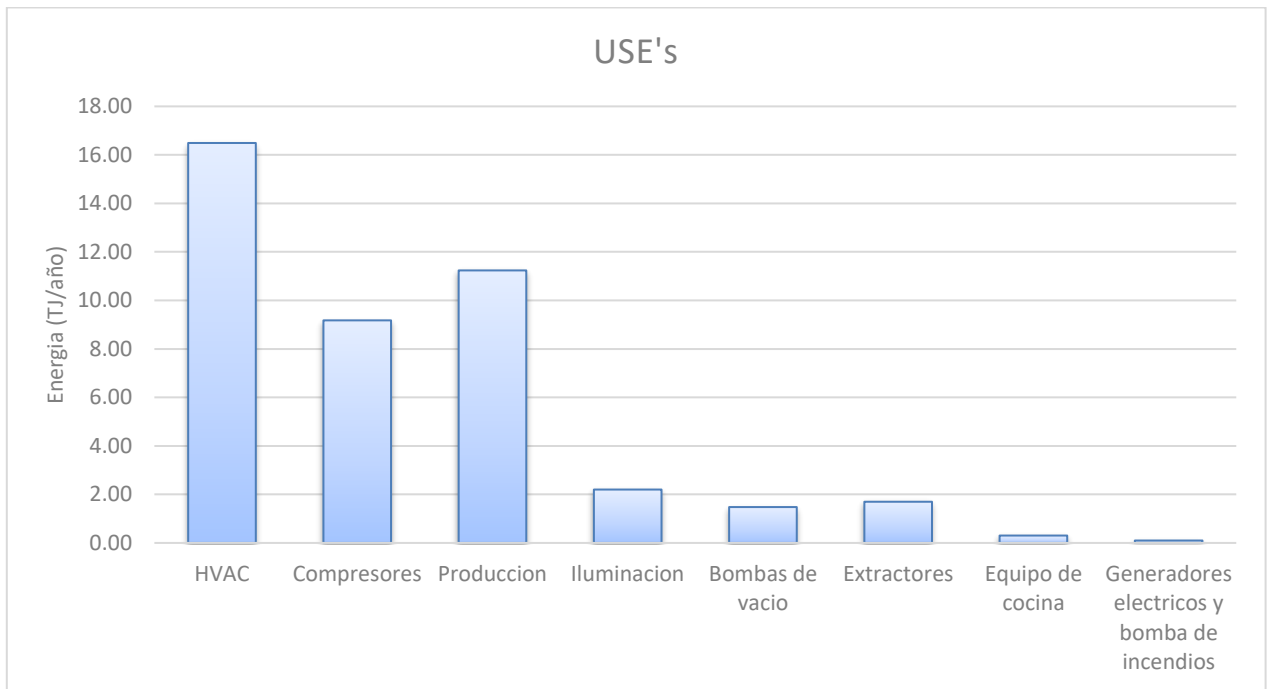


Figura 11. *Gráfico de principales consumidores energéticos*

Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que el uso de energía más significativo corresponde a los sistemas de aire acondicionado, los cuales representan la mayor proporción del consumo total de la planta. En un nivel considerable pero inferior, se ubican los compresores de aire y los sistemas asociados a producción, reflejando su relevancia dentro del balance energético, aunque sin alcanzar el impacto predominante de la climatización.

OBJETIVO II. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

En la presente sección se desarrolla la elaboración de los Indicadores de Desempeño Energético (IDE) y las Líneas Base Energéticas (LBE), tomando como fuente principal de información los datos de producción correspondientes al año 2024. La construcción de estos parámetros se realiza conforme a las directrices establecidas en la Norma ISO 50006:2014, la cual define los principios fundamentales para su diseño, implementación y seguimiento.

Es importante señalar que la cantidad de energía consumida por mes constituye un parámetro de referencia relevante; sin embargo, una disminución en el consumo energético no necesariamente representa una mejora en el desempeño energético (Kondaveeti et al., 2021). Factores como el incremento en la capacidad productiva, la incorporación de nueva maquinaria o el aumento en las horas de operación pueden elevar el consumo total de energía sin implicar un deterioro del desempeño. Por ello, el análisis energético debe considerar la relación entre el consumo y los niveles de producción, de manera que los indicadores reflejen de forma precisa la eficiencia y el comportamiento energético real de la organización.

Todos los datos utilizados en esta sección fueron suministrados por el departamento de producción, y se emplean con el propósito de establecer una base comparativa confiable para la evaluación y mejora continua del desempeño energético.

Con base en los datos obtenidos de la demanda eléctrica en el desarrollo del balance energético, y reconociendo que la energía eléctrica es el tipo de energía más significativo y con mayor impacto en el funcionamiento óptimo de los procesos, se concluye que el indicador energético de productividad (IDE) por desarrollar es kWh/unidades producidas de producto terminado.

En la Tabla 24 se muestran los datos utilizados para analizar el indicador energético, mientras que en la Figura 12 se presenta un gráfico de barras que permite visualizar la variación del IDE a lo largo del año.

Mes	Consumo total (kWh)	Unidades producidas (Millones)	Indicador kWh/unidades producidas
Enero	943,723	304	3,104.35
Febrero	908,356	295	3,079.17
Marzo	1,000,143	321	3,115.71
Abril	974,926	311	3,134.81
Mayo	1,083,461	353	3,069.29
Junio	1,039,658	340	3,057.82
Julio	1,013,128	323	3,136.62

Agosto	965,581	307	3,145.21
Septiembre	924,438	300	3,081.46
Octubre	928,376	301	3,084.31
Noviembre	894,041	289	3,093.57
Diciembre	717,168	223	3,216.00

Tabla 24. *Indicador de consumo respecto a unidades producidas mensualmente*

Fuente: Departamento de Producción (2024)

Este indicador se calculó considerando la demanda energética en relación con la producción total mensual del año 2024. La siguiente ecuación define el cálculo realizado para obtener el indicador, donde:

$$IDE = \frac{D}{P_x}$$

Donde:

- **IDE** = Indicador de desempeño energético (kWh/unidades producidas)
- **D** = Demanda eléctrica mensual (kWh)
- **P_x** = Producción del producto

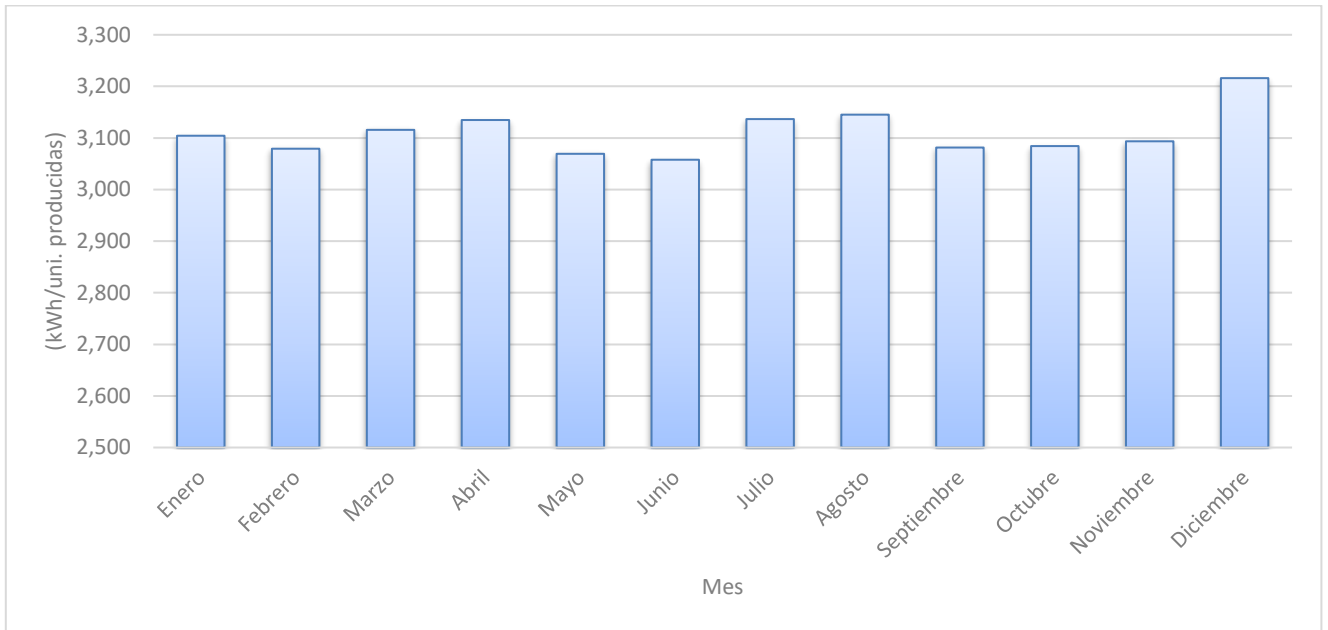


Figura 12. *Indicador de desempeño energético kWh/unidades producidas*

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que, en el balance energético realizado, los equipos de aire acondicionado representan el sistema con mayor consumo energético dentro de la planta, se desarrolla un indicador de desempeño energético que relacione la temperatura exterior mensual con el consumo específico del sistema de climatización. Este indicador permitirá analizar cómo las variaciones en las condiciones ambientales influyen en el comportamiento energético del sistema HVAC, normalizando el consumo y facilitando la identificación de oportunidades de eficiencia energética.

Como metodología para relacionar la temperatura y el sistema HVAC se hará uso de los principios de Cooling Degree Days (CDD). Los CDD son un indicador que cuantifica la demanda de refrigeración de un edificio, calculando la diferencia entre la temperatura media diaria exterior y una temperatura base de referencia (comúnmente 18 °C o 65 °F). Cuantos mayores sean los CDD acumulados durante un período, mayor será la necesidad de enfriamiento del sistema (EPA, 2025).

Por su parte, Huuhka et al. (2024) emplean CDD para analizar emisiones operativas y consumo energético, destacando su utilidad para normalizar los datos y detectar patrones de eficiencia o ineficiencia en el funcionamiento de los sistemas HVAC.

La siguiente tabla muestra los valores de la temperatura máxima y mínima mensual, obteniendo su respectivo promedio mensual, y de ahí se calculan los *cooling degree days* mensuales.

Mes	Temperatura (°C)			CDD mensuales
	Max.	Min.	Med.	
ENE	30.48	20.71	25.595	227.85
FEB	32.38	19.35	25.865	235.95
MAR	33.82	18.82	26.32	249.6
ABR	34.08	19.33	26.705	261.15
MAY	33.59	20.37	26.98	269.4
JUN	32.73	20.5	26.615	258.45
JUL	32.09	19.9	25.995	239.85
AGO	32.29	20.35	26.32	249.6
SEP	31.87	20.41	26.14	244.2
OCT	30.61	20.01	25.31	219.3
NOV	30.04	19.86	24.95	208.5
DIC	29.74	19.77	24.755	202.65

Tabla 25. Registro de temperaturas y cálculo de los *cooling degree days* mensuales

Fuente: BMS Qorvo (2025)

En la Tabla 26 se muestran los datos utilizados para analizar el indicador energético, mientras que en la Figura 13 se presenta un gráfico de barras que permite visualizar la variación del IDE a lo largo del año.

Mes	Consumo total HVAC (kWh)	Cooling Degree Days (°C·día)	Indicador kWh/ °C·día
Enero	354,839.85	227.9	1,557.34
Febrero	341,541.86	236.0	1,447.52
Marzo	376,053.77	249.6	1,506.63
Abril	366,572.18	261.2	1,403.68
Mayo	407,381.34	269.4	1,512.18

Junio	390,911.41	258.5	1,512.52
Julio	380,936.13	239.9	1,588.23
Agosto	363,058.46	249.6	1,454.56
Septiembre	347,588.69	244.2	1,423.38
Octubre	349,069.38	219.3	1,591.74
Noviembre	336,159.42	208.5	1,612.28
Diciembre	269,655.17	202.7	1,330.64

Tabla 26. Indicador de consumo de equipo HVAC respecto a cooling degree days

Fuente: Elaboración propia.

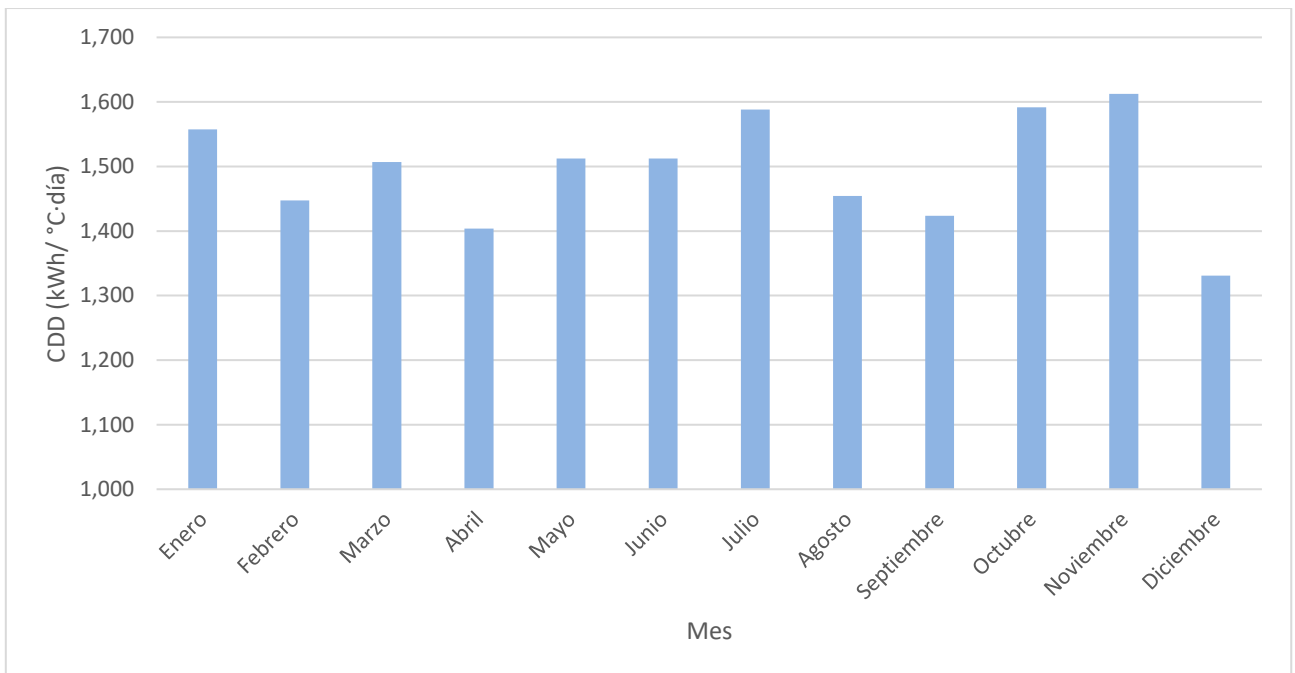


Figura 13. Indicador de desempeño energético kWh/ °C·día

Fuente: Elaboración propia.

Establecimiento de Líneas Base Energéticas

Como describe la norma ISO 50006:2014, una línea de base energética es una referencia cuantitativa que proporciona la base para una comparación del desempeño energético, de manera que cada indicador de desempeño energético debe tener su línea base para tomarlo como una referencia y así justificar procesos de mejora.

Un modelo lineal ($y = mx + b$) se selecciona en función de los indicadores energéticos, donde y representa la línea base. El coeficiente de determinación R^2 indica la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión y mide la adecuación del modelo a la variable que se desea explicar. Si $R^2 = 1$, el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media; mientras que si $R^2 = 0$, el modelo no resulta significativo.

Cabe destacar que el coeficiente de determinación R^2 no debe ser el único parámetro para evaluar la linealidad de un procedimiento analítico. La Norma ISO 50006:2014 recomienda el uso del modelo lineal, y establece que el criterio principal para validar los datos es la alineación con la línea base, no únicamente el valor de R^2 (ISO, 2014b).

La Figura 14 muestra la línea base correspondiente al indicador de consumo eléctrico, considerando como variable productiva el número de unidades procesadas.

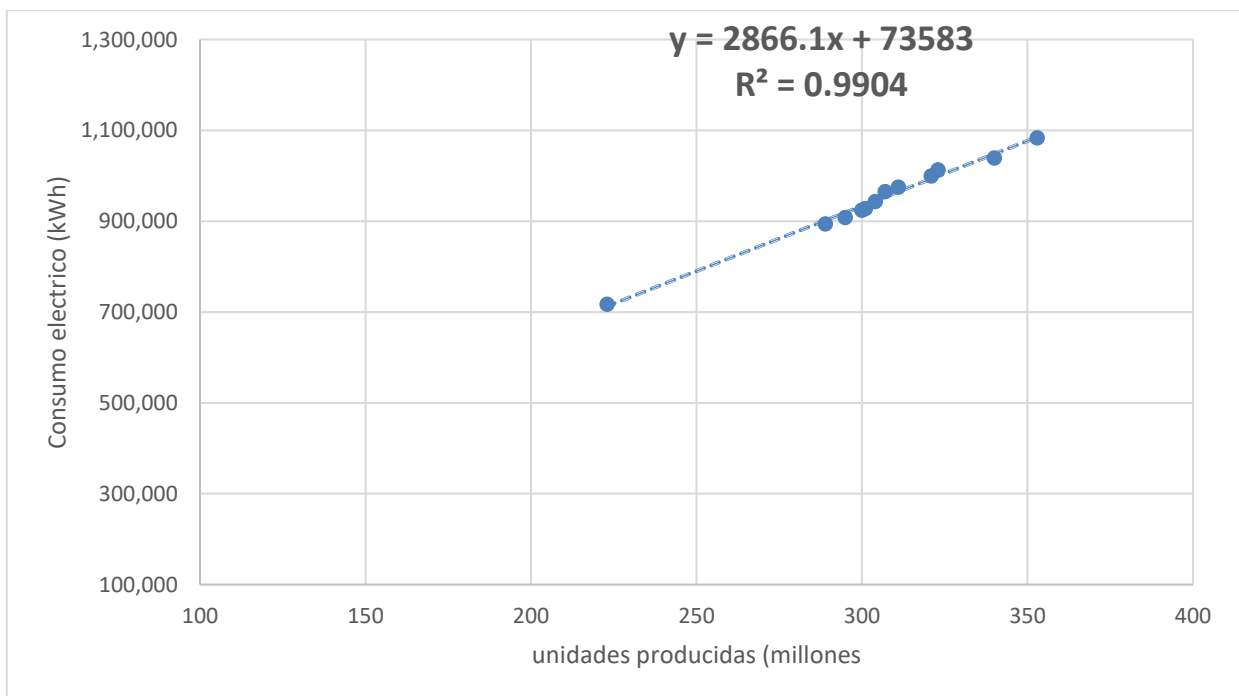


Figura 14. Línea base energética kWh/unidades producidas

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra la línea base correspondiente al indicador de consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado, considerando como variable los *cooling degree days*.

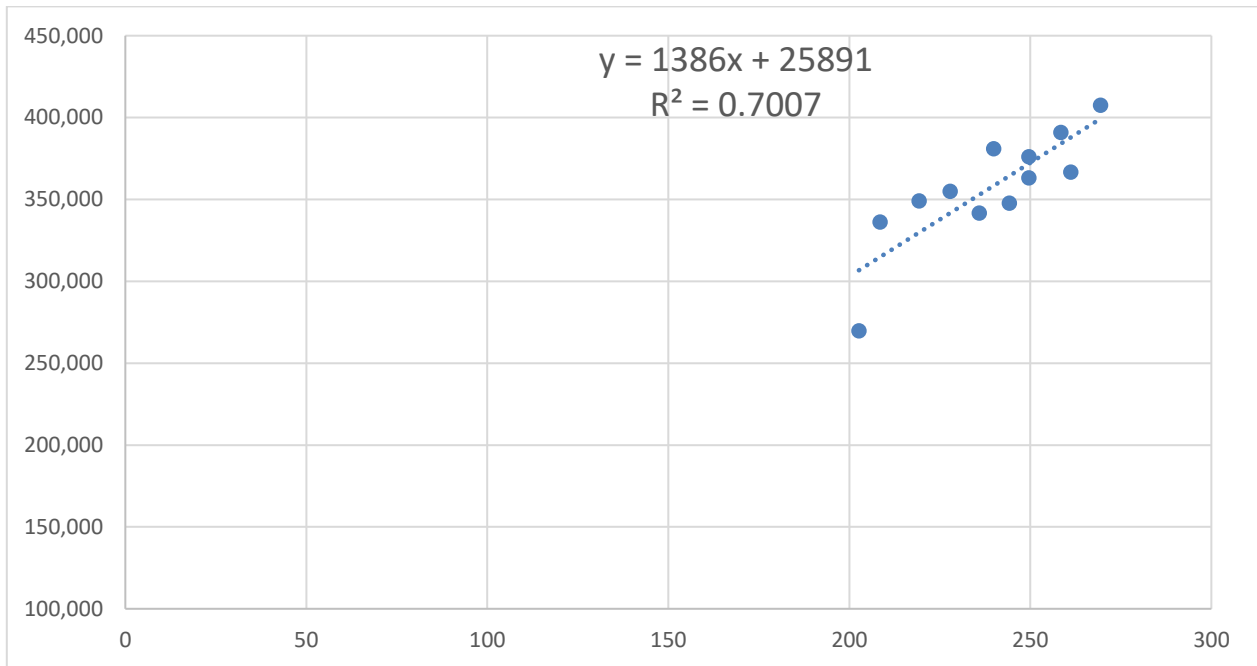


Figura 15. Línea base energética kWh/°C·día

Fuente: Elaboración propia.

OBJETIVO III. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

OCE #1

Como primera Oportunidad de Conservación de Energía (OCE) se identifica un recinto destinado al uso de los colaboradores como gimnasio multifuncional, el cual cuenta con una superficie aproximada de 55 m². Este espacio se mantiene climatizado mediante dos unidades de aire acondicionado tipo inverter, encargadas de garantizar condiciones de confort térmico durante las horas de operación.

El gimnasio permanece disponible para su uso entre las 6:00 a.m. y las 9:00 p.m., con una ocupación máxima de siete personas de forma simultánea. No

obstante, se determinó que ambos aires acondicionados permanecen encendidos las 24 horas del día, con una temperatura de consigna fija de 22 °C, lo cual representa un consumo energético innecesario durante las horas en que el recinto no se encuentra en uso.

Con base en los lineamientos de confort térmico para actividades físicas, se considera que la temperatura interior adecuada para un recinto de este tipo debe situarse entre 24 °C y 25 °C. Por tanto, se propone como medida de mejora ajustar el setpoint de temperatura de 22 °C a 24 °C, manteniendo las condiciones de confort requeridas para los usuarios. Estudios recientes sobre ambientes deportivos señalan que, en gimnasios y salas de entrenamiento funcional donde se realizan actividades de intensidad moderada, la temperatura de consigna de refrigeración puede establecerse en torno a 24 °C, para lograr una adecuada sensación térmica sin comprometer la eficiencia energética (Romaní et al., 2024).

Esta medida no solo es compatible con el estándar de confort, sino que también permite reducir el consumo del sistema de climatización al exigir menor carga térmica al equipo, lo cual se alinea con los objetivos de eficiencia energética de esta intervención.

Adicionalmente, a partir del registro histórico de reservas del gimnasio -que documenta las horas de utilización del servicio- se observó que los colaboradores hacen uso del recinto principalmente entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m., y nuevamente entre las 4:00 p.m. y 9:00 p.m. De esta forma, durante las horas de mayor temperatura exterior (11:00 a.m. – 2:00 p.m.), cuando el sistema de aire acondicionado demanda mayor esfuerzo energético para mantener la consigna térmica, el gimnasio se encuentra prácticamente sin ocupación, lo que refuerza la viabilidad de esta oportunidad sin comprometer el confort térmico de los usuarios.

Para maximizar aún más el ahorro energético, se propone aprovechar la función de apagado automático integrada en los controles remotos de las unidades. Si bien estos equipos no pueden encenderse automáticamente, es posible programar su apagado una vez finalizada la jornada. El procedimiento recomendado

consiste en que, a las 6:00 a.m., el personal de limpieza o mantenimiento -al iniciar labores- encienda ambos equipos y configure el temporizador de apagado automático a 15 horas, de modo que las unidades se apaguen automáticamente a las 9:00 p.m., coincidiendo con el cierre del gimnasio.

Este procedimiento, aunque requiere una intervención manual diaria de corta duración, constituye una medida operativa simple y de costo nulo, con un impacto positivo directo en la reducción del consumo energético.

Para garantizar la estabilidad de la estrategia y evitar modificaciones no autorizadas en los parámetros de control, el sistema cuenta con una función de bloqueo por patrón de seguridad. Dicho patrón será conocido únicamente por el personal de limpieza y los técnicos de mantenimiento, quienes tendrán la responsabilidad de encender el sistema, configurar el temporizador de operación y posteriormente bloquear el controlador, asegurando así el cumplimiento continuo del procedimiento establecido.



Figura 16. Control de aire acondicionado con patrón de bloqueo

Fuente: Elaboración propia.

Para profundizar en el análisis del consumo energético de las unidades instaladas en el gimnasio, fue necesario realizar mediciones directas de cada equipo, debido a que no se contaba con un sistema previo de registro o monitoreo que permitiera conocer su demanda real de energía. Estas mediciones se efectuaron con el propósito de determinar de manera precisa el consumo individual y total de los aires acondicionados del recinto.

Cabe resaltar que las mediciones efectuadas en los equipos del gimnasio corresponden a las mismas que se realizaron durante el levantamiento de datos para la elaboración del balance eléctrico general de la planta. Esto garantiza coherencia y trazabilidad en los resultados obtenidos, ya que ambos análisis se basan en un mismo conjunto de datos medidos bajo condiciones operativas reales.

En este sentido, las corrientes registradas para cada unidad fueron tomadas de manera directa utilizando instrumentos calibrados, asegurando la confiabilidad de las lecturas. Los valores obtenidos se consignaron en el anexo correspondiente, donde pueden verificarse junto con las condiciones de medición y los parámetros eléctricos asociados (voltaje, corriente, potencia y factor de potencia). Este procedimiento permite mantener una relación clara entre el análisis energético global y el estudio específico de las unidades del gimnasio, evitando duplicidad de información y reforzando la validez técnica de los resultados empleados en este apartado.

Equipos de Climatización Gimnasio Qorvo					
Equipo	Potencia nominal (kW)	Factor de uso	Horas de Trabajo Diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.44	0.44	24	15.2064	456.192
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.44	0.44	24	15.2064	456.192

Tabla 27. Consumos equipo AC de gimnasio

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procede a estimar los nuevos valores de consumo eléctrico de las unidades de aire acondicionado, considerando la implementación

del nuevo setpoint de temperatura de 24 °C y el ajuste en las horas efectivas de funcionamiento. Para ello, se definió un método de medición basado en el registro de la corriente eléctrica instantánea de cada equipo, tomada en intervalos de una hora dentro del rango comprendido entre las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m. Este intervalo fue seleccionado con el objetivo de obtener un perfil representativo del comportamiento energético de los equipos durante el periodo de mayor demanda térmica y de ocupación parcial del gimnasio.

Es importante recalcar que el horario operativo oficial del gimnasio se mantiene de 6:00 a.m. a 9:00 p.m. Sin embargo, las mediciones se concentran en el rango antes mencionado, dado que en este intervalo se concentra la mayor actividad y se alcanzan las condiciones térmicas más exigentes. Los valores de corriente medidos se consignan detalladamente en el apéndice correspondiente, junto con las condiciones de medición, el instrumento utilizado y los parámetros eléctricos de referencia.

A partir de los datos obtenidos y, al considerar el tipo de conexión y los datos eléctricos de placa de los equipos, se procede a calcular la potencia promedio y, posteriormente, el consumo energético estimado para el nuevo escenario operativo. Además, al haberse modificado el número de horas efectivas de funcionamiento diario, es necesario recalculer el factor de uso correspondiente de cada unidad, con el fin de reflejar correctamente la nueva condición de operación. Este parámetro permitirá obtener una estimación más precisa del consumo total mensual y anual bajo el nuevo esquema de control y temperatura.

ACU-GYM 01 – ACU GYM 02		
Horas de trabajo	15	
Voltaje (V)	220	
Ø	Monofásico	
Mediciones		
Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)
Lunes	3.23	0.65

Martes	3.29	0.66
Miércoles	2.98	0.60
Jueves	2.93	0.59
Viernes	2.72	0.54
P. prom/diaria (kWh)	9.10	
P. nominal/diaria (kWh)	34.7	
Factor de uso	0.42	

Tabla 28. Cálculo de consumo y factor de uso AC gimnasio

Fuente: Elaboración propia.

Equipos de Climatización Aire Acondicionado Qorvo					
Equipo	Potencia nominal (kW)	Factor de uso	Horas de Trabajo Diario	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.44	0.42	15	9.1	273
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.44	0.42	15	9.1	273

Tabla 29. Consumos proyectados AC de gimnasio

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla siguiente se presenta la comparación de los consumos eléctricos antes y después de la implementación de la nueva medida, permitiendo visualizar claramente el porcentaje de reducción alcanzado.

Equipos de Climatización Gimnasio Qorvo					
Equipo	Antes		Después		% reducción consumo
	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)	Consumo Diario (kWh)	Consumo Mensual (kWh)	
CR-HVAV-ACU-GYM1	15.21	456.19	9.1	273	40%
CR-HVAV-ACU-GYM2	15.21	456.19	9.1	273	40%

Tabla 30. Reducción esperada de consumo energético

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, la implementación de la medida resultó en una reducción del consumo energético del 40 %, lo que evidencia la efectividad de la intervención y su contribución al ahorro energético de la planta.

OCE #2

La Oportunidad de Conservación de Energía (OCE) #2 se centra en el análisis energético de los cuartos limpios de la empresa, los cuales constituyen áreas críticas dentro del proceso productivo, ya que en ellas se llevan a cabo operaciones altamente sensibles que requieren condiciones ambientales controladas. Estas condiciones son determinantes para garantizar la calidad, confiabilidad y reproducibilidad del producto final, así como para evitar contaminaciones o desviaciones que puedan comprometer la integridad del proceso. Además, los servicios de climatización (HVAC), que, como se determinó en el apartado del balance energético, representan el sistema con mayor consumo energético de toda la planta.

Dentro de los requisitos establecidos para estos recintos, se encuentra el número de renovaciones o cambios de aire por hora (ACH, Air Changes per Hour), que garantizan la pureza del ambiente, el control de partículas y la estabilidad de temperatura y humedad. Para cumplir con estas condiciones, los cuartos limpios utilizan unidades de recirculación de aire (RFU, Recirculation Fan Units), las cuales impulsan el aire proveniente de las unidades manejadoras de aire (AHU, Air Handling Units) hacia los ductos que distribuyen el flujo hacia las áreas de producción.

Durante la operación se detectaron indicios de un posible exceso en las tasas de renovación de aire, lo que podría implicar un sobreconsumo energético innecesario. Por esta razón, se llevó a cabo un estudio detallado de los valores reales de ACH en cada cuarto limpio, comparándolos con los valores establecidos según la normativa ISO 14644-1:2015 para la clasificación de cuartos limpios

De acuerdo con la normativa, los cuartos limpios deben clasificarse según la concentración de partículas suspendidas en el aire por metro cúbico. En concordancia con esta normativa, los dos cuartos limpios de la planta fueron diseñados bajo la clasificación ISO Clase 7, la cual establece límites específicos para la cantidad máxima de partículas permitidas, garantizando que las condiciones ambientales sean adecuadas para los procesos productivos.

Esta clasificación asegura que la concentración de partículas en suspensión no exceda los valores determinados para distintos tamaños de partícula, lo que permite mantener la integridad de los productos y la estabilidad de las condiciones del proceso. Los valores máximos permitidos de partículas para un cuarto limpio ISO 7 se muestran en la siguiente figura:

Número de Clase ISO	Concentración de partículas (partículas/m ³) ^a					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0
Clase ISO 1,5	[32] ^b	^d	^d	^d	^d	*
Clase ISO 2,5	316	[75] ^b	[32] ^b	^d	^d	*
Clase ISO 3,5	3 160	748	322	111	^d	*
Clase ISO 4,5	31 600	7 480	3 220	1 110	263	*
Clase ISO 5,5	316 000	74 800	32 200	11 100	2 630	*
Clase ISO 6,5	*	*	3 220 000	1 110 000	26 300	925
Clase ISO 7,5	^c	^c	^c	1 110 000	263 000	9 250
Clase ISO 8,5 ^f	^c	^c	^c	11 100 000	2 630 000	92 500

Figura 17. Categoría de cuarto limpio

Fuente: ASHRAE, Design guide for *cleanrooms: fundamentals, systems, and performance* (2016).

Para relacionar la concentración de partículas requerida en el cuarto limpio con la tasa de renovaciones de aire, se hace referencia al documento *ASHRAE Design guide for cleanrooms: fundamentals, systems, and performance*, el cual proporciona una guía detallada sobre los pasos, criterios y requerimientos que deben cumplir los cuartos limpios para garantizar un control ambiental adecuado.

En el apartado 8: “Basic Requirements”, este documento describe las condiciones fundamentales del sistema HVAC según la clasificación ISO del cuarto limpio, incluyendo aspectos como la tasa de renovación de aire, el tipo de flujo, la presión diferencial y los niveles de filtración requeridos.

Un punto clave señalado en esta guía es que, para cuartos limpios clasificados como ISO 7, el flujo de aire puede ser no unidireccional, tal como se detalla en el subapartado 8.1.2 *Nonunidirectional Flow*, este tipo de flujo se caracteriza por presentar trayectorias de aire no paralelas o con recirculación múltiple, dependiendo de la ubicación de los filtros HEPA, los difusores de suministro y los retornos de aire. Este tipo de flujo resulta más flexible y sencillo de ajustar, ya que permite una manipulación más práctica de los parámetros de ventilación y balance de aire durante la operación o mantenimiento del sistema.

Con base en los lineamientos establecidos sobre el comportamiento del flujo de aire dentro del recinto, se continúa con el apartado 8.4.7 *“Dilution Equation Approach”* del ASHRAE Design guide for *cleanrooms: fundamentals, systems, and performance*, donde se presenta la ecuación que permite relacionar la concentración de partículas en el ambiente con la cantidad de renovaciones de aire requeridas por hora (ACH).

Este enfoque considera además otras variables críticas, relacionadas con las tasas de remoción de partículas, permitiendo estimar de forma más precisa el nivel de ventilación necesario para mantener las condiciones de limpieza establecidas según la clasificación ISO correspondiente.

$$ACH = \frac{G * 60}{C_s * \varepsilon}$$

Para determinar las tasas de renovación de aire en ambos cuartos limpios mediante la ecuación de dilución, se consideran las siguientes variables fundamentales que intervienen en el comportamiento de la concentración de partículas dentro del recinto:

C_s = Concentración de partículas correspondiente a la categoría ISO del cuarto limpio. En este caso, al tratarse de un cuarto limpio ISO Clase 7, el valor normativo establecido es de 352,000 partículas por metro cúbico ($\geq 0.5 \mu\text{m}$), de acuerdo con la norma ISO 14644-1:2015.

ϵ = Representa la tasa de efectividad de remoción de contaminantes, la cual cuantifica la eficiencia del sistema de ventilación en eliminar partículas del aire interior. Su valor se encuentra en un rango de 0 a 1, detallado como:

Contaminant Removal Effectiveness	Explanation
$\epsilon \rightarrow \infty$	Full exhaust at the sources of contaminants; contaminants do not mix with room air; no impact to room air particle concentration.
$\epsilon = 1.0$	The most efficient and ideal unidirectional flow design; contaminants do fully mix with room air but are timely and fully removed by return or exhaust air.
$\epsilon = 0.7$	Effective nonunidirectional flow design and good removal of contaminants but contaminants are in turbulent mixing with room air; good positioning of supply air and return/exhaust air.
$\epsilon = 0.5$	Average nonunidirectional flow design; some contaminants are removed but the rest reside in the cleanroom.
$\epsilon = 0.3$	Poor nonunidirectional flow design; a small portion of contaminants are removed but most reside in the cleanroom.
$\epsilon \rightarrow 0$	All clean supply air is fully bypassed to return or exhaust air; supply air does not help to dilute contaminated room air; return/exhaust air does not take out contaminants.

Figura 18. Tasa de efectividad de remoción de contaminantes

Fuente: ASHRAE, Design guide for *cleanrooms: fundamentals, systems, and performance* (2016).

En el estudio se decidió utilizar un índice de efectividad de remoción (ϵ) de 0.5, valor que ha sido empleado de forma consistente en la empresa desde el diseño inicial de las instalaciones y proyectos de sistemas de facilidades.

Por otro lado, G corresponde a la tasa de generación de partículas, expresada en partículas por metro cúbico por minuto ($\text{part}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$). Este valor se obtiene de referencias estandarizadas, en este caso según la ASHRAE Journal, donde se indica un valor típico de 5000 partículas/cfm, equivalente a 175 000 partículas/ $(\text{min} \cdot \text{m}^3)$.

Con los valores requeridos aplicados en la ecuación de dilución, se determinó que el cuarto limpio del edificio #1 requiere una tasa de renovación de aire de 59.7 \approx 60 ACH (Air Changes per Hour) para mantener las condiciones establecidas por su clasificación ISO 7.

La ecuación de dilución empleada en este cálculo proporciona una aproximación inicial para estimar la tasa de renovaciones de aire (ACH) necesaria en los cuartos limpios. Sin embargo, dado que esta fórmula no contempla todas las variables que podrían influir en la dinámica del aire, se considera prudente aplicar un factor de seguridad para garantizar que los valores obtenidos no subestimen las necesidades reales del sistema (Elishakoff, 2004).

En ingeniería, el factor de seguridad es un multiplicador utilizado para ajustar los resultados de cálculos aproximados, asegurando que las estimaciones sean conservadoras y que el diseño final sea seguro y funcional (Tricketts, 2020). Por ello, se ha decidido aplicar un factor 1.2 al valor calculado de ACH requerido, es decir, utilizar 120% del valor obtenido mediante la ecuación de dilución, siguiendo las recomendaciones de buenas prácticas de ingeniería. Por lo que el caudal requerido sería de 72 ACH.

En la siguiente tabla se presentan los caudales otorgados por las RFU, además del volumen total del cuarto limpio. Con estos valores se pasa a calcular los respectivos ACH que están suministrando las RFU en el cuarto limpio, lo cual permite evidenciar el requerimiento teórico con la operación real del sistema.

Equipos Inyectores de Aire				
Equipo	Potencia (HP)	Caudal (CFM)	Volumen recinto (m ³)	ACH
RFU-1	20	35910	3492.5	17.5
RFU-2	20	35910	3492.5	17.5
RFU-3	20	35910	3492.5	17.5
RFU-4	20	35910	3492.5	17.5
RFU-5	20	35910	3492.5	17.5

Tabla 31. Cálculo de ACH entregados por cada RFU de edificio 1

Fuente: Elaboración propia.

Se procede a elaborar una tabla comparativa, con el objetivo de evidenciar el exceso de renovaciones de aire (ACH) que se están utilizando actualmente en la recirculación proporcionada por las RFU en el cuarto limpio.

Equipos Inyectores de Aire				
Equipo	ACH	ACH total	ACH requerido	ACH de exceso
RFU-1	17.5	87.5	72	15.5
RFU-2	17.5			
RFU-3	17.5			
RFU-4	17.5			
RFU-5	17.5			

Tabla 32. Cálculo de ACH de exceso

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el sistema presenta un sobreuso de 15.5 ACH en el recinto. Al considerar que el cuarto limpio cuenta con un total de 5 RFU, este exceso puede ser distribuido proporcionalmente entre las unidades. De esta manera, al dividir los 15.5 ACH excedentes entre las cinco RFU, se obtiene que cada unidad puede reducir su aporte en 3.1 ACH, logrando un balance que mantiene las condiciones requeridas por la clasificación ISO 7, a la vez que optimiza el consumo energético del sistema. Los nuevos valores de ACH aportados por cada RFU serían:

Equipos Inyectores de Aire			
Equipo	ACH requerido	ACH de exceso	ACH por unidad
RFU-1	72	15.4	14.4
RFU-2			14.4
RFU-3			14.4
RFU-4			14.4
RFU-5			14.4

Tabla 33. Cálculo de ACH mínimo por unidad

Fuente: Elaboración propia.

Para reducir la tasa de renovaciones de aire (ACH) en los cuartos limpios, se emplea como estrategia la disminución de la velocidad de las unidades de recirculación de aire (RFU). La relación entre el caudal de aire, la velocidad de los ventiladores y la tasa de renovación se puede observar en la siguiente ecuación, donde se ilustra cómo las variaciones en la velocidad afectan directamente los ACH del recinto.

$$Q=ACH \times V$$

$$N_2=N_1 \cdot (Q_1/Q_2)$$

Donde:

Q = caudal volumétrico (m^3/s o m^3/h)

N = velocidad del ventilador (rpm)

V = Volumen de recinto (m^3)

Con el resultado de la velocidad mínima que deben tener las RFU para mantener los ACH requeridos en el cuarto limpio, esta velocidad se convierte en el primer parámetro que tiene el variador de frecuencia, siendo que la velocidad no puede ser menor a 1454 RPM.

Ahora bien, existe un aspecto crítico que debe considerarse como segundo parámetro para el variador, el cual es la presión estática del sistema. Este parámetro no debe caer por debajo de su valor mínimo establecido, ya que resulta fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de climatización y la estabilidad del flujo de aire en los cuartos limpios. El valor ya establecido de la presión es de 5 Pa, además de que es medido en tiempo real por un sensor de presión estática.

Así que, al agregar este parámetro al variador, la lógica para el variador sería que mientras la presión no sea menor a 5 Pa, se disminuye la velocidad de la RFU teniendo como límite la velocidad de 1454 RPM. Si la presión llegara a caer por debajo de los 5 Pa, el variador aumenta la velocidad de la unidad hasta que se alcance el valor de la presión requerida.

A continuación, se muestra la tabla con los valores correspondientes a la nueva velocidad por unidad con sus respectivos ACH y caudales, para calcular los valores correspondientes.

$$N_{min} = N_{nom} \cdot \frac{Q_{RFU_min}}{Q_{nom}}$$

Donde:

$$Q_{nom} = 61,047 \text{ m}^3/\text{h}$$

Equipos Inyectores de Aire					
Equipo	ACH a otorgar	Volumen recinto (m ³)	Caudal (m ³ /h)	Velocidad nominal (RPM)	Velocidad ajustada (RPM)
RFU-1	14.4	3492.5	50290.05	1765	1454
RFU-2	14.4	3492.5	50290.05	1765	1454
RFU-3	14.4	3492.5	50290.05	1765	1454
RFU-4	14.4	3492.5	50290.05	1765	1454
RFU-5	14.4	3492.5	50290.05	1765	1454

Tabla 34. Cálculo de velocidades mínimas para cada RFU

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinada la reducción de velocidad de las RFU, es posible cuantificar la disminución en el consumo energético de los equipos, estableciendo la relación entre la velocidad del ventilador y el caudal de aire suministrado. La potencia eléctrica consumida por los motores de las RFU está directamente relacionada con el caudal según la ley de afinidad de los ventiladores, que indica que la potencia requerida varía aproximadamente con el cubo de la velocidad del ventilador (ASHRAE, 2015). Por tanto, al reducir la velocidad de operación de las RFU, se disminuye proporcionalmente el caudal entregado al cuarto limpio y, consecuentemente, la energía eléctrica consumida por cada unidad.

$$P_{elec,2} \approx P_{elec,1} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Donde:

N₁ = velocidad nominal

N₂ = velocidad ajustada

Equipos Inyectores de Aire					
Equipo	Potencia antes (kW)	Consumo mensual antes (kWh)	Potencia después (kW)	Consumo mensual después (kWh)	Consumo mensual disminuido (kWh)
RFU-1	14.92	10742.4	8.34	6005.6	4736.8
RFU-2	14.92	10742.4	8.34	6005.6	4736.8
RFU-3	14.92	10742.4	8.34	6005.6	4736.8
RFU-4	14.92	10742.4	8.34	6005.6	4736.8
RFU-5	14.92	10742.4	8.34	6005.6	4736.8

Tabla 35. *Disminución del consumo para cada RFU*

Fuente: Elaboración propia.

El ahorro energético teórico obtenido a partir de la reducción de la velocidad de los ventiladores (RFU) se calculó con base en la ley cúbica de afinidad, la cual establece que la potencia eléctrica absorbida por un ventilador varía proporcionalmente al cubo de su velocidad. Sin embargo, en condiciones reales de operación, los ventiladores no van a trabajar siempre de forma constante en su velocidad, ya que, como se explicó anteriormente, el sistema de control ajusta dinámicamente la velocidad para mantener la presión diferencial requerida en el cuarto limpio conforme a los límites establecidos por la norma ISO 14644-1:2015 para salas ISO 7.

En este tipo de sistemas, el variador de frecuencia (VFD) regula la velocidad del motor en función de la presión medida por los sensores instalados en el área. Cuando la presión diferencial cae por debajo del umbral establecido (por ejemplo, debido a apertura de puertas, variaciones de caudal o incremento de ocupación), el variador aumenta temporalmente la velocidad de los ventiladores hasta restablecer el nivel de presión objetivo. Este comportamiento genera fluctuaciones en la potencia eléctrica absorbida, impidiendo que el ahorro teórico -calculado a velocidad reducida constante- se mantenga de forma continua.

Por este motivo, el ahorro teórico debe ser ajustado mediante un factor de realización (F) que considere las variaciones de carga inducidas por el control de presión. Dicho factor refleja la proporción del tiempo en que los ventiladores operan efectivamente a su velocidad mínima, frente al tiempo en que el sistema incrementa la velocidad para compensar caídas de presión.

De acuerdo con las metodologías recomendadas por el International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP, 2012) la ISO 50006:2014 y la ASHRAE Guideline 14 (2014) los cálculos de ahorro energético deben incorporar factores de ajuste para representar la incertidumbre operativa del sistema. En este estudio, se adopta un factor de realización de $F = 0.80$, equivalente al 80 % del ahorro teórico, como valor conservador y técnicamente razonable para sistemas HVAC con control de presión variable en cuartos limpios.

El ahorro energético ajustado (A_{adj}) se determina según la siguiente relación:

$$A_{adj} = F \times A_{teo}$$

Donde:

- A_{teo} : ahorro energético teórico anual (kWh), calculado mediante las leyes de afinidad.
- F : factor de realización (adimensional).

Este valor refleja que, aunque el sistema opere la mayor parte del tiempo en velocidad reducida, existen momentos puntuales en los que el consumo aumenta debido a la necesidad de mantener la presión requerida y el flujo de aire limpio dentro de los valores normativos.

Con este enfoque, se obtiene una estimación más realista del ahorro energético esperado, garantizando trazabilidad técnica y coherencia con las metodologías internacionales de medición y verificación de desempeño energético.

Finalmente, los valores de consumo ahorrados con el factor de realización establecido anteriormente se muestran en la siguiente tabla:

Equipo	Disminución consumo teórico mensual (kWh)	Factor de realización	Disminución consumo proyectado mensual (kWh)
RFU-1	4736.8	0.8	3789.5
RFU-2	4736.8		3789.5
RFU-3	4736.8		3789.5
RFU-4	4736.8		3789.5
RFU-5	4736.8		3789.5

Tabla 36. Disminución del consumo proyectado para cada RFU

Fuente: Elaboración propia.

Además, debido a que los cuartos limpios deben mantener estrictos límites de concentración de partículas para garantizar el cumplimiento continuo de la clasificación ISO 7, será necesario implementar un esquema de monitoreo periódico de partículas en suspensión. Estas mediciones permitirán verificar que la reducción en las tasas de renovación de aire no comprometa la calidad ambiental del recinto y que los niveles de partículas nunca desciendan por debajo del límite máximo permitido por la normativa ISO 14644-1:2015. El seguimiento constante de estos parámetros, mediante equipos de conteo de partículas calibrados y protocolos establecidos, asegura que cualquier variación anómala pueda ser detectada y corregida oportunamente, manteniendo así la confiabilidad del proceso y la integridad de los productos fabricados.

Ahora el mismo procedimiento se aplica a las RFU del cuarto limpio del edificio 2, considerando las particularidades de estas unidades. En este caso, se cuenta con dos RFU de 10 hp y tres unidades de 15 hp, y además el volumen del recinto difiere del edificio 1. Para facilitar la planificación de la reducción de velocidad y su efecto sobre el consumo eléctrico, se presentan los datos de caudal, volumen del recinto y potencia de cada RFU en la Tabla 37.

Equipos Inyectores de Aire				
Equipo	Potencia (HP)	Caudal (CFM)	Volumen recinto (m ³)	ACH
RFU-6	10	23200	2491.6	15.8
RFU-7	10	23200	2491.6	15.8

RFU-8	15	24800	2491.6	16.9
RFU-9	15	24800	2491.6	16.9
RFU-10	15	24800	2491.6	16.9

Tabla 37. *Cálculo de ACH entregados por cada RFU de edificio 2*

Fuente: Elaboración propia.

Se emplean las mismas ecuaciones utilizadas para calcular los ACH requeridos en el cuarto limpio del edificio 2, manteniendo consistencia en la metodología. Se realiza primero el cálculo de la reducción de ACH permitida según las necesidades de calidad del aire y, posteriormente, se determina la reducción correspondiente en la velocidad de los ventiladores; dichos cálculos y tablas demostrativas se muestran en los apéndices correspondientes. Finalmente, se calcula el ahorro energético asociado, estimando la disminución de potencia eléctrica de cada RFU como función de la reducción de velocidad.

Equipo	Consumo teórico mensual disminuido (kWh)	Factor de realización	Consumo proyectado mensual disminuido (kWh)
RFU-6	1854.5	0.8	1483.6
RFU-7	1854.5		1483.6
RFU-8	2625.5		2100.4
RFU-9	2625.5		2100.4
RFU-10	2625.5		2100.4

Tabla 38. *Disminución del consumo proyectado para cada RFU de edificio 2*

Fuente: Elaboración propia.

OBJETIVO IV. ANÁLISIS FINANCIERO

En la presente sección se desarrolla un análisis financiero detallado, con el propósito de evaluar la viabilidad económica de invertir en la implementación de las oportunidades de conservación de energía identificadas previamente. El objetivo principal es determinar si dichas inversiones son financieramente justificables y si ofrecen un retorno adecuado en términos de reducción de costos operativos y mejora en la eficiencia energética.

Para ello, se realiza una evaluación comparativa de costos y beneficios, complementada con el cálculo e interpretación de los principales indicadores financieros utilizados en la evaluación de proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores permitirán cuantificar la rentabilidad esperada de cada medida propuesta y sustentar la toma de decisiones desde una perspectiva técnico-económica.

OCE #1

El análisis financiero correspondiente a la Oportunidad de Conservación de Energía (OCE), relacionada con la modificación del setpoint de temperatura y el uso de la función de apagado automático en los equipos de aire acondicionado del gimnasio, se hará con base en las mediciones obtenidas de los consumos eléctricos del sistema, donde estos se pueden relacionar directamente con el coste eléctrico en colones.

Tal como se muestra en la Tabla 39, se comparan los consumos eléctricos antes y después de la implementación de la medida:

Consumo mensual ACU GYM 1 & 2 antes de OCE (kWh)	Consumo mensual ACU GYM 1 & 2 después de OCE (kWh)
912.384	544.32

Tabla 39. Comparación de consumos mensuales

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia una reducción en el consumo energético mensual, atribuida a la disminución del tiempo de operación de los equipos y al ajuste óptimo del set de temperatura.

El análisis comparativo se fundamenta en los registros de consumo eléctrico obtenidos antes y después de la implementación de la medida. Los valores resultantes permiten cuantificar un ahorro energético en kWh, el cual posteriormente se convierte a ahorro económico en colones (₡) mediante la aplicación de la tarifa promedio de energía eléctrica vigente.

Para garantizar una mayor precisión en la estimación del ahorro económico, se analiza el costo de la energía considerando la tarifa TMT aplicada en la empresa, la cual se detalla en la siguiente sección. Este procedimiento permite asignar un valor monetario al ahorro energético alcanzado por la medida, considerando la estructura tarifaria real y los distintos rangos horarios de consumo.

A fin de calcular el consumo y costo por cada intervalo horario, se utiliza la potencia promedio instantánea estimada para cada equipo, derivada de los cálculos de consumo previamente realizados en el apartado correspondiente a la estimación del consumo. Esta metodología permite determinar el costo energético asociado a cada zona horaria, considerando las horas efectivas de operación del equipo y proporcionando una estimación detallada y precisa del ahorro económico logrado gracias a la implementación de la medida.

Consumo energía diario anterior			
Franja horaria	Hora de uso en zona horaria	P. prom. instantánea (kW)	Consumo por zona horaria (kWh)
punta	5	0.63	3.18
valle	9	0.63	5.72
noche	10	0.63	6.35

T-MT	Tarifas	Monto por pagar	
Energía Punta máx	58.51	₡	185.86
Energía Valle máx	29.81	₡	170.44
Energía Noche máx	24.28	₡	154.25
	Total diario	₡	510.55
	Total mensual	₡	15,316.61
	Total anual	₡	183,799.28

Tabla 40. Monto proyectado por pagar por franja horaria antes de OCE

Fuente: ESPH (2025) & Elaboración propia.

Consumo energía diario nuevo			
Franja horaria	Hora de uso en zona horaria	P. prom. instantánea (kW)	Consumo por zona horaria (kWh)
punta	5	0.61	3.03
valle	9	0.61	5.46
noche	1	0.61	0.61

T-MT	Tarifas	Monto por pagar
Energía Punta máx	58.51	₡ 177.51
Energía Valle máx	29.81	₡ 162.79
Energía Noche máx	24.28	₡ 14.73
	Total diario	₡ 355.03
	Total mensual	₡ 10,650.82
	Total anual	₡ 127,809.87

Tabla 41. *Monto proyectado por pagar por franja horaria después de OCE*

Fuente: ESPH (2025) & Elaboración propia.

Dado que esta OCE no requiere inversión económica inicial, las herramientas financieras tradicionales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) no resultan aplicables, pues la inversión es prácticamente nula. Dado que la implementación de esta medida no requirió inversión inicial en equipos, materiales ni mano de obra adicional, el cálculo del Retorno sobre la Inversión (ROI) no resulta aplicable en términos cuantitativos. Sin embargo, desde una perspectiva práctica, puede afirmarse que el retorno es inmediato, ya que los beneficios económicos derivados de la reducción del consumo energético se obtienen sin incurrir en costos adicionales.

Este tipo de medidas, clasificadas como acciones de gestión operativa, representan estrategias de alta rentabilidad dentro de los sistemas de gestión de la energía, pues maximizan el ahorro sin requerir inversión de capital.

Ahorro ACU's GYM 1 & 2	
Inversión de la OCE	₡ -
Ahorro mensual	₡ 9,331.57
Ahorro anual	₡ 111,978.83

Tabla 42. *Ahorro económico proyectado*

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en los resultados de las tablas, la implementación de esta OCE permite una disminución directa en el consumo energético del sistema de aire acondicionado, reflejándose en un ahorro mensual constante y sostenible. Además, al no implicar costos adicionales, esta medida contribuye de manera efectiva a la optimización del desempeño energético del recinto, reforzando la importancia de ajustes operativos simples como estrategias de eficiencia con alta rentabilidad.

OCE #2

Para esta Oportunidades de Conservación de Energía (OCE), resulta necesario desarrollar un análisis financiero detallado, dado que la propuesta implica una inversión inicial significativa asociada principalmente con la adquisición de equipos electrónicos, específicamente variadores de frecuencia. Estos dispositivos representan una parte considerable del costo total de implementación, por lo que es fundamental realizar un proceso de cotización y evaluación técnica que permita determinar las opciones más adecuadas en términos de desempeño, compatibilidad con las cargas actuales y relación costo-beneficio.

Como elementos considerados dentro del plan financiero, el análisis se centrará en la implementación de un variador de frecuencia (VFD) en una de las unidades de recirculación de aire (RFU). Esto se debe a que las demás unidades presentan características operativas, condiciones de carga y consumos eléctricos similares, por lo que los resultados obtenidos pueden extrapolarse con un alto grado de confiabilidad al resto de las RFU.

El estudio financiero se hará tomando como referencia una RFU perteneciente al cuarto limpio del edificio 1, la cual representa un caso base para el análisis. Posteriormente, el mismo procedimiento se replicará para una de las unidades del edificio 2, cuyos resultados se incluirán en los apéndices del presente documento.

Para estimar con mayor precisión el ahorro económico, se considera el costo de la energía según la tarifa TMT aplicada en la empresa. Este análisis permite asignar un valor monetario real al ahorro energético, tomando en cuenta los diferentes rangos horarios de consumo.

El cálculo del consumo y costo por intervalo horario se basa en la potencia promedio estimada para cada equipo, obtenida de los cálculos previos. Con ello, se determina el costo energético por franja horaria y se obtiene una estimación precisa del ahorro económico generado por la medida implementada.

Consumo energía diario ahorrado			
Franja horaria	Hora de uso en zona horaria	P. prom. instantánea (kW)	Consumo por zona horaria (kWh)
punta	5	5.26	26.32
valle	9	5.26	47.37
noche	10	5.26	52.63

T-MT	Tarifas	Monto a pagar	
Energía Punta máx	58.51	₡	1,539.73
Energía Valle máx	29.81	₡	1,412.05
Energía Noche máx	24.28	₡	1,277.89
	Total diario	₡	4,229.67
	Total mensual	₡	126,890.07
	Total anual	₡	1,522,680.82

Tabla 43. Ahorros estimados de consumo eléctrico

Fuente: ESPH (2025) & Elaboración propia.

El variador de frecuencia representa el insumo principal requerido para la implementación de la medida de eficiencia energética, por lo que se considera como la mayor inversión inicial del proyecto. Este equipo permitirá regular la velocidad de

los motores de las unidades de recirculación de aire (RFU), optimizando su consumo energético de acuerdo con la demanda real del sistema.

La cotización correspondiente al variador de frecuencia se incluye en los anexos del presente documento, donde se detalla su costo estimado, especificaciones técnicas y proveedor.

Al recordar que considerar la presión es primordial para establecer el comportamiento del variador, esto se logra mediante el sensor de presión. Actualmente, la empresa ya cuenta con los sensores de presión diferencial instalados y plenamente operativos, los cuales son indispensables para el control ambiental del cuarto limpio y ya se utilizan de forma continua para monitorear la presión interna del recinto. Estos sensores generan una señal analógica estándar de 4–20 mA, que será aprovechada por el variador para ajustar dinámicamente la velocidad de los motores de las RFU, asegurando que la presión se mantenga dentro de los valores exigidos por la clasificación ISO 7.

El variador, por medio de su función de control PID, interpretará esta señal del sensor para modificar la frecuencia de alimentación del motor, incrementando la velocidad cuando la presión tienda a disminuir y reduciéndola cuando la presión esté por encima del valor objetivo.

Además, la empresa ya dispone de todos los insumos necesarios para la conexión, tales como cables de comunicación, conectores y materiales eléctricos, ya que forman parte del inventario regular utilizado en la infraestructura técnica de la planta. Estos materiales son comunes en la instalación y mantenimiento de equipos industriales, por lo que no se requerirá inversión adicional en suministros.

La instalación y configuración estarían a cargo del personal técnico interno, quienes cuentan con experiencia previa en la implementación de variadores de frecuencia y sistemas de control en otras áreas de la planta. El proceso incluirá la conexión del variador al tablero principal, el enlace con el motor de la RFU, la

comunicación con el sensor de presión, la configuración de los parámetros PID y la puesta en marcha del sistema.

Una vez definidos los costos totales de inversión, se aplicarán las herramientas financieras correspondientes -como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)-, con el fin de evaluar la viabilidad económica del proyecto y determinar en qué medida la implementación de los variadores resulta rentable en función del ahorro energético proyectado y el tiempo de recuperación de la inversión.

Como base temporal para el análisis, se establece un horizonte de evaluación a corto plazo de tres años, periodo considerado adecuado para observar los beneficios tangibles de la medida implementada. Por otra parte, la tasa de descuento se asume con un valor promedio del 10%, el cual se encuentra dentro del rango comúnmente utilizado en evaluaciones financieras de proyectos industriales, representando un equilibrio entre el costo de oportunidad del capital y el nivel de riesgo asociado.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
inversión inicial	₡ 688,607.00			
Flujo de caja	-₡ 688,607.00	₡ 1,522,680.82	₡ 1,522,680.82	₡ 1,522,680.82
Tasa de descuento	10%			
VAN		₡ 3,098,074.83		
TIR		214%		

Tabla 44. Cálculo de VAN y TIR para una RFU de edificio 1

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis financiero reflejan una viabilidad económica altamente favorable. El Valor Actual Neto (VAN) obtenido es considerablemente superior a cero, lo que indica que la inversión generará beneficios netos positivos durante su vida útil, incluso bajo condiciones conservadoras. Este valor elevado del VAN demuestra que los flujos de ahorro energético compensan ampliamente la inversión inicial.

Asimismo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada alcanza un 214%, valor que supera con creces la tasa de descuento establecida (10%), confirmando que el proyecto no solo es rentable, sino que representa una oportunidad de inversión sumamente atractiva desde el punto de vista económico y energético. Estos resultados evidencian que la implementación de la medida propuesta no solo contribuye a la eficiencia energética, sino que también ofrece un retorno financiero altamente significativo para la empresa.

CONCLUSIONES

- I. La realización del balance energético de la planta, conforme a los lineamientos de la norma ISO 50002, permitió identificar de manera precisa los Usos Significativos de la Energía (USE). El análisis evidenció que el consumo energético de la empresa se concentra principalmente en los sistemas HVAC, aire comprimido y producción, siendo la energía eléctrica el principal recurso utilizado con un consumo mensual de 382,865 kWh . Esta información constituye una herramienta clave para la priorización de medidas de eficiencia energética, ya que permite enfocar los esfuerzos en los procesos con mayor potencial de ahorro. De esta forma, se promueve una gestión más racional y sostenible del recurso energético, alineada con las mejores prácticas internacionales de auditoría energética.
- II. La aplicación de la metodología establecida en la norma ISO 50006:2014 permitió definir las Líneas Base Energéticas (LBE_n) y los Indicadores de Desempeño Energético (IDE_n) de los principales sistemas. El resultado más representativo fue la obtención de una línea base de consumo total respecto a la producción, con un coeficiente de determinación R^2 de 0.99, lo que refleja una alta correlación y confiabilidad en el modelo energético desarrollado. Estos indicadores se consolidan como herramientas técnicas fundamentales para el seguimiento, control y mejora continua del desempeño energético, proporcionando una visión cuantitativa del impacto de las acciones implementadas y fortaleciendo la gestión energética de la planta.
- III. El análisis integral del desempeño energético, en conjunto con la comparación frente a parámetros normativos, permitió identificar Oportunidades de Conservación de Energía (OCE) con un impacto directo en la reducción del consumo. Entre las mejoras implementadas destaca la optimización del sistema de climatización del gimnasio, donde el ajuste del set-point de 22 °C a 24 °C y la incorporación de un apagado programado tras 15 horas de operación generaron una disminución del consumo energético del 40 % sin comprometer el confort térmico. De igual manera, en los cuartos

limpios se determinó que las unidades RFU operaban con una tasa de renovaciones mayor a la requerida. La optimización de su velocidad permitió ajustar el ACH a los valores establecidos en la ISO 14644-1:2015, manteniendo la presión diferencial dentro de los rangos normativos y reduciendo el consumo mensual por unidad de 10 742.4 kWh a 6 952.9 kWh (≈ 35.3 %). Para las cinco unidades, esto representa un ahorro total de 18 947.5 kWh al mes.

- IV. El estudio de prefactibilidad financiera confirmó la viabilidad económica de las OCE identificadas. La medida aplicada al gimnasio no requirió inversión inicial, generando un ahorro anual estimado de ₡111 978,83, mientras que la implementación de variadores de frecuencia en las RFU de los cuartos limpios presentó un Valor Actual Neto (VAN) de ₡3 098 074,83 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 214 %, evidenciando una alta rentabilidad y un retorno de inversión a corto plazo. Estos resultados demuestran que la adopción de tecnologías de control inteligente y estrategias operativas eficientes no solo contribuye a la reducción de costos energéticos, sino también al fortalecimiento de una cultura empresarial sostenible, consolidando la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto.

RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener la aplicación de metodologías de gestión energética alineadas con los lineamientos de las normas ISO 50002 e ISO 50006, fomentando la medición, seguimiento y análisis continuo del consumo energético en los principales sistemas de la planta. Contar con un sistema de monitoreo en tiempo real permitirá identificar desviaciones en el desempeño energético y establecer acciones correctivas oportunas que contribuyan a la mejora continua.

Asimismo, es aconsejable extender el análisis energético hacia otros sistemas de apoyo, principalmente al de aire comprimido, con el fin de obtener una visión más completa del uso global de la energía y facilitar la priorización de futuras oportunidades de conservación. La actualización periódica de las líneas base e indicadores energéticos garantizará que los resultados reflejen fielmente las condiciones operativas actuales de la planta.

Se sugiere continuar con la optimización del sistema de climatización, tanto en los cuartos limpios como en las áreas comunes, mediante la regulación automática de velocidad y presión en los equipos HVAC, aprovechando la funcionalidad de los variadores de frecuencia. De igual forma, mantener las medidas operativas implementadas en el gimnasio, como el ajuste del setpoint de temperatura y el apagado programado, permitirá consolidar el ahorro energético obtenido y estandarizar las buenas prácticas de uso.

También se recomienda evaluar, de acuerdo con la disponibilidad presupuestaria, la implementación progresiva de tecnologías de control y equipos de alta eficiencia en las áreas con mayor consumo, priorizando aquellas intervenciones que presenten una relación costo-beneficio favorable. Este tipo de inversiones, respaldadas por análisis técnicos y financieros, aseguran un retorno económico atractivo y una mejora significativa en el desempeño energético global.

Finalmente, se destaca la importancia de fortalecer la cultura energética dentro de la organización por medio de programas de capacitación continua, dirigidos al

personal operativo y de mantenimiento. La formación en temas de eficiencia, uso responsable de la energía y gestión de equipos permitirá sostener los resultados alcanzados y avanzar hacia un modelo de operación más eficiente, competitivo y ambientalmente sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2017). *Guía de eficiencia energética para la industria*. Gobierno de Chile. <https://www.acee.cl>
- Aleksandr, K., Sergey, T., Aleksandr, L., & Irina, M. (2021). Energy management systems as a factor of environmental and economic sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667, 012078.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2016). *Design guide for cleanrooms: fundamentals, systems, and performance*. ASHRAE. <https://www.ashrae.org>
- Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., & Ernst, F. O. (2011). Integrating energy efficiency performance in production management – Gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 667–679.
- Castro, A., & Torres, J. (2016). Implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001 en el sector industrial. *Revista de Energía y Ambiente*, 35(2), 45–58. <https://doi.org/10.18845/rea.v35i2.2548>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *Eficiencia energética en la industria: experiencias de implementación de sistemas de gestión de la energía (SGEn) en América Latina*. <https://www.cepal.org>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). (2020). *Guía técnica de eficiencia energética*. San José, Costa Rica. <https://www.cnfl.go.cr>
- Consejo Nacional de Energía. (2018). *Lineamientos para el uso de la norma ISO 50006:2014*. El Salvador. <https://www.cne.gob.sv>
- Cuevas, A. (2001). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. McGraw-Hill.
- Elishakoff, I. (2004). *Safety factors and reliability: friends or foes*. Kluwer Academic Publishers.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2025). *Cooling degree days and building energy performance*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Fierce Electronics. (2024). *Southeast Asia emerges as chip hotspot amid US-China tensions*. <https://www.fierceelectronics.com>

- Guzmán, J. (2018). *Gestión energética en instalaciones industriales: principios y prácticas*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es>
- Hu, S.-C., & Chuah, Y. K. (2003). Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan. *Energy*, 28(8), 895–907.
- Huuhka, P., et al. (2024). Operational emissions and energy performance evaluation using cooling degree days. *Energy and Buildings*, 310, 113843. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113843>
- Inside Logistics. (2024). *SE Asia territories becoming global manufacturing hubs*. <https://www.insidelogistics.ca>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2018). *Normas INTE/ISO 50001:2018, INTE/ISO 50002:2018, INTE/ISO 50003:2018*. San José, Costa Rica. <https://www.inteco.org>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 14644-1:2015 Cleanrooms and associated controlled environments - Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*. ISO. <https://www.iso.org>
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems – Requirements with guidance for use*. ISO. <https://www.iso.org>
- International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). (2012). *International Performance Measurement and Verification Protocol*. EVO. <https://evo-world.org>
- Kondaveeti, H., et al. (2021). Energy performance indicators and normalization techniques in ISO 50006 framework. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124521>
- Ladeuth, Y. M., López, D. D., & Socarrás, C. A. (2021). Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011. *Información Tecnológica*, 32(1), 101–112.
- Lian, J. Z., et al. (2024). Quantifying the present and future environmental sustainability of cleanrooms. *Cell Reports Sustainability*, 1(9), 100219.
- Masoso, O. T., & Grobler, L. J. (2010). The dark side of occupants' behaviour on building energy use. *Energy and Buildings*, 42(2), 173–177.

- Master, M., & Montes, C. (2019). *Eficiencia energética aplicada a la industria: fundamentos y estrategias*. Editorial Alfaomega.
- Mete, A. (2014). *Ingeniería económica y análisis de inversiones*. Pearson Educación.
- Muhammad-Sukki, F., et al. (2021). Implementation of energy management system in manufacturing industries: a case study in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123900.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2015). *Guía de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001*. <https://www.unido.org>
- Park, J., Shin, J., & Yoon, H. (2022). Energy analysis of cleanroom facilities in semiconductor manufacturing: Identifying key energy drivers. *Journal of Cleaner Production*, 344, 130941.
- Reuters. (2025). *India approves HCL-Foxconn joint venture for semiconductor unit*. <https://www.reuters.com>
- Romaní, J., Escudero, S., Borghero, L., Ortiz, J., & Salom, J. (2024). Sport and thermal comfort: recommendations from the world of research. *REHVA Journal*, 04/2024.
- Sanabria, M. (2021). *Análisis del impacto de la implementación de la norma ISO 50001 en la productividad y competitividad de las organizaciones*. Universidad de Costa Rica.
- Source of Asia. (2023). *Semiconductor industry in Southeast Asia: driving global innovation and supply chains*. <https://www.sourceofasia.com>
- Tricketts, M. (2020). Safety factor: how do I calculate that? FEAFORALL. <https://feaforall.com/calculate-safety-factor>
- Velazco, L. (2024). *El callejón sin salida de los chips: su fabricación ya consume la misma energía que países enteros*. El País. <https://elpais.com>
- Weng, C.-I., Hsu, C.-C., & Chang, R.-L. (2021). Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan: benchmarking and improvement strategies. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123456.
- Zhao, Y., Li, N., Tao, C., Chen, Q., & Jiang, M. (2021). A comparative study on energy performance assessment for HVAC systems in high-tech fabs. *Journal of Building Engineering*, 39, 102188.

APÉNDICES

Apéndice A

Tabla A.1. Levantamiento de cargas HVAC edificio 1

	Equipo	Zonas cubiertas	N.º compresores	compresor kW	N.º ventil.	HP ventil.	Turbina KW	Carga teórica KW	Horas uso diario	Consumo diario kWh
Unidades condensadoras	CR-HVAC-ACU-12OB	Cuarto eléctrico	1	5.7	1	0.33	N/A	5.94618	24	57.08
	CR-HVAC-ACU-13OB	Cuarto servidores	1	8.5	1	1		9.246	24	88.7616
	CR-HVAC-ACU-14OB		1	3.73	1	0.5		4.103	24	39.3888
	CR-HVAC-ACU-15OB	Cuarto frio	1		1			0	24	0
	CR-HVAC-ACU-16OB	Cuarto frio	1	5.7	1	0.75		6.2595	24	45.0684
	CR-HVAC-ACU-1AB	Cuarto limpio 1	7	14.22	8	4		123.412	24	936.7
	CR-HVAC-ACU-1COB	Cuarto limpio 1	2	5.968	2	0.75		13.055	24	78.33
	CR-HVAC-ACU-3OB	Cuarto limpio 1	3	14.22	4	2		48.628	24	285.8
	CR-HVAC-ACU-4OBN	Bodega	2	14.22	2	2		31.424	24	50.8
	CR-HVAC-ACU-5OBN	Bodega	2	20	4	2		45.968	24	422.10048
	CR-HVAC-ACU-7OB	Administración	1	3.73	1	0.75		4.2895	10	15.01325
	CR-HVAC-ACU-8OB	Soda	2	5.4	2	0.75		11.919	24	100.1196
	CR-HVAC-ACU-IT01	Cuarto IT	1	8.33	1	0.5		8.703	24	125.3232
	CR-HVAC-ACU-IT02	Cuarto IT	1	8.33	1	0.5		8.703	24	0
	CR-HVAC-ACU-SHIPPING	SHIPPING	1	11	1	0.75		11.5595	10	40.45825
	CR-HVAV-ACU-GYM1	Gimnasio	1	1.2	1	0.33		1.44618	24	14.7
	CR-HVAV-ACU-GYM2	Gimnasio	1	1.2	1	0.33		1.44618	24	14.7
Unidades evaporadoras	CR-HVAC-AHU-12OB	Cuarto eléctrico	N/A				8.95	8.95	24	214.8
	CR-HVAC-AHU-13OB	Cuarto servidores					8.95	8.95	24	214.8
	CR-HVAC-AHU-14OB	Cuarto frio					1.49	1.49	24	35.8
	CR-HVAC-AHU-15OB	Cuarto frio					0.75	0.75	24	18.0
	CR-HVAC-AHU-16OB	Cuarto frio					0.75	0.75	24	18.0

	CR-HVAC-AHU-1AOB	Clean room		11.19	11.19	24	268.6
	CR-HVAC-AHU-1BOB	Clean room		11.19	11.19	24	268.6
	CR-HVAC-AHU-1COB	Clean room		5.6	5.6	24	134.4
	CR-HVAC-AHU-2OD			7.46	7.46	24	179.0
	CR-HVAC-AHU-3OB			11.19	11.19	24	268.6
	CR-HVAC-AHU-4OBN	Bodega		17.46	17.46	24	419.0
	CR-HVAC-AHU-5OB	Bodega		22.38	22.38	24	537.1
	CR-HVAC-AHU-7OB	Administración		2.24	2.24	24	53.8
	CR-HVAC-AHU-8OB	Soda		8.95	8.95	24	214.8
	CR-HVAC-AHU-IT01	Cuarto IT		1.12	1.12	24	26.9
	CR-HVAC-AHU-IT02	Cuarto IT		1.12	1.12	24	26.9
	CR-HVAC-AHU-SHIPPING	SHIPPING		3.73	3.73	24	89.5
Unidades recirculadoras de aire	RFU-1	Clean room	N/A	14.92	14.92	24	358.08
	RFU-2	Clean room		14.92	14.92	24	358.08
	RFU-3	Clean room		14.92	14.92	24	358.08
	RFU-4	Clean room		14.92	14.92	24	358.08
	RFU-5	Clean room		14.92	14.92	24	358.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.2. Levantamiento de cargas HVAC edificio 2

	Equipo	Zonas cubiertas	N.º compresores	compresor kW	N.º ventil.	HP ventil.	Turbina KW	Carga teórica KW	Horas uso diario
Unidades condensadoras	CR-HVAC-ACU-01NB	Zona norte clean room	6	14.22	4	2	N/A	91.29	24
	CR-HVAC-ACU-02NB	Zona sur clean room	6	14.22	4	2		91.29	24
	CR-HVAC-ACU-03NB	Zona central clean room	3	14.22	2	2		45.64	24
	CR-HVAC-ACU-04NB	Zona central clean room	3	14.22	2	2		45.64	24
	CR-HVAC-ACU-05	Laboratorio FA	1	5	1	0.75		5.56	24
	CR-HVAC-ACU-06	Cuarto eléctrico 2	2	11.98	4	0.75		26.20	24
Unidades evaporadoras	AHU-1	Zona norte clean room	N/A	N/A	N/A	N/A	14.92	14.92	24
	AHU-2	Zona sur clean room					14.92	14.92	24
	AHU-3	Zona central clean room					5.60	5.60	24
	AHU-4	Zona central clean room					5.60	5.60	24
	AHU-5	Pasillo					5.59	5.59	24
	AHU-6	Cuarto eléctrico 2					5.59	5.59	24

Unidades de techo	RTU-1	Oficinas lado sur	2	7.5	2	0.75	2.23	18.35	10
	RTU-2	Cubículos ingeniería	2	7.5	2	0.75	2.23	18.35	0
	RTU-3	Of. norte, lab. Prod, calib	2	7.5	2	0.75	2.23	18.35	10
	RTU-4	Oficinas sector este	2	7.5	2	0.75	2.23	18.35	10
	RTU-5	Final ass'y este	4	11	4	1	14.92	61.90	24
	RTU-6	Final ass'y centro	4	11	4	1	14.92	61.90	24
	RTU-7	Final ass'y oeste	4	11	4	1	14.92	61.90	24
	RTU-8	Sala conf, lab. Calib.	4	11	4	1	14.92	61.90	10
Unidades recirculadoras de aire	RFU-6	Clean room	N/A				7.46	7.46	24
	RFU-7	Clean room					7.46	7.46	24
	RFU-8	Clean room					11.19	11.19	24
	RFU-9	Clean room					11.19	11.19	24
	RFU-10	Clean room					11.19	11.19	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.3. Mediciones de corriente de condensadoras (Amperios)

Equipo	Lunes														
	0:00	3:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-01NB	18.8	14	19.3	23	28	29	37	47	69	66	44	25.5	25	23	22.5
ACU-02NB	17.1	14.8	18.2	22.7	21.2	22.4	41.1	51.3	72.3	71.6	52.7	31.1	30.2	22.3	22.5
ACU-03NB	1.1	1.2	1.9	2	1.5	1.8	2.2	2.5	16.2	16.1	13.2	8.8	3.8	4.1	3
ACU-04NB	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.9	1.8	5.4	5.2	1.1	2.2	1.7	1.2	1	1.1
CR-HVAC-ACU-1AB	27.7	27	29.1	39	38.5	49.6	51.1	55.3	89.8	96.2	88	79.8	66.7	44.2	45.2
CR-HVAC-ACU-3OB	2	1.2	1.3	1.2	3.4	5.6	16	23.1	33.2	33	31.1	23.1	22.3	21	20.3
CR-HVAC-ACU-4OBN	1.1	1.2	1.3	1.1	1.5	3	3.2	7.3	8.4	8.2	7	3.9	2.2	2.1	2
CR-HVAC-ACU-5OBN	11.4	9.2	13	13.4	15.8	23.5	29	32.3	60.3	61.1	34.6	22.7	23.2	16.7	15
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.1	1	1.2	1	2.3	3.7	3.8	6.9	8.1	8	5.8	3.7	2.3	2.4	2.4
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.1	1	1.2	1	2.3	3.7	3.8	6.9	8.1	8	5.3	2.3	2.3	2.4	2.4

Equipo	Martes														
	0:00	3:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-01NB	19	16.7	19.3	21	27.6	29	41.1	49.2	71.1	69.9	42.1	32.1	26.6	22.5	21
ACU-02NB	20.7	15.3	18.7	19.9	23.7	23.4	28.7	43.6	68.7	66.2	63.4	46.8	37.1	31.6	24.8
ACU-03NB	1	1	1.3	1.8	1.9	2.8	10.8	9.7	10.2	17.1	15.4	9.7	6.6	3.1	3.3
ACU-04NB	1.1	1.2	1.1	1.3	1.1	1.9	1.8	1.1	5.2	1.1	1.2	1.7	1.2	1	1.1
CR-HVAC-ACU-1AB	28.3	27	29	41.1	40.7	58.8	60.3	55.3	91.1	95.2	95	88.7	66.2	64.2	48.8
CR-HVAC-ACU-3OB	2.1	2	2	2.1	6.6	19.8	16.8	37.8	36.8	33	31.1	31	22.3	22.7	20.1
CR-HVAC-ACU-4OBN	1	1	1.3	1.1	2.4	2.3	2	4.9	4.8	8.2	5.4	5.2	3.3	2.1	1.9
CR-HVAC-ACU-5OBN	11	9.2	11.2	14.8	14.4	22.2	27	31.7	60	58.8	37.2	23.4	20.2	15.8	15.4
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.1	1	1.2	1	1	2.5	3.7	5.1	8.1	8	4	4.1	2.3	3.4	2.1
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.1	1	1.2	1	1	2.1	3.7	4.6	8.1	8	4	4.1	2.3	3.4	2.1

Equipo	Miércoles														
	0:00	3:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-01NB	17	16.6	18.8	21.8	25.4	23.2	35.3	48.7	71	67.1	51.3	24.3	25	21.3	21.1
ACU-02NB	19.8	16	17.6	20.2	20.8	21.4	24.8	38.8	61.6	66.2	54.3	46.8	31.2	31.6	28.8
ACU-03NB	1	1	1.2	1.3	2.3	2.8	8.8	9.7	10.2	21.1	20.5	17.1	16	7.1	5.5
ACU-04NB	1.1	1.2	1.1	1.3	1.1	1.9	1.8	1.1	1.1	1.1	1.2	1.7	1.2	1	1.1
CR-HVAC-ACU-1AB	28	20.3	28.2	28.6	48.8	55.6	59.9	88.3	91	89.6	66.3	74	65.2	49.1	48.8
CR-HVAC-ACU-3OB	2	1.8	2	5.8	3.4	16.6	21.3	23.4	37.7	38	31.1	25.6	21.3	20	21.7
CR-HVAC-ACU-4OBN	1	1.2	1.1	1.1	1.9	1.1	2.8	2.4	7.1	8.2	6.2	2.2	3	2.9	2.7
CR-HVAC-ACU-5OBN	9	8	11.7	14	20.7	21	27.1	30.1	61.3	50.1	36.4	26.3	19.2	18	18.2
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.1	1	1.2	1	2.2	2.7	2.6	5.7	8.1	8	4.5	3.6	2.2	2.1	2.1
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.1	1	1.2	1	1.1	2.7	2.6	5.7	8.1	8	4.1	3.9	2.2	2.1	2.1

Equipo	Jueves														
	0:00	3:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-01NB	17.3	16.6	18.7	20.2	24.1	23.7	34.1	38.7	61.3	65.4	48.7	23.1	22.4	23.2	23.4
ACU-02NB	18.1	14	15.1	19.2	20.8	21.4	24.8	40.3	59.6	64.2	49.8	29.8	29.1	21.3	
ACU-03NB	1	1	1.2	1.1	2.1	2.2	3	3.4	8.8	18	19.3	22.1	12.2	4.4	4.1
ACU-04NB	1.1	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2	1.8	1.9	2	2	1.2	1.7	1.2	1	1.1
CR-HVAC-ACU-1AB	22.1	21.2	21	31.1	38.5	36.1	36.8	55.3	89.8	87.9	81.2	79.8	66.7	33.2	34
CR-HVAC-ACU-3OB	2.1	2	2	3.8	3.4	15.5	16.2	37.3	34.4	26.3	21.3	23.1	19	17.8	17.1
CR-HVAC-ACU-4OBN	1	1	1.1	1.9	2	1.3	7.1	6.8	6.9	7	3.3	2	1.8	2	2.8
CR-HVAC-ACU-5OBN	8.8	8.7	10	13.6	14	21.4	21.5	30.4	30.6	58.7	36.6	31.1	19	17.4	13.3
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.1	1	1.2	1	2.2	3.6	3.7	5.4	8.1	8.1	4.7	2.1	2	2	1.1
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.1	1	1.2	1	2.2	2.1	3.7	3.7	8.1	8.1	4.7	2.1	2	2	1.1

Equipo	viernes														
	0:00	3:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-01NB	16.6	16.1	17.8	17.4	23.8	23.7	34.1	44.7	61.3	61.2	37.8	23.1	21.7	22.3	20.7
ACU-02NB	14.2	15.1	16	17.2	21.3	21.3	26.6	47.8	60.2	61.2	52.1	31.2	21.1	22	19.9
ACU-03NB	1	1	1.2	2.3	2.1	2.2	2.3	3.4	8.8	9.7	9.5	9.2	4.3	2.1	1.9
ACU-04NB	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	4.7	2	2	1.9	2.1	1.2	1.1	1.1
CR-HVAC-ACU-1AB	20.1	21	24.2	25	26.5	44.4	45.2	55.3	71.2	85.4	77.6	71.1	69	49.2	41.1
CR-HVAC-ACU-3OB	1.9	1.2	1.5	1.2	3.4	6.9	15	20.1	21	22.5	29.9	25.6	19	18.5	18
CR-HVAC-ACU-4OBN	1	1	1.1	1.1	2.2	1.2	3.7	5.4	6.7	2.2	2.3	2.1	1.2	2.1	2.1
CR-HVAC-ACU-5OBN	9.6	8.1	8.8	12.4	13.4	19.2	22.3	27.4	36.3	61.2	33.7	27.4	17.7	14.7	13
CR-HVAV-ACU-GYM1	1.1	1	1.1	1	1.8	2.3	2.2	2	8.1	8	4.2	2.1	2.3	2	1.1
CR-HVAV-ACU-GYM2	1.1	0.9	1.1	1	1.1	2.3	2.2	2	8.1	8	3.6	2.1	2.3	2	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.4. Calculo factores de uso de condensadoras

ACU-02NB			ACU-03NB			ACU-04NB			ACU-1AB		
Horas de uso	24		Horas de uso	24		Horas de uso	24		Horas de uso	24	
Voltaje	480		Voltaje	480		Voltaje	480		Voltaje	480	
Ø	trifasico		Ø	trifasico		Ø	trifasico		Ø	trifasico	
Mediciones			Mediciones			Mediciones			Mediciones		
Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)
Lunes	34.10	25.52	Lunes	5.29	3.96	Lunes	1.88	1.41	Lunes	55.15	41.26
Martes	35.51	26.57	Martes	6.38	4.77	Martes	1.54	1.15	Martes	59.31	44.38
Miercoles	33.33	24.94	Miercoles	8.37	6.27	Miercoles	1.27	0.95	Miercoles	56.11	41.99
Jueves	31.85	23.83	Jueves	6.93	5.18	Jueves	1.39	1.04	Jueves	48.98	36.65
Viernes	29.81	22.31	Viernes	4.07	3.04	Viernes	1.61	1.21	Viernes	48.42	36.23
P prom/diaria (kWh)	591.15		P prom/diaria (kWh)	111.48		P prom/diaria (kWh)	27.63		P prom/diaria (kWh)	962.45	
P nominal/diaria (kWh)	2190.96		P nominal/diaria (kWh)	1095.3		P nominal/diaria (kWh)	1095.3		P nominal/diaria (kWh)	2961.6	
Factor de uso	0.27		Factor de uso	0.10		Factor de uso	0.03		Factor de uso	0.32	

ACU-3OB			ACU-4OB			ACU-5OB			ACU-GYM 01 - ACU GYM 02		
Horas de uso	24		Horas de uso	24		Horas de uso	24		Horas de uso	24	
Voltaje	480		Voltaje	480		Voltaje	480		Voltaje	220	
	trifasico		Ø	trifasico		Ø	trifasico		Ø	Monofasico	
Mediciones			Mediciones			Mediciones			Mediciones		
	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)	Día	I promedio (A)	P. promedio (kWh)
Lunes	15.85	11.86	Lunes	3.57	2.67	Lunes	25.41	19.02	Lunes	3.58	0.72
Martes	19.08	14.28	Martes	3.13	2.34	Martes	24.82	18.57	Martes	3.24	0.65
Miercoles	18.11	13.55	Miercoles	2.99	2.24	Miercoles	24.74	18.51	Miercoles	3.21	0.64
Jueves	16.09	12.04	Jueves	3.20	2.39	Jueves	22.34	16.72	Jueves	3.15	0.63
Viernes	13.71	10.26	Viernes	2.36	1.77	Viernes	21.68	16.22	Viernes	2.69	0.54
P prom/diaria (kWh)	297.55		P prom/diaria (kWh)	54.76		P prom/diaria (kWh)	427.37		P prom/diaria (kWh)	15.25	
P nominal/diaria (kWh)	1167.1		P nominal/diaria (kWh)	754.1		P nominal/diaria (kWh)	1241.52		P nominal/diaria (kWh)	34.7	
Factor de uso	0.25		Factor de uso	0.07		Factor de uso	0.34		Factor de uso	0.44	

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice B

Tabla B.1. Mediciones de corriente de condensadoras del gimnasio (Amperios)

Lunes													
Equipo	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-GYM1	3.1	1.4	1	2.3	3.8	4.8	8	5.2	4.4	2.3	2.3	1.9	1.5
ACU-GYM2	3.1	1.4	1	2.3	3.8	4.8	8	5.2	4.4	2.3	2.3	1.9	1.5
Martes													
Equipo	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-GYM1	3.3	1.2	1	2.1	3.3	4.2	5.1	8	5.1	3.8	2.3	2.2	1.2
ACU-GYM2	3.3	1.2	1	2.1	3.3	4.2	5.1	8	5.1	3.8	2.3	2.2	1.2
Miércoles													
Equipo	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-GYM1	2.9	1.2	1.3	2.2	2.6	4.7	8.1	4.1	3.3	3.1	2.1	1.8	1.4
ACU-GYM2	2.9	1.2	1.3	2.2	2.6	4.7	8.1	4.1	3.3	3.1	2.1	1.8	1.4
Jueves													
Equipo	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-GYM1	3.2	1.2	1.1	2.1	3.1	3	5.8	8	4.2	2.1	2	1.3	1
ACU-GYM2	3.2	1.2	1.1	2.1	3.1	3	5.8	8	4.2	2.1	2	1.3	1
Viernes													
Equipo	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
ACU-GYM1	3.1	1.3	1	1.3	2.2	4.3	7.8	5.2	3.2	2	1.6	1.2	1.1
ACU-GYM2	3.1	1.3	1	1.3	2.2	4.3	7.8	5.2	3.2	2	1.6	1.2	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.2. Cálculo de ACH de exceso para RFU de edificio #2

Equipos Inyectores de Aire				
Equipo	ACH	ACH total	ACH requerido	ACH de exceso
RFU-6	15.8	82.4	72	10.4
RFU-7	15.8			
RFU-8	16.9			
RFU-9	16.9			
RFU-10	16.9			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.3. Cálculo de ACH mínimo por unidad

Equipos Inyectores de Aire			
Equipo	ACH requerido	ACH de exceso	ACH por unidad
RFU-6	72	10.4	13.7
RFU-7			13.7
RFU-8			14.8
RFU-9			14.8
RFU-10			14.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.4. Cálculo de velocidades mínimas para cada RFU

Equipos Inyectores de Aire					
Equipo	ACH a otorgar	Volumen recinto (m ³)	Caudal (m ³ /h)	Velocidad nominal (RPM)	Velocidad ajustada (RPM)
RFU-6	13.7	2491.6	34247.06	1765.0	1532.6
RFU-7	13.7	2491.6	34247.06	1765.0	1532.6
RFU-8	14.8	2491.6	36967.06	1765.0	1547.6
RFU-9	14.8	2491.6	36967.06	1765.0	1547.6
RFU-10	14.8	2491.6	36967.06	1765.0	1547.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.5. Disminución del consumo para cada RFU edificio 2

Equipos Inyectores de Aire					
Equipo	Potencia antes (kW)	Consumo mensual antes (kWh)	Potencia después (kW)	Consumo mensual después (kWh)	Consumo mensual disminuido (kWh)
RFU-6	7.46	5371.2	4.88	3516.7	1854.5
RFU-7	7.46	5371.2	4.88	3516.7	1854.5
RFU-8	11.19	8056.8	7.54	5431.3	2625.5
RFU-9	11.19	8056.8	7.54	5431.3	2625.5
RFU-10	11.19	8056.8	7.54	5431.3	2625.5

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice C

Tabla C.1. VAN y TIR para RFU de 15 hp de edificio #2

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Inversión inicial	₡ 688,607.00			
Flujo de caja	-₡ 688,607.00	₡ 843,975.18	₡ 843,975.18	₡ 843,975.18
Tasa de descuento	10%			
VAN		₡ 1,410,234.35		
TIR		109%		


Fuente: Elaboración propia.

ANEXOS

Figura A.1. Instrumento de medición de corriente pinza amperimétrica marca FLUKE



Figura A.2. Cotización equipo variador de frecuencia



ELVATRON S.A
Cédula Jurídica N° 3-101-020826-35
Tel.: 2242-9900 - Fax.: 2520-0697
425 mts Norte de la Entrada Principal de la CNFL
Costa Rica, San José, Central, La Uruca.
www.elvatron.com

Cotización No.
P13-3G04N3 Versión: 1

Página: 1 de 1
Fecha de emisión: 03/10/2025
Fecha de vencimiento: 23/10/2025

Cliente: QORVO **Condición de venta:** Crédito a 30 días

Dirección: ZONA FRANCA METROPOLITANA BARREAL DE HEREDIA **Vendedor:** Yara Mora **Cel:** ND

Contacto: DAVID ROJAS GOMEZ **Teléfono:** 22429949 **Fax:** 25200609

C/T: David.RojasGomez@qorvo.com/+506 8530 8140 **Correo:** yara.mora@elvatron.com

LIN. CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT. T.ENTREGA	PRECIO UNI.	TOTAL LÍNEA
1 25BB017N104	VARIADOR DE FRECUENCIA POWERFLEX 525, 480 VAC, TRIFÁSICO, CORRIENTE DE SALIDA DE 17.5 AMPS, 15 HP NORMAL DUTY/HEAVY DUTY, TAMAÑO B, IP20 NEMA / TIPO ABIERTO, INCLUYE: KEYPAD, PUERTO USB, ETHERNET, PUERTO RS485 Y SAFE TORQUE OFF.	1 3 DIAS HABILES	\$ 1,369.49	\$ 1,369.49

Notas:

Asunto: Variadores ...480v 3ph


SUB - TOTAL	\$ 1,369.49
IVA	\$ 0.00
TOTAL	\$ 1,369.49



APRENDA CON ELVATRON

Le invitamos a ser parte de **MiElvatron** donde podrá participar en nuestros eventos y obtener beneficios como:

- Ganar puntos al participar en nuestras actividades y cambiarlos por premios
- Disponer de un historial de todas las capacitaciones recibidas con sus detalles como: temas, fecha, horas etc.



MiElvatron

Fuente: ELVATRON S.A. (2025).