

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Estudio de prefactibilidad para la integración de un sistema de monitoreo para gestión energética según INTE/ISO 50001 analizando su impacto en la competitividad financiera, social y ambiental en Advance Packing S.A.

Asunto:

Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial con el grado académico de Licenciatura

Realizador:

Kevin Alvarado Campos

2018135630

Coordinador de práctica:

Ing. Ignacio Del Valle Granados

I Semestre 2023

Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería y de Arquitectura



Cartago, Junio 2023

¹Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Fecha: 08/06/2023

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo, Kevin Alvarado Campos, envío al
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), el Trabajo Final de Graduación, del cual soy autor y fue presentado
para optar por el grado de licenciatura, en la fecha 07/06/2023, con el título del proyecto:
Estudio de prefactibilidad para la integración de un sistema de monitoreo para gestión energética según INTE/ISO
50001 analizando su impacto en la competitividad financiera, social y ambiental en Advance Packing S.A.

Para ser publicado en:

- Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet, o
 Catálogo SIBITEC, uso exclusivo de la Comunidad TEC.

Autorizo con embargo¹ Fecha para publicar: _____

En el caso de que no se pueda publicar seleccione:

Confidencial Justificación: _____

Datos personales:

Nombre autor: Kevin Alvarado Campos


Carrera en la que se presenta el TFG: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus Tecnológico / Centro: Académico: Tecnológico Central Cartago

Correo/s electrónico/s: kedac19@estudiantec.cr

Carnet: 2018135630

Nº de identificación personal: 702720801


702720801

Firma del estudiante

LIMPIAR

¹ Embargo: período de tiempo durante el cual el acceso o consulta a una publicación no está disponible.

HOJA DE INFORMACIÓN

Información del Estudiante

Nombre completo: Kevin Alvarado Campos

Número de cédula: 7-0272-0801

Número de carné: 2018135630

Edad: 23 años

Número de teléfono: +506 84123110

Correos electrónicos: kedac19@estudiantec.cr, kedac19@gmail.com

Dirección: La Colonia, Pococí, Limón

Información del Asesor:

Nombre completo: Cindy Araya Acuña

Cargo: Gerente General de Producción

Empresa: Advance Packing S.A.

Telefono: +506 88762754

Profesor Guía:

Nombre completo: Ing. Carlos Piedra Santamaría

Cargo: Profesor en la Escuela de Ingeniería Electromecánica

Telefono: +506 84708630

Correo electrónico: cpiedra@itcr.ac.cr

RESEÑA DE EMPRESA ADVANCE PACKING S.A.

Quiénes Somos

La empresa Advance Packing S.A. es una empresa familiar fundada en 2005, subsidiaria de la empresa Green Pack con sede en Puerto Rico, fundada en el año 1977.

Nuestros productos son de excelente calidad, a base de materia prima fresca, diseñados para mantener el equilibrio nutricional, creados mediante un proceso productivo inocuo.

Misión

Satisfacer las necesidades de nuestros clientes superando sus expectativas, brindándoles productos de calidad, con excelente servicio, a través de procesos inocuos y del desarrollo de productos innovadores.

Visión

Ser la empresa líder en la venta de productos de origen agrícola, tradicionales frescos y procesados para el consumo en Puerto Rico, Centroamérica, EEUU, China y Europa.

Qué es SQF

El Código SQF es un estándar de certificación de procesos y productos específico para la planta, que hace hincapié en la aplicación sistemática de los lineamientos y principios HACCP de la Comisión del CODEX Alimentarius para el control de los peligros para la calidad e inocuidad alimentaria.

CARTA DE ACEPTACIÓN



ADVANCE PACKING S.A
Cedula Jurídica 3-101-390760/13

05/12/2022

Ignacio Del Valle Granados
Coordinador de la práctica profesional

Por este medio la empresa Advance Packing S.A, cedula jurídica 3-101-39076013, hace constar la aceptación del estudiante Kevin Alvarado Campos, número de cédula 7-0272-0801 y número de carné 2018135630 para realizar el **Estudio de prefactibilidad para la integración de un sistema de monitoreo de gestión energética según INTE/ISO 50001 analizando su impacto en la competitividad financiera, social y ambiental**. Cabe destacar que el ante proyecto ya fue presentado por el estudiante y aprobado por la empresa.

Nuestra empresa está interesada en este proyecto porque se está buscando un desarrollo sostenible priorizando la **eficiencia energética** para aprovechar los recursos disponibles como, por ejemplo, la luz solar.

En esa misma línea, la empresa puede contribuir al desarrollo sostenible con **estrategias** energéticamente sostenibles, por ejemplo, que se requiera menos energía para funcionar a si se tengas un proceso más eficiente.

Solicitamos 100% de confidencialidad en el estudio a realizar, si el estudiante necesita algún tipo de anexo para realizar el estudio, este debe ser autorizado y supervisado por mi persona o algún miembro asignado del equipo de trabajo; llámese fotografías, videos, audios, información digital, etc.

Le comparto mi número de celular por si llegaron a necesitar alguna información extra o para resolver alguna duda (506) 88762754.

Se despide:

CINDY
ARAYA
ACUÑA
(FIRMA)
Firmado digitalmente por CINDY ARAYA ACUÑA (FIRMA)
Fecha: 2022.12.06 12:18:15 -06'00'

Calle 10, Jiménez Pococí Limón, 200 metros oeste del Colono Agropecuario 150 metros Sur.
Tel: (506) 2763-8382 2763-6073 FAX: (506) 2763-8380

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a las personas más importantes en mi vida: mis padres, familiares, mi novia y amigos. Su apoyo incondicional, aliento y amor han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito académico.

Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes, porque sin su apoyo y guía, no habría llegado hasta aquí. Gracias por ser mi equipo de soporte en cada paso del camino.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres, Pablo y Alejandra, por su constante apoyo a lo largo de mi camino universitario. Aprecio profundamente los sacrificios que han realizado, ya que gracias a ellos, he llegado a ser quien soy y estoy donde estoy hoy.

También quiero reconocer a mi novia, Marbella, quien me brindó un apoyo incondicional y estuvo a mi lado durante todo mi tiempo en la universidad.

Además, deseo expresar mi gratitud a mi familia: mis abuelos, abuelas, tíos, tía, hermanas, padrastro y madrastra, por su apoyo inquebrantable durante estos años de universidad. Agradezco su presencia en mi vida y el aliento constante que me brindaron en todo momento.

Agradezco a mis compañeros de estudio que me acompañaron durante todo mi trayecto universitario y brindaron un apoyo mutuo constante para completar todo el proceso académico. En particular, deseo reconocer a Juan, Alfredo, Steven, Brayan y Andrés, sin un orden específico, por su valiosa contribución en este camino educativo.

A todos los profesores que estuvieron de guía para la finalización de mi plan de estudios. Especialmente al Ing. Carlos Piedra, Ing. Juan Pablo Arias, Ing. Alberto Agüero, a Ing. Greivin Barahona e Ing. Luis Diego Murillo.

PREFACIO

La gestión energética se ha convertido en un tema cada vez más importante en el mundo actual, ya que el uso responsable y eficiente de la energía se ha vuelto necesario para garantizar la sostenibilidad del planeta y la viabilidad de las empresas y organizaciones. En este contexto, es imperativo desarrollar modelos de gestión energética que permitan medir, analizar y mejorar el consumo energético en diferentes sectores, desde el doméstico hasta el industrial.

El objetivo principal de este proyecto de modelo de gestión energética es desarrollar un modelo que permita a las empresas y organizaciones optimizar su consumo energético, reducir su huella de carbono y lograr un equilibrio entre la eficiencia energética y la rentabilidad. Para ello, se realiza un análisis exhaustivo de los procesos energéticos implicados en las actividades de la organización, se identifican los puntos clave de consumo y se proponen medidas de mejora.

Además, se hace especial hincapié en la sensibilización y formación en gestión energética de los empleados de la organización con el fin de promover una cultura de consumo responsable y sostenible. En definitiva, el proyecto pretende ayudar a construir un futuro más sostenible y responsable en el que la gestión energética juega un papel fundamental.

TABLA DE CONTENIDOS

HOJA DE INFORMACIÓN	iii
Información del estudiante	iii
Información del asesor:	iii
Profesor Guía:	iii
RESEÑA DE EMPRESA ADVANCE PACKING S.A.	iv
Quiénes somos	iv
Misión	iv
Visión	iv
Qué es SQF	iv
CARTA DE ACEPTACIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
PREFACIO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
GLOSARIO	xx
ABSTRACT	xxi
RESUMEN	xxi
INTRODUCCIÓN	I

ANTECEDENTES	3
Antecedentes Teóricos	3
Antecedentes Experimentales	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
JUSTIFICACIÓN	10
Importancia de realizar el proyecto	10
Si no se hiciese	11
Norma INTE-ISO 50001 como solución	11
Impacto en la competitividad	12
Impacto Social	12
Impacto Económico	12
Impacto Ambiental	13
Estado actual vs situación deseada	13
VIABILIDAD	14
Disponibilidad tecnológica	14
Disponibilidad de recursos financieros	14
Disponibilidad de recursos humanos	14
Disponibilidad de materiales	14
ALCANCE	15
LIMITACIONES	16

Limitaciones de recurso humano	16
Limitaciones de recurso financiero	16
Limitaciones de confidencialidad	16
MARCO TEÓRICO	17
Relevancia de problema	17
Conceptos fundamentales	17
Energía	17
Eficiencia Energética	17
Indicadores financieros	17
VAN: Valor actual neto	18
TIR: Tasa de retorno	18
ROI: Retorno de la inversión	18
Excel	19
L ^A T _E X	19
Sistemas de monitoreo	19
Ecosistema Arduino	19
Bibliotecas	19
Arduino UNO	20
Sensor SCT-013	20
Pantalla lcd 16X2	21
Línea base energética LBE´s	21
Indicador de desempeño energético IDE´s	22
Balance Energético Global	23
Modelo de gestión energética	23
Generalidades sobre la metodología para el control del consumo energético	24
Producción más limpia y eficiencia energética	24

Normativa	25
ISO50001:2018	25
ISO 50002:2014	26
ISO 50006:2015	26
METODOLOGÍA	27
OBJETIVO I. BALANCE ENERGÉTICO	28
Resumen	28
Contexto operativo	29
Recepción de materia prima	29
Lavado y pelado de materia prima	29
Proceso de frituras	30
Proceso de tubérculos congelados	31
Proceso de palitos de piña	31
Cuartos fríos	32
Aire comprimido	32
Área de bombas	32
Calentado de aceite vegetal	32
Horarios de trabajo	32
Consumos	33
Consumo Eléctrico	33
Demanda de gas LP	34
Demanda de nitrógeno	34
Identificación de energías críticas	38
Auditoría energética	38
Auditoría financiera	39

Consumo total de energía eléctrica	40
Análisis energético, identificación de sumideros críticos	40
Análisis de aprovechamiento del espacio en cuartos fríos	41
Oportunidades de mejora según el balance energético	42
Cuartos Fríos	42
Mantenimiento	42
Sistema de monitoreo	43
OBJETIVO II. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	44
Resumen	44
Establecimiento de indicadores de desempeño energético	44
IDE´s	44
IDE: <i>kWh / kg de producto terminado.</i>	44
IDE: <i>°C / kWh mensual.</i>	45
IDE: <i>kWh/m³ de espacio desaprovechado.</i>	46
Otros IDE obtenidos	48
LBE´s	48
LBE: <i>kWh/kg de producto terminado.</i>	50
LBE: <i>°C / kWh mensual.</i>	51
LBE: <i>kWh/m³ de espacio desaprovechado.</i>	52
OBJETIVO III. PROTOTIPO DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL	53
Resumen	53
Diseño y construcción del prototipo	53
Calibración teórica según el equipo	56
Pruebas del sistema de monitoreo	58
Resultados	59

Llenadora de chips	60
Cuarto frío Principal	61
Mejoras implementables al sistema de monitoreo	61
Oportunidades de mejora con un sistema de monitoreo en tiempo real	62
OBJETIVO IV. ANÁLISIS FINANCIERO	64
Resumen	64
Consideraciones	64
Inflación	64
Tasa de descuento	64
Impuesto sobre la renta (IVA)	65
Tableros	66
Componentes y proveedor	66
Costos de mano de obra	67
Presupuesto de inversión: Sistema de Monitoreo	67
CONCLUSIONES	70
Objetivo I	70
Objetivo II	70
Objetivo III	70
Objetivo IV	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÉNDICE A: BALANCE ENERGÉTICO	79
APÉNDICE B: DATOS ELÉCTRICOS	83

APÉNDICE C: PROTOTIPO DE MEDICIÓN	85
APÉNDICE D: LBES	89
APÉNDICE E: ANÁLISIS FINANCIERO	92
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1. Glosario de palabras clave	xx
Table 2. Desviación entre el debiera y la realidad Fuente: Elaboración Propia. \LaTeX	7
Table 3. Cuadro Metodológico. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	27
Table 4. Horarios de trabajo en Advance Packing S.A Fuente: Elaboración propia. \LaTeX	33
Table 5. Demanda eléctrica, sistema de calentamiento de aceite. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	34
Table 6. Demanda eléctrica, proceso de frituras tipo chips. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	35
Table 7. Consumo eléctrico, sistema de bombeo de agua. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	35
Table 8. Demanda eléctrica, sistema de cuartos fríos Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	36
Table 9. Demanda eléctrica, sección de oficinas administrativas. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	36
Table 10 Demanda eléctrica, sistema de aire comprimido. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	36
Table 11 Demanda eléctrica, proceso de tubérculos congelados Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	37
Table 12 Demanda eléctrica, proceso de palitos de piña. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	37
Table 13 Balance energético de procesos productivos. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	40
Table 14 Aprovechamiento del espacio en cuartos fríos. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX	43
Table 15 Indicador de desempeño energético, kWh/kg de producto terminado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	45
Table 16 Indicador de desempeño energético, C/kWh mensual. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	46
Table 17 Indicador de desempeño energético, kWh/m^3 de espacio desaprovechado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	47

Table 18 Lista de componentes del prototipo. Fuente: Elaboración propia. \LaTeX 54

Table 19 Desglose de costo de operación para el cuarto frío principal. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Modelo de gestión de la energía según ISO 50001. Fuente: (Laire, Fiallos, & Aguilera, 2018)	4
Figure 2. Distribución por territorio de la información para "ISO 50001". Fuente: (Sanabria, 2021)	5
Figure 3. Niveles de eficiencia energética por regiones en Ucrania. Fuente: (Verenyh & Hudoshnyk, 2020)	8
Figure 4. Metodología para acceder efectivamente a un QMS. Fuente: (ISO, 2015b)	11
Figure 5. Arduino 1. Fuente: (Nayyar & Puri, 2016)	20
Figure 6. Sensor SCT-013 100A. Fuente: (Nama, Despa, & Mardiana, 2016)	21
Figure 7. Pantalla LCD 16x2. Fuente: (Yoppy, Arjadi, Candra, et al., 2018)	21
Figure 8. Conceptos de período de línea base y período de informe de un IDE Fuente: (ISO, 2014b)	22
Figure 9. Generalidades sobre la metodología para el control del consumo energético (UPB) Fuente: (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017)	25
Figure 10. Metodología de CP-EE. Fuente: (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017)	26
Figure 11. Diagrama de proceso en Advance Packing S.A. Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.	28
Figure 12. Tipos de producto terminado. Fuente: Advance Packing S.A.	30
Figure 13. Gráfico de consumo de potencia para el año 2022. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	38
Figure 14. Gráfico de facturación por energías para el año 2022. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	39
Figure 15. Principio de Pareto, demanda eléctrica 2022. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	41
Figure 16. Principio de Pareto, consumo eléctrico 2022. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	42
Figure 17. Indicador de desempeño energético, kWh/kg de producto terminado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	45
Figure 18. Indicador de desempeño energético, €/kWh mensual. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	46

Figure 19. Indicador de desempeño energético, kWh/m^3 de espacio desaprovechado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	48
Figure 20. Variables con diferentes niveles de significancia. Fuente: ISO 50006:2014.	49
Figure 21. Línea base energética, kWh/kg de producto terminado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	50
Figure 22. Línea base energética, $^{\circ}C / kWh$ mensual. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	51
Figure 23. Línea base energética, kWh/m^3 de espacio desaprovechado. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	52
Figure 24. Diagrama esquemático electrónico. Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.	54
Figure 25. Montaje final del prototipo. Fuente: Elaboración propia.	55
Figure 26. Offset DC, antes y después de la modificación de amplitud. Fuente: Elaboración propia. \LaTeX	57
Figure 27. Instalación del prototipo para en la pesadora de chips. Fuente: Elaboración propia.	58
Figure 28. Instalación del prototipo en disyuntor del cuarto frío principal. Fuente: Elaboración propia.	59
Figure 29. Potencia eléctrica llenadora de chips (kVA), prototipo de medición vs FLUKE 325. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	60
Figure 30. Potencia eléctrica cuarto frío principal (kVA), prototipo de medición vs FLUKE 325. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	61
Figure 31. Evolución anual de la tasa de inflación en Costa Rica desde 2015 hasta 2027. Fuente: (Statista, 2023).	65
Figure 32. Evolución anual de la tasa de descuento bancaria en Costa Rica desde 2012 hasta 2023. Fuente: (Datosmacro.com, 2023).	66
Figure 33. Presupuesto, costo de los materiales. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	68
Figure 34. Presupuesto, costo de mano de obra. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	68
Figure 35. Presupuesto, costo de los materiales opcionales. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	68
Figure 36. Presupuesto, resultados financieros. Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.	69

GLOSARIO

Tabla 1. Glosario de palabras clave

Acrónimo	Significado
GLP	Gas licuado de petróleo
IDE	Indicador de Desempeño Energético
I_L	Corriente de línea
IoT	Internet of things
I_p	Corriente Pico
ISO	International Organization for Standardization
kg	kilogramo
kVA	kilovoltamperio
kW	kilowatt
kWh	kilowatt-hora
LBE	Línea Base de Energía
MGE	Modelo de gestión de energía
NEC	Código Eléctrico Nacional
NFPA	National Fire Protection Association
m^3	metro cubico
oz	onzas
ROI	Retorno sobre la inversión
SI	Sistema Internacional de Unidades
TIR	Tasa interna de retorno
USE	Uso Significativo de la Energía
VAN	Valor actual neto
V_L	Voltaje de línea

ABSTRACT

This paper shows how an energy management model that can be implemented in a company is developed, analyzing national and international case studies to establish which indicators are essential within an industry following the ISO 50001, ISO 50002 and ISO 50006 standards, with in order to determine decision-making based on quantifiable data and expose how the competitiveness of the company in question could be improved. The design and implementation of a system that measures consumption and stores the data is the first step for a MGE, the project bases its scope and objectives based on the aforementioned and the competitiveness hand in hand with the environmental policies established by the world bibliography.

Palabras Clave - Indicador de desempeño energético, línea base energética, modelo de gestión energética, NEC 2014, NFPA, valor actual neto.

RESUMEN

En este trabajo se da a conocer cómo se desarrolla un modelo de gestión energética implementable en una compañía, analizando casos de estudio nacionales e internacionales para establecer qué indicadores son esenciales dentro de una industria siguiendo la norma ISO 50001, ISO 50002 e ISO 50006, con el fin de determinar la toma de decisiones basadas en datos cuantificables y exponer como podría mejorarse la competitividad de la empresa en cuestión. El diseño e implementación de un sistema que mida el consumo y almacene los datos es el primer paso para un MGE, el proyecto basa su alcance y objetivos en función de lo antes mencionado y de la competitividad de la mano de las políticas ambientales establecidas por la bibliografía mundial.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda la norma internacional ISO 50001 cuyo propósito es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales (INTE/ISO, 2018).

Basándose en la norma una compañía puede desarrollar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción tomando en cuenta la información relacionada con el uso significativo de la energía (INTE/ISO, 2018).

El proyecto se realiza con el fin de generar información que apoyada por las referencias correctas, sirva de herramienta para ser aprovechable en la mejora continua del manejo que se le da a la energía. Académicamente es un tema que aborda tanto conceptos teóricos como políticas de conservación tanto medioambientales como sociales. A nivel profesional es importante crear proyectos que impulsen las políticas de desarrollo sostenible para generar un impacto verdadero sobre el manejo energético, relacionándolo de forma directa con la competitividad productiva.

Con un "MGE" o también conocido como "Modelo de Gestión Energética" partiendo de un diagnóstico preliminar, pasando por una revisión energética con la finalidad de detectar el potencial de ahorro energético asociado a un ahorro económico, esto relacionado en forma directa con el cuidado de los recursos naturales y el uso racional y sostenible de los mismos, sin comprometer las posibilidades de las generaciones presentes y futuras, en función de mantener la calidad de vida (Kerkhoff, Bárbaro, & Toledo, 2020) se aplican conocimientos históricos documentados y conceptos teórico-matemáticos para presentar datos que puedan ser aprovechables para un posible plan de mantenimiento.

Mediante balances energéticos y diagramas de proceso utilizando herramientas digitales para su elaboración y estudio se busca obtener datos que cuantifiquen la posición que se encuentra la compañía en el momento concreto identificando los criterios de costo ambientales, operacionales y legales. Según el principio de Pareto se definen prioridades de estudios (sumideros verdaderamente significativos) y al ser comparados con la bibliografía correcta poder realizar un diagnóstico de como sería preliminarmente el impacto de la gestión energética para todo el proceso productivo en análisis. La investigación siendo de carácter exploratorio, está diseñada en función de los datos obtenidos y analizados para generar posteriormente una propuesta de mejora que podría ser aplicable dentro del proceso crítico en cuestión.

Dentro de la estructura de la norma ISO 50001, la planificación y sus elementos son considerados el núcleo de un Sistema de Gestión Energética, puesto que proporcionan la base para el desarrollo de una estrategia de mejora del desempeño energético, con objetivos específicos y

actividades para la organización (R. Castrillon & González, 2018), (R. P. Castrillon & Quintero, 2018).

“Contar con protocolos para disminuir el consumo de energía y mejorar la eficiencia en su uso” (Kerkhoff, Bárbaro, & Toledo, 2020) comparándolos con indicadores de clase mundial promueve una visión clara de dónde se encuentra el proceso productivo de la empresa en contraste con las compañías que ya poseen un modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001.

Como limitantes, la investigación se aborda desde un ámbito exploratorio, comparativo y académico en función de la disponibilidad económica y de tiempo de la empresa en cuestión, y el alcance se encuentra directamente relacionado a este aspecto. El aspecto anterior se basa en que no se sabe con total seguridad el aporte de la misma al proyecto. En ámbito de confidencialidad, se puede presentar el caso de que la compañía no pueda mostrar datos y/o documentos de índole privado que ponga en riesgo la integridad de la misma.

ANTECEDENTES

Antecedentes Teóricos

Con el fin de erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático a nivel mundial en el 2015 se plantean los 17 objetivos de "La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible". enfocándose en el séptimo objetivo se encuentra "Energía asequible y no contaminante" cuyo tema trata en uno de sus apartados sobre el acceso energético y la eficiencia de esta. Siendo un objetivo de clase mundial debe de hacerse hincapié en este tema. Por otra parte, el "ODS" 12: "Producción y consumo responsable" trata temas como el tema de consumo y producción sostenible dando como idea fundamental que se debe dar un uso eficiente y responsable de la energía, evitando un uso desmedido y no controlado de los recursos (Organización de las Naciones Unidas, 2018).

Concretamente en Costa Rica se estableció un plan particular que impulsa los ODS enfocado al país. El "VII Plan Nacional de Energía 2015-2030" menciona como su principal objetivo es introducir cambios en el Sistema Eléctrico Nacional para elevar la eficiencia energética, el ahorro y lograr un mejor manejo de la demanda eléctrica; estimular el desarrollo de la generación distribuida y el autoconsumo de electricidad; actualizar el marco jurídico e institucional especializado en promover la eficiencia energética; mejorar los métodos de cálculo de las tarifas de electricidad y elevar la eficiencia de la gestión de las entidades públicas del sector electricidad (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015). A pesar de mencionar al sector público, también se considera al sector privado ya que siendo un gremio tan amplio significa que llevando a cabo la ejecución de planes como los mencionados con anterioridad, habrá un impacto significativo para el desarrollo de la competitividad productiva de la mano de las políticas ambientales.

Cada año se publica el "World Energy Outlook" que proporciona análisis críticos e información sobre las tendencias en la oferta y la demanda de energía, y lo que significan para la seguridad energética, la protección del medio ambiente y el desarrollo económico. En su versión del 2021 se comenta que la nueva economía energética será más electrificada, eficiente, interconectados y limpios. Su surgimiento es producto de un círculo virtuoso de acción política y la innovación tecnológica, y su impulso ahora se sustenta en costos más bajos. La energía limpia se está convirtiendo en una importante nueva área de inversión, empleo y un escenario dinámico para la colaboración y competencia internacional (International Energy Agency, 2021). Cabe destacar como todos los informes de carácter mundial apuntan a un futuro que envuelve todas las políticas de ahorro energético y gestión responsable de la electricidad siendo uno de los costos más importantes dentro de una industria.

Como herramienta fundamental para llevar a cabo la gestión energética de una forma responsable se presenta la norma ISO 50001 publicada por primera vez en junio de 2011, establece

los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como a incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad (Laire, Fiallos, & Aguilera, 2018). Dicha norma puede ser adjudicada a una empresa en función de su desempeño en ámbitos de la gestión energética mediante un plan de certificación que posea todos los requisitos. Como ejemplo la Figura 1:

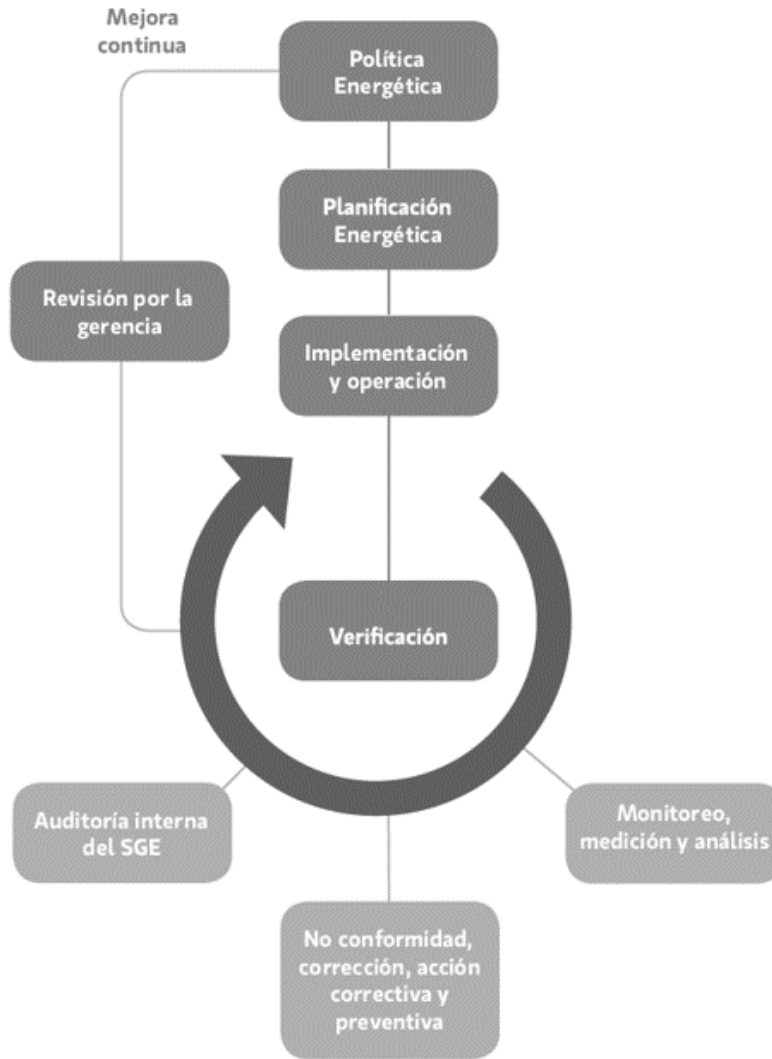


Figura 1. Modelo de gestión de la energía según ISO 50001.
Fuente: (Laire, Fiallos, & Aguilera, 2018)

Como herramienta complementaria la norma ISO 50002 especifica los requisitos del proceso para realizar una auditoría energética en relación con el rendimiento energético. Es aplicable a todo tipo de establecimientos y organizaciones, y a todas las formas de energía y uso de la energía

(ISO, 2014a). Por otra parte la norma internacional ISO 50006 proporciona orientación a las organizaciones sobre cómo establecer, utilizar y mantener indicadores de desempeño energético (EnPIs) y líneas base de energía (EnBs) como parte del proceso de medición rendimiento energético (ISO, 2014b).

El documento "Potencial of Sustainable Energy Managment in Buildings" establece conceptos que son fundamentales para un positivo desarrollo competitivo y que se basan no solo en el costo de los equipos, sino que también evalúa el consumo de estos; se menciona que las medidas de ahorro de energía o la renovación de equipos como medidas de implementación para optimizar la funcionalidad del sistema deben combinarse con la futura operación o desarrollo de una forma más efectiva. Se sugiere que se preparen varias opciones para diferentes situaciones y traten de lograr un aumento del potencial de ahorro energético (Katzenbach, Clauss, & Zheng, 2015). La pérdida de energía podría calcularse para cada período de prueba y su tendencia podría ser un indicador para evaluar la idoneidad de las medidas de ahorro de energía existentes.

Un artículo publicado en el 2018 presenta un informe de un análisis del papel que cumple la eficiencia energética en los objetivos de desarrollo sostenible desde un punto de vista académico y conceptual llegando a la conclusión de que el manejo responsable de la eficiencia energética juega un papel fundamental dentro del desarrollo económico, el impacto medioambiental y un aumento en la tasa de empleos. Comenta que considerando que la energía es un recurso limitado, es importante para los países el uso de los mínimos niveles y la máxima obtención económica resultante de la energía usada (Türkoğlu & Kardoğan, 2018).

Documentos por país o territorio

Compara el número de documentos para hasta 15 países/territorios.

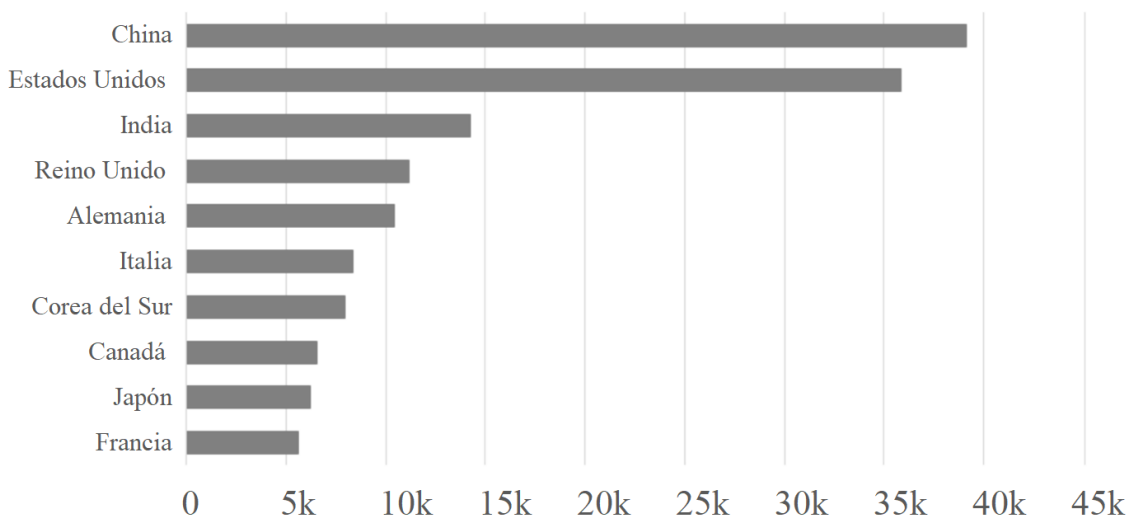


Figura 2. Distribución por territorio de la información para "ISO 50001".

Fuente: (Sanabria, 2021)

Analizando la Figura 2 que presenta la cantidad de búsquedas relacionadas a la norma ISO 50001 y cabe destacar como los países líderes en conocimiento del tema son naciones de primer mundo. Esta información es sumamente valiosa debido a que miembros de la lista como Colombia (3er puesto) son vistos por la comunidad internacional como un país líder en certificación energética y se pone a la par con países como Alemania y España, un claro modelo a seguir en favor de la mejora continua para Costa Rica (Sanabria, 2021).

En un estudio del año 2021 se enfatizó la importancia de la gestión energética y se mencionaron las aplicaciones de EnMS de diferentes sectores. Con un caso de estudio enfocado en las tarifas eléctricas se concluye que es muy importante realizar estudios energéticos preliminares y detallados de la organización, para identificar áreas de consumo importantes, identificar oportunidades de mejora y crear planes de acción. Los autores mencionan que *”tomado como referencia nuestro estudio, sugerimos fuertemente que la estrategia óptima de gestión tarifaria debe ser analizada en campus universitarios donde se consume energía de forma intensiva”* (Vargas, Posada, Jaramillo, & García, 2015).

Antecedentes Experimentales

Andrade en su informe del 2017 muestra el diseño y la implementación de un sistema de gestión de la energía basado en la norma ISO 50001: 2012 para lograr un uso eficiente de los recursos energéticos en una empresa de fibras sintéticas y textiles. El informe muestra resultados de reducción de consumo en el texturizado de 10%, hilatura 3%, en el retorcido 16.2%, además se logra una reducción de 5.09% de reducción por cada kWh, mediante un cambio en la visión de la empresa en ámbito de manejo energético (Andrade, 2017).

Otro caso de estudio fue realizado en Ucrania en 2020, en el contexto de un aumento constante en los precios de los recursos energéticos y el agotamiento de los recursos naturales, el problema de la eficiencia energética y el ahorro de energía salta a la palestra. El proyecto piloto para el desarrollo de CEMS se implementó en una institución educativa en la región de Lviv. Para este caso aplicado, el consumo energético de la instalación se ha reducido a 41,89 kWh/m³ sin pérdida de confort y las emisiones de gases se han reducido a 79,42 kg/m²; también el aislamiento del ático ahorrará 18 313 kWh/año, el reemplazo de ventanas ahorrará 31 569,3 kWh/año (Verenyh & Hudoshnyk, 2020).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para generar un modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001 se requieren indicadores de mejora que las empresas por lo general no poseen ya que carecen de la conservación de datos de operación y consumo. En la Figura 3 se aprecia como inclusive en países de primer mundo el estudio de la eficiencia energética cubre en promedio solo la mitad de la industria, a pesar de ser un aspecto tan significativo a nivel de competitividad (Verenych & Hudoshnyk, 2020).

Para la actualidad el número de empresas certificadas con la norma ISO 50001 ha aumentado significativamente en todo el mundo. Mencionando algunos ejemplos, Alemania lidera con 1,603 empresas certificadas, seguida de Estados Unidos con 337 empresas certificadas, España con 299 y Canadá con 182 empresas certificadas. Todos los países mostraron un aumento en el número de empresas certificadas con respecto al año anterior, siendo el crecimiento más notable en Estados Unidos (59%), seguido de Canadá (42%), España (50%) y Alemania (27%). Estos datos sugieren que cada vez más empresas están adoptando prácticas de gestión de energía eficientes y sostenibles, pero sin embargo el número se mantiene bajo en comparación a todo el campo productivo (Wang, Feng, & Chen, 2017).

El problema radica en la falta información para la toma de decisiones y acciones fundamentadas en temas de eficiencia y manejo energético. Se carece de datos cuantificables medidos en tiempo real y almacenados que puedan ser analizados en un trascurso de tiempo determinado que permitan la correcta gestión del mantenimiento y de la energía de la planta (INTE/ISO, 2018), (R. Castrillon & González, 2018), (Verenych & Hudoshnyk, 2020).

Tabla 2. Desviación entre el debiera y la realidad

Fuente: Elaboración Propia. L^AT_EX.

	Dato suministrado	Bibliografía
Debiera	Se debe conocer la competitividad social, económica, ambiental del negocio con el fin de determinar la gestión energética requerida con indicadores de clase mundial en el sector productivo	Uso, consumo de energía y eficiente energética, la última lo más cercana a 100%, partiendo de 40%
Desviación	Al no existir registro de rendimiento, de uso y consumo energético, la compañía no puede tomar decisiones basadas en información cuantificable, que evidencie el impacto de la energía en la competitividad del negocio	INTE/ISO (2018)
Realidad	No se realiza cuantificación de datos, estudios o cálculos de rendimiento energético por unidad producida en la organización	La compañía no posee datos de rendimiento energético



Figura 3. Niveles de eficiencia energética por regiones en Ucrania.
 Fuente: (Verenyh & Hudoshnyk, 2020)

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar la prefactibilidad económica de un modelo de gestión energética mediante un sistema de monitoreo de datos para la toma de acciones y decisiones a futuro alineadas a la competitividad y rentabilidad de la empresa en cuestión, basada en un estudio ingenieril y financiero sustentado por criterios de la norma ISO 50001 e indicadores de clase mundial para un lapso de estudio de dos meses.

Objetivos Específicos

1. Determinar mediante un balance energético el uso global de la energía de la empresa en cuestión bajo los criterios establecidos por la norma ISO 50002 para su posterior análisis de cuál es el proceso productivo crítico a nivel de consumo de energía.

Indicador de logro: Análisis ingenieril de gráficos generados con datos cuantificables y selección de ruta crítica mediante principio de Pareto.

2. Ilustrar la ubicación competitiva de la empresa mediante criterios estadísticos obtenidos de los procesos productivos en análisis y la norma ISO 50006 según lineamientos e indicadores de desempeño energético.

Indicador de logro: Implementación de IDEs y LBEs, estudio de productividad kW-h/kg producido, etc.

3. Realizar medición y monitorio de datos energéticos en el proceso electromecánico de producción crítico, utilizando dispositivos electrónicos tipo sensor conectado a Arduino y programados en lenguaje C, comparado con un medidor de corriente tipo gancho comercial, que arrojen datos reales cuantificables, analizables y recopilables de cómo se encuentra el consumo en el sumidero crítico definido según el balance energético.

Indicador de logro: Porcentaje de error, desviación estándar, gráficos de comportamiento de medición.

4. Analizar la prefactibilidad económica de la implementación de sistemas electrónicos de medición energética en los procesos productivos críticos mediante un estudio técnico financiero expuesto por medio de una auditoría energética.

Indicador de logro: Cálculo del VAN, TIR y ROI utilizando herramientas Excel e indicadores financieros.

JUSTIFICACIÓN

Importancia de Realizar El Proyecto

Los datos históricos utilizados para construir modelos de pronóstico son solo aproximados, los datos del día a día a lo largo de un tiempo de estudio son los que indican cómo se comporta el consumo. Se demuestra que la precisión de los pronósticos depende de un conjunto con los diferentes factores de operación (Popov, Fedosenko, Tkachenko, & Yatsenko, [2019](#)). Abordando todos desde un punto de vista ingenieril se pueden plantear modelos de gestión energética, gestión del mantenimiento, horarios de operación, modos de operación, tomar decisiones justificadas en beneficio financiero de la compañía y promover un avance en Costa Rica hacia la correcta gestión energética, en camino de apoyar las metas propuestas por el plan de descarbonización y los objetivos de desarrollo sostenible (Gobierno de Costa Rica, [2018](#)), (Organización de las Naciones Unidas, [2018](#)).

Con un prototipo a escala se puede ejemplificar cómo es el funcionamiento real de un sistema de monitorio para gestionar la energía, la compañía se beneficia al obtener información valiosa que pueda ser la herramienta que impulse hacia una reducción de costos por energía o tomar decisiones fundamentadas en favor de la misión empresarial, al mismo tiempo que se beneficia el medio ambiente con un ahorro en sus recursos. La reducción de costo por energía dentro de una planta abre camino a redireccionar recursos financieros, trayendo consigo un impacto social, por ejemplo, nuevos empleos o beneficios que pueden ser dados a quienes laboran (Barchi, Miori, Moser, & Papantoniou, [2018](#)).

Los proyectos e iniciativas europeos tienen como objetivo reducir la demanda de energía eléctrica a través de acciones efectivas de reforzamiento o prácticas de diseño enfocados en manejo responsable de la electricidad donde la industria tenga beneficios financieros al mismo tiempo que se impulsa hacia un futuro amigable con el ambiente (Barchi, Miori, Moser, & Papantoniou, [2018](#)). En este apartado se puede evidenciar la necesidad de realizar proyectos que impulsen al manejo responsable del recurso eléctrico.

En un futuro próximo, se espera que la demanda de electricidad aumente considerablemente debido no sólo a un mayor número de dispositivos eléctricos y electrónicos, sino también a la difusión de vehículos eléctricos. En este contexto, el uso de fuentes renovables de energía y su correcta gestión es fundamental para reducir las emisiones de CO₂ y la inversión de energía eléctrica (Barchi, Miori, Moser, & Papantoniou, [2018](#)), (IEA, [2016](#)).

Los objetivos de las iniciativas de IoT están fuertemente motivadas en integrar plataformas para de manera económica y efectiva brindar soluciones al usuario final y aportando datos que sean útiles para la proactividad empresarial, llenando vacíos de información que son vitales para un futuro más tecnológico y económico (Ni & Chen, [2017](#)),

Para que sean relevantes los datos del consumo energético de la compañía, la información debe cuantificar de manera precisa el consumo de energía de la entidad, este aspecto es esencial para medir el desempeño energético y proponer las mejoras de desempeño energético (ISO, 2014b).

Si No Se Hiciese

Se mantendría la necesidad de desarrollar una política de eficiencia energética; ajuste de metas y objetivos de acuerdo con la política desarrollada; usar datos para tomar mejores decisiones energéticas; determinación de resultados; revisión del concepto político; promoción continua de la eficiencia energética (INTE/ISO, 2018).

Norma INTE-ISO 50001 Como Solución

Según expertos rusos y europeos, la introducción de un sistema de gestión de la energía puede ahorrar hasta un 5% (expertos europeos) y hasta un 12% (desde el punto de vista nacional). Incluso las actividades preliminares destinadas a obtener un certificado le permiten obtener dicho beneficio (Korotkov, Zhernakova, & T.Yu, 2018).

El proceso consecutivo que se debe seguir para llegar a un manejo eficiente del recurso energético lo aporta la INTE-ISO 50001 y la ISO 9001:2015, las siguientes figuras muestra como las normas establecen el camino más óptimo y la metodología a seguir ya estandarizada para solucionar el problema planteado (INTE/ISO, 2018), (ISO, 2015b). Ver Figura 4.

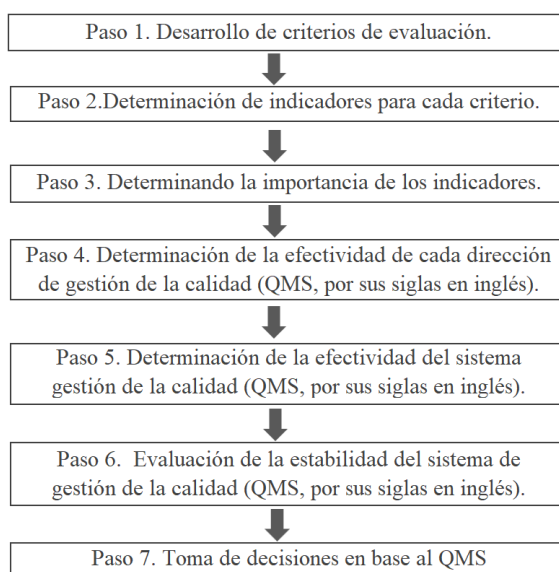


Figura 4. Metodología para acceder efectivamente a un QMS.

Fuente: (ISO, 2015b)

Impacto en la Competitividad

Impacto Social

Con una certificación ISO como la expuesta en este proyecto, el cliente y los involucrados en los procesos que se ven expuestos a una instalación eléctrica no deberían ser dañados y afectados físicamente por errores en las instalaciones eléctricas que no se detectaron en una inspección. La satisfacción de seguridad laboral es “*un estado emocional placentero o positivo resultado de la valoración del trabajo y de la experiencia laboral*” (Palacios, León, & Santos, 2021).

Además, los proyectos que impulsan las empresas a un reconocimiento nacional permiten un avance en el desarrollo de las comunidades donde se encuentran, creando oportunidades de trabajo, mejorar salarios y apoyar al talento humano en las zonas en vías de desarrollo fuera de la gran área metropolitana. La generación de empleo depende de ayudar a la construcción del sector (Palacios, León, & Santos, 2021). Se obtiene la Sensibilización de los empleados en la gestión energética (Aleksandr, Sergey, Aleksandr, et al., 2021)

Impacto Económico

El aspecto económico se puede correlacionar con el social, ser atractivo a nivel de certificaciones permite mayor interés en la empresa por parte de los clientes, mayor entrada económica permite nuevas contrataciones, aumentos en salario, expandir la empresa y cambio en las instalaciones de trabajo. Evidencia empírica reciente muestra que el principal objetivo de las empresas es para obtener una ganancia económica (Castro & Torres, 2016) y mejorar la competitividad a nivel nacional.

Algunos beneficios de la norma INTE/ISO 50001 como estándar para una organización son (Aleksandr, Sergey, Aleksandr, et al., 2021):

- Optimización de procesos y reducción de costos de energía.
- Transparencia y objetividad de la evaluación de la eficiencia energética.
- Reducción de costos.
- Ventaja en licitaciones, incluida la oportunidad de participar en licitaciones internacionales (si se requiere la presencia de un certificado ISO 50001).
- Mejorar la reputación de la organización, aumentando su competitividad.
- Mejora de la reputación en el mercado.

Desde el punto de vista del propietario, lo más interesante son los efectos económicos y organizativos. Desde un punto de vista financiero, la implementación del sistema conduce a un mejor rendimiento, costos reducidos, identificación de costos no productivos, mayor transparencia de los procesos, inversión en proyectos de ahorro de energía y brinda la oportunidad de participar en el comercio de emisiones. Como resultado de estos efectos, se mejora la reputación de la empresa, su capitalización y el atractivo para la inversión. Por lo tanto, este estándar permite que una entidad económica trabaje de manera más efectiva y con más confianza para vencer a los competidores (ISO, 2015a).

Impacto Ambiental

El impacto ambiental se resume en lograr el respeto al medio ambiente de la producción, reducir la contaminación ambiental y preservar recursos naturales (Aleksandr, Sergey, Aleksandr, et al., 2021).

El Código Eléctrico Nacional establece las pautas para que las instalaciones eléctricas sean los más eficientes y seguras posibles en ámbito energético (NFPA, 2014). Un proceso estandarizado y sustentado por un conocimiento significativo en el NEC asegura que el inspector conoce como debe ser la instalación para seguir lo establecido tanto por el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en favor de un futuro con el menor consumo eléctrico. La reducción de pérdidas de potencia real y mejora de perfil de voltaje que son dos objetivos principales (Organización de las Naciones Unidas, 2018), (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015), (Alam, Zaid, Gupta, et al., 2018).

Estado Actual vs Situación Deseada

La compañía no posee ningún registro en tiempo real de datos que permita la toma de decisiones fundamentadas en función de la competitividad.

Se espera que los resultados de la investigación muestren como la implementación de un sistema de monitoreo podría ser beneficioso para la compañía.

VIABILIDAD

La viabilidad del proyecto en cuestión depende principalmente de cuatro factores clave detallados a continuación y que son claves para la realización exitosa del mismo:

Disponibilidad Tecnológica

Los artículos tecnológicos para utilizar, llámese computadora, dispositivos de medición son los que el estudiante tenga bajo su posesión o adquisición temporal para la investigación, siempre y cuando sean suficientes para abastecer los requerimientos del proyecto. Además, se toma en cuenta cualquier herramienta tecnológica que la compañía quiere aportar al practicante y que facilite la finalización de los objetivos.

Disponibilidad de Recursos Financieros

La empresa en cuestión debe llegar a un acuerdo con el estudiante con respecto a la cantidad de dinero o recursos de los cuales el estudiante pueda disponer para la elaboración de la práctica. Dichos recursos no delimitan el alcance del proyecto, en dado caso el estudiante debe correr con los gastos necesarios para el cumplimiento de los objetivos.

Disponibilidad de Recursos Humanos

La empresa debe asignar un guía, dicho mentor debe tener un grado igual o mayor al que busca optar el estudiante (Licenciatura). Además, los miembros o trabajadores de la planta deben estar en disposición de ayudar y aportar la información requerida para el estudio técnico-financiero.

Disponibilidad de Materiales

El practicante debe tener total acceso a la maquinaria y materiales de los cuales se requieran hacer estudios, así como de registros energéticos históricos, de consumo y costos de operación.

Se debe de proveer al estudiante toda la información requerida en cualquier ámbito que sea necesario para el cumplimiento de los objetivos planteados. En caso de que algún documento sea indispensable pero confidencial, se deberá firmar un acuerdo de confidencialidad por ambas partes para tener dicho acceso.

ALCANCE

Un alcance exploratorio se encuentra presente en la propuesta ya que se desconocía si la compañía poseía registros históricos de los datos energéticos requeridos para el cumplimiento de los objetivos, en dado caso y mediante criterios ingenieriles, se procede a establecer datos teóricos que posteriormente fueron comparados con los experimentales.

El proyecto presenta un alcance correccional en función de que los datos históricos, teóricos o prácticos que se obtengan del proceso productivo serán evaluados desde un punto de vista energético comparándolos con indicadores establecidos por las normas ISO.

A nivel de alcance explicativo se ilustra mediante la auditoría que se realiza en el proyecto con el personal a cargo, donde se indica la situación actual de la empresa según los datos obtenidos y la prefactibilidad económica de considerar un sistema de monitorio en tiempo real.

LIMITACIONES

Limitaciones de Recurso Humano

En la ejecución del proyecto no se cuenta con un equipo conformado previamente, sino que se desarrolla en su mayoría de forma individual por el estudiante; cuando se requiera, será indispensable la colaboración de miembros de la empresa, como de profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Limitaciones de Recurso Financiero

El gasto económico idealmente partirá de algo nulo, sin embargo, en caso de requerirse, el estudiante debe invertir en los materiales necesarios para el cumplimiento de los objetivos siempre y cuando la empresa no esté en disposición de inyectar recursos al proyecto, por ejemplo, en el caso de los dispositivos para la elaboración del prototipo de medición, si la empresa no los aporta es responsabilidad del estudiante conseguirlos temporalmente para el estudio.

Limitaciones de Confidencialidad

El desarrollo y resultados del proyecto serán de naturaleza pública para futuros trabajos gubernamentales o académicos que involucren planes de descarbonización o que vayan acorde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por otra parte, los datos suministrados por la empresa para la elaboración del proyecto serán de índole privada para el estudiante y su evaluación.

MARCO TEÓRICO

Relevancia de Problema

La toma de decisiones en la producción es el módulo central para la producción orientada a la empresa, la adaptación a los cambios ambientales externos e internos y la colaboración externa. La implementación de la programación de producción requiere planificación y orientación, la planificación es el objetivo de la programación, y la programación restringe la planificación. La mala adaptabilidad de los planes de producción basados en un entorno de programación idealizado afectará directamente a la ejecución (Ding & Wu, 2019).

Una programación deficiente puede generar problemas como la reprogramación planificada, la carga desequilibrada y el desperdicio severo de recursos. Con el uso generalizado de la gestión de la cadena o cadenas de suministro, con el fin de maximizar los beneficios económicos generales del suministro cadena, la planificación de la producción tiene un significado más amplio, que incluye coordinación de la producción planificación de la producción (Ding & Wu, 2019).

Conceptos Fundamentales

Energía

La energía es la capacidad del cuerpo para ejecutar trabajo y provocar cambios en sí mismo o en otros. Entonces, la energía es la capacidad de hacer funcionar cosas. La energía, siguiendo el sistema internacional de unidades se mide en kilowatts-hora (kWh), por lo que la energía de un dispositivo depende de su producción eléctrica medida en kW y de su tiempo de funcionamiento medido en horas (Cardona & Cifuentes, 2008).

Eficiencia Energética

La eficiencia energética es una herramienta útil para reducir el consumo de energía y optimizar los procesos productivos. Es decir, produce más o lo mismo, pero menos energía. Como resultado, el consumo de energía es proporcional a las condiciones y los ciclos económicos, lo que brinda a las industrias la oportunidad de aumentar la eficiencia de la producción y maximizar las ganancias (Master & Montes, 2019).

Indicadores Financieros

Una vez se a confeccionado los flujos de efectivo vinculados con uno o varios proyectos, se debe evaluar la viabilidad económico financiera de las diferentes alternativas que se presentan. La decisión pasará por aceptar o rechazar la propuesta en caso de tratarse de proyectos independientes,

o bien, de aceptar la más conveniente en caso de tratarse de proyectos mutuamente excluyentes (Mete, 2014)

VAN: Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos (Mete, 2014).

Con un valor actual neto siendo mayor o igual a 0, se acepta, en el caso contrario el mismo es rechazado. Un valor negativo no implica necesariamente pérdidas, significa que los beneficios a pesar de ser positivos no son de interés para el alcance económico (Mete, 2014).

$$VAN = \sum_{t=1}^n [FE(t)].(1+i)^{(0-t)} - I_0 \quad (1)$$

Donde: *VAN*: Valor Actual Neto, *FE(t)*: flujo de efectivo neto del período *t*, *i*: tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, *n*: número de períodos de vida útil del proyecto, *I₀*: inversión inicial (neta de ingresos y otros egresos)

TIR: Tasa de Retorno

Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel (Mete, 2014).

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FE}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2)$$

Donde: *VAN*: Valor Actual Neto, *TIR*: Tasa Interna de Rendimiento/Retorno, *FE(t)*: flujo de efectivo neto del período *t*, *i*: tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, *n*: número de períodos de vida útil del proyecto, *I₀*: inversión inicial (neta de ingresos y otros egresos)

ROI: Retorno de la Inversión

Es una razón que relaciona el ingreso generado por un centro de inversión a los recursos (o base de activos) usados para generar ese ingreso (Cuevas, 2001).

$$ROI = \frac{In}{Inv} \quad (3)$$

Donde: *ROI*: Retorno de la inversión, *In*: Ingreso, *Inv*: Inversión de activos

Excel

Microsoft Excel es una herramienta de hoja de cálculo desarrollada por la empresa Microsoft para su uso en sistemas operativos Windows, macOS, Android e iOS. El programa incluye una amplia gama de funciones, incluyendo cálculos, gráficos, tablas y un lenguaje de programación macro conocido como Visual Basic para aplicaciones. Desde su lanzamiento inicial en 1985, Excel ha sido ampliamente adoptado como una solución confiable para las necesidades de hojas de cálculo, especialmente desde su versión 5 en 1993. Con el tiempo, ha reemplazado a Lotus 1-2-3 como el estándar de la industria para las hojas de cálculo. Excel se encuentra disponible como parte del conjunto de programas conocido como Microsoft Office (McCarthy, 2012).

LaTeX

El entorno LaTeX es un sistema para la preparación de documentos que combina características de un procesador de texto y un programa de programación. LaTeX se basa en el lenguaje de marcado TeX, pero proporciona una capa de abstracción más alta para facilitar la creación de documentos estructurados y profesionales (System., 1986).

Sistemas de Monitoreo

Ecosistema Arduino

El lenguaje de programación y las herramientas derivan en último término de C, uno de los lenguajes más extendidos. Sobre este lenguaje se añaden elementos de Processing/Wiring para hacerlo lo más sencillo posible. mediante este lenguaje se describe el comportamiento del "computador" de la placa Arduino. Los ficheros que contienen el texto del programa se denominan Sketchs (Vizcaíno & Sebastia, 2014).

Bibliotecas

LiquidCrystal.h

Permite la comunicación con pantallas alfanuméricas de cristal líquido (LCD). Con el uso de esta biblioteca se permite que una placa Arduino/Genuino controle pantallas LiquidCrystal (LCD) basadas en el conjunto de chips Hitachi HD44780 (o uno compatible), que se encuentra en la mayoría de las pantallas LCD basadas en texto. La biblioteca funciona en modo de 4 u 8 bits (es decir, usando 4 u 8 líneas de datos además de las líneas de control rs, enable y, opcionalmente, rw) (Arduino, 2022).

Emonlib.h

Emonlib es una biblioteca de código abierto desarrollada para propósito de monitoreo de energía en tiempo real. La biblioteca Emonlib es capaz de Lectura de voltaje analógico y señales de corriente; además, puede calcular la tensión de red, la corriente de red, la potencia real, la potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia. Los métodos integrados de la biblioteca son proporcionadas por los desarrolladores de Emonlib que pueden ser utilizado para recuperar los parámetros de potencia requeridos para el alcance del proyecto (Kabir, Mohsin, & Khan, 2017)

Arduino UNO

Arduino, es una placa de software libre basado en microcontroladores ATmega328, se basan en 8, 16 y 32 bits con tecnología AVR. El Arduino 1 tiene 20 MHz clock oscillator, 32 kB flash, 1kB de SRAM, 23 pines programables, 6 canales de 10 Bits y 6 salidas PWM (Nayyar & Puri, 2016).

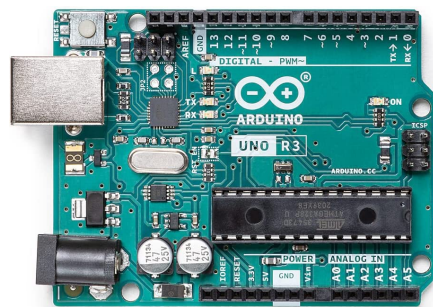


Figura 5. Arduino 1.
Fuente: (Nayyar & Puri, 2016)

Sensor SCT-013

Existen básicamente dos tipos de métodos de detección actuales: invasivos y no invasivos. Los métodos invasivos conectan sensores directamente a la red. Los sensores de corriente invasivos comunes incluyen sensores de efecto Hall de un solo eje, inductores simples de alto valor, resistencias y CT de núcleo sólido. Las técnicas no invasivas evitan la conexión directa a la red. Algunos sensores no invasivos son transformadores de corriente de núcleo dividido y sensores de efecto Hall.

El transformador de Corriente SCT-013 100A proporciona un voltaje de salida que es lineal con los cambios actuales medidos. Emite señal dependiendo de la señal de entrada en el experimento, la corriente medida es CA, entonces necesita un circuito de acondicionamiento de señal

que actúe como divisor de voltaje, se encarga para reducir el voltaje de modo que la señal pueda ser leída por Arduino (Nama, Despa, & Mardiana, 2016).



Figura 6. Sensor SCT-013 100A.
Fuente: (Nama, Despa, & Mardiana, 2016)

Pantalla lcd 16X2

Este componente se encarga de convertir las señales eléctricas de la placa en información visual fácilmente entendible por los seres humanos. Se debe de dominar tanto la conexiones como la programación de la pantalla LCD con ecosistema Arduino ya que es un componente muy útil en muchos proyectos. La gran ventaja es que gracias a la pantalla LCD, se puede mostrar información de datos como temperatura, humedad, presión, voltaje, corriente...(Yoppy, Arjadi, Candra, et al., 2018).

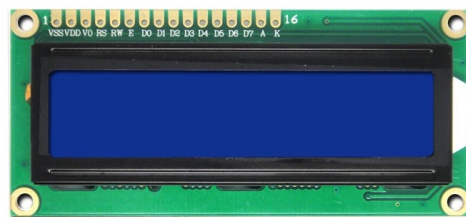


Figura 7. Pantalla LCD 16x2.
Fuente: (Yoppy, Arjadi, Candra, et al., 2018)

Línea Base Energética LBE´s

Una organización debería comparar los cambios de desempeño energético entre el período de línea base y el período de informe. La LBE se utiliza simplemente para determinar los valores

IDE para el base y el período de informe. La LBE se utiliza simplemente para determinar los valores IDE para el período de línea base. El tipo de información necesaria para establecer una línea base de energía es período de línea base. El tipo de información necesaria para establecer una línea base de energía es determinada por el propósito específico del IDE (ISO, 2014b). Para establecer un LBE se requiere de cuatro pasos:

1. Definir el propósito de la línea base.
2. Establecer un periodo de estudio determinado.
3. Recopilación de datos.
4. Elaboración y comprobación de la LBE.

Comparando el desempeño energético entre el período de línea base y el período de informe, consiste en calcular la diferencia en el valor del IDE entre los dos períodos (ISO, 2014b). Ver Figura 8.

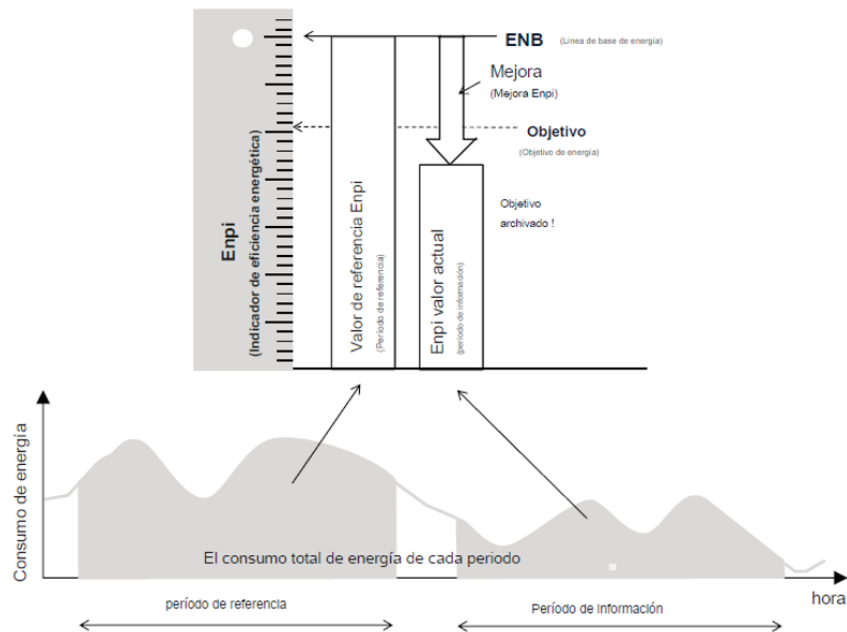


Figura 8. Conceptos de período de línea base y período de informe de un IDE
Fuente: (ISO, 2014b)

Indicador de Desempeño Energético IDE´s

Es el valor o medida cuantitativa del desempeño energético así definido por la organización. Se relaciona con el uso de la energía y el consumo de la energía (ISO, 2014b)

Las organizaciones configuran IDE y LBE para medir y cuantificar de manera efectiva su rendimiento energético. IDE se utiliza para cuantificar el rendimiento energético de una organización completa o de sus diversas partes. LBE es un punto de referencia cuantitativo que se utiliza para comparar los valores de IDE a lo largo del tiempo y cuantificar los cambios en la eficiencia energética. Los resultados de eficiencia energética se pueden expresar en unidades de consumo (p. ej., kW-h), consumo específico en función de la producción (p. ej., kW-h/Unidad Producida), potencia nominal de trabajo (p. ej., kW) o tasa de cambio o relación adimensional de eficiencia (Instituto nacional de normalización chileno, 2015). Los principales IDE que se estudian son:

- **Valor energético:** Dato de energía obtenido mediante medición.
- **relación de valores:** Expresión de eficiencia energética a forma de relación entre valores medidos.
- **Modelo estadístico:** Relación entre consumo energético y las variables relevantes en forma de regresión lineal o no lineal.
- **Modelo ingenieril:** Relación entre el consumo de energía y las variables relevantes utilizando simulaciones de ingeniería.

Balance Energético Global

Se debe ser coherente con el alcance, límites y objetivos acordados, las mediciones y recopilación de información deben ser realizadas según su apropiado uso y consumo de energía. Los datos recopilados deben de ser representativos de las actividades, procesos, equipos y sistemas, dichos datos deben cuantificar el desempleo energético e identificar las oportunidades de mejora. La trazabilidad debe estar presente siendo un proceso de recopilación, validación y análisis de datos. Todos los anteriores puntos mediante auditoría proporcionan oportunidades de mejora de desempeño basado en análisis técnico y financiero (ISO, 2014a).

Modelo de Gestión Energética

UN Modelo de gestión energética (MGE) es utilizado para dar un uso eficiente de los sistemas de almacenamiento y consumo de energía. Si se tiene que resolver lo relacionado a problemas técnicos en la red y, al mismo tiempo, para maximizar los ingresos económicos tanto para los productores como para el llamado prosumidor (productor y consumidor al mismo tiempo) y para minimizar los costos para los consumidores, se utiliza un MGE. Para este propósito, en la literatura existen varios métodos de gestión de la energía que son utilizados para minimizar el intercambio de energía con la red, para reducir los picos de potencia en la red y para reducir los desequilibrios

de potencia (Menniti, Pinnarelli, Sorrentino, et al., 2018). Algunos ejemplos son los modelos UPB y CP-EE presentados a continuación:

Generalidades sobre la Metodología para el Control del Consumo Energético

El modelo abreviado como UPB de la Universidad Pontificia Bolivariana propone las etapas mencionadas a continuación, que no tienen que ser realizadas en estricto orden secuencial (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017):

1. Una auditoría y evaluación energética.
2. Identificación de los centros de costos de energía.
3. Desarrollo de los procesos de monitoreo.
4. Definición de estándares de funcionamiento.
5. Desarrollo de procedimientos para el análisis de datos y reportes de funcionamiento.
6. Definición de objetivos para mejorar el funcionamiento.

Producción más Limpia y Eficiencia Energética

El modelo de Producción más limpia y Eficiencia de energía (CP-EE) propuesto por UNEP básicamente consta de los siguientes elementos principales (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017):

1. Planificación y Organización.
2. Pre-valoración.
3. Valoración.
4. Análisis de viabilidad.
5. Implementación y continuación.

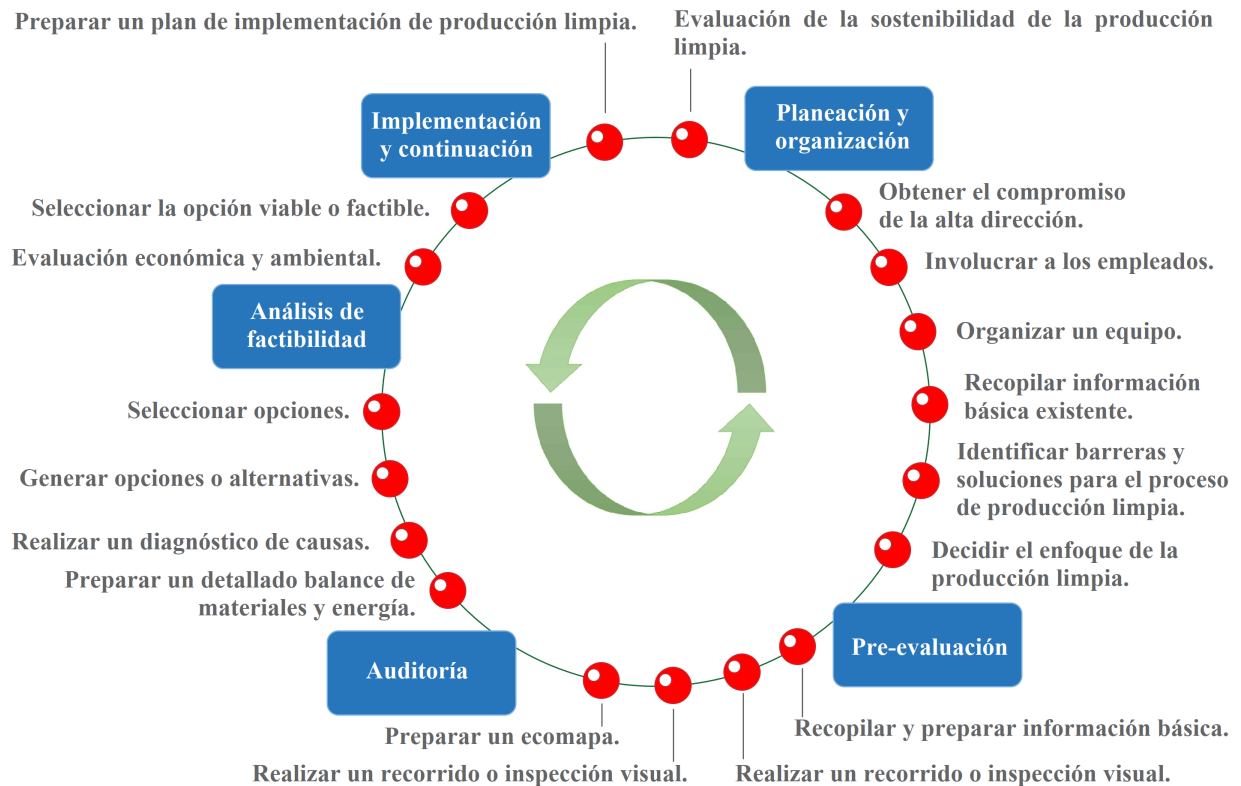


Figura 9. Generalidades sobre la metodología para el control del consumo energético (UPB)
Fuente: (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017)

Normativa

ISO50001:2018

El propósito de esta Norma Internacional es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta Norma Internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía (INTE/ISO, 2018)..

La norma ISO 50001:2018 establece un marco de gestión energética para establecer políticas, procesos, procedimientos y tareas relacionadas con la energía para lograr los objetivos energéticos de una organización. Las organizaciones deben definir sus eficiencias energéticas deseadas y trabajar para lograr esos objetivos (INTE/ISO, 2018).

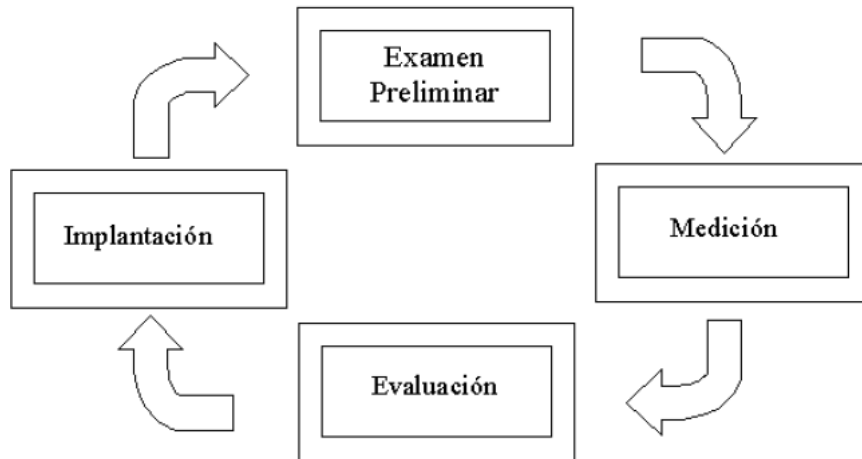


Figura 10. Metodología de CP-EE.

Fuente: (Medina, Caicedo, & Quispe, 2017)

ISO 50002:2014

Esta norma define las características de una adecuada auditoría energética. Establece los requisitos para las auditorías energéticas y las obligaciones correspondientes dentro del proceso de auditoría energética. Este estándar reconoce que hay diferencias en el enfoque de la norma en términos de alcance, los límites y objetivos. Sin embargo, esta norma pretende armonizar los aspectos comunes de las auditorías energéticas con el fin de aportar más claridad y transparencia en el mercado de los servicios de auditorías energéticas (ISO, 2014a).

ISO 50006:2015

Esta norma proporciona a las organizaciones una orientación práctica sobre cómo cumplir con los requisitos ISO 50001 relacionadas con la creación, uso y mantenimiento de los indicadores de desempeño energético (IDE) y las líneas base de energía (LBE) en la medición del desempeño energético y de los cambios del desempeño energético. Los IDEs y LBEs son dos elementos claves interrelacionados de ISO 50001 que permiten la medición, y por lo tanto la gestión de la energía en una organización. Desempeño energético es un concepto amplio que se relaciona con el consumo de energía, el uso de energía y la eficiencia energética (ISO, 2014b).

METODOLOGÍA

Tabla 3. Cuadro Metodológico.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Fuente de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Resultados entregados
Objetivo #1	Generación de un balance energético de la empresa. Se procede a estudiar en base a la norma ISO 50002 el consumo de los procesos, sistemas y productos de la planta en general para posteriormente identificar y separar los diferentes sumideros. Se define que tipo de energía se utiliza en cada proceso de la planta.	Se estudia el consumo histórico (registros) y se analiza el diagrama unifilar de la planta (en caso de existir), de lo contrario se elabora el mismo tomando en cuenta todos los consumos energéticos que hayan, obtenidos de la placa de los equipos o como última instancia de una estimación estadística o medida experimentalmente.	Se emplean la norma ISO 50002 y el principio de Pareto para definir cuál es el sumidero más significativo y enfocar el estudio en ese punto de consumo.	Se entrega un balance energético en forma gráfica de la planta en general, un balance energético en forma gráfica del sumidero crítico a estudiar y un diagrama de proceso para la planta.
Objetivo #2	Ya establecido el sumidero crítico, se procede a establecer que indicadores energéticos son más significativos dentro del proceso en estudio siguiendo los parámetros establecidos por la norma ISO 50006. Se genera una línea base que permita estimar como es la competitividad del consumo energético de la compañía en eficiencia, uso y consumo comparándolo con estudios recientes.	Datos históricos o teóricos en su defecto, suministrados por la compañía y comparados con los datos experimentales obtenidos en mediciones de campo por el estudiante. Además, criterios que pueden encontrarse en la norma ISO 50006 analizados de forma aplicada al proceso productivo.	La línea base establece punto de comparación entre la situación actual y la histórica. Además, los tres niveles del contorno Enpi permiten estudiar a fondo la distribución del sumidero.	Un balance de costo de operación por unidad producida, 0 en su defecto costo de unidad producida por periodo, en forma de tabla resumen para toda la planta y el proceso crítico. También el análisis de línea base realizado.
Objetivo #3	Diseñar un dispositivo que obtenga datos en tiempo real del consumo de los equipos del sumidero en análisis, medir datos del proceso productivo a lo largo de un periodo establecido para ser comparado con datos de un equipo comercial.	Se obtienen los datos generados por el sumidero crítico, datos provenientes de los equipos pertenecientes únicamente del proceso productivo en análisis.	La base de datos obtenida se recopila para posteriormente ser comparada con los datos reales dados por el equipo comercial.	Gráficos comparativos con % de error y desviación estándar entre los equipos. Resultados de diseño y programación final del prototipo.
Objetivo #4	Se procede a construir un informe de prefactibilidad económica donde se ilustre si es o no rentable la toma de datos en favor de la eficiencia energética para el proceso crítico dentro la planta, justificado con los estudios anteriores y realizado mediante la herramienta Excel.	La información proviene de cálculos matemáticos utilizando todos los datos y estudios realizados con anterioridad.	Se hace uso de los criterios estadísticos VAN, TIR y ROI para definir la prefactibilidad económica de la propuesta.	Estudio técnico-financiero que presenta los resultados finales de la propuesta a exponer.

OBJETIVO I. BALANCE ENERGÉTICO

Resumen

En este capítulo, para la planta empacadora Advance Packing S.A., se realiza una auditoría energética en cuanto al consumo eléctrico, consumo de gas LP y consumo de nitrógeno. Esto se debe a que estas son las principales fuentes de energía para los diferentes procesos de producción.

La auditoría energética proporciona información sobre el consumo de energía, que puede ayudar a mejorar el rendimiento energético de su consumo por zonas, además de crear una base factible para la toma de decisiones en favor de mejorar el rendimiento. La auditoría energética se realiza utilizando como guía los parámetros establecidos por las normas ISO 50001:2018 e ISO 50002:2014.

Se evalúan los tres principales procesos productivos de la planta, procesos de frituras tipo chips, proceso de tubérculos congelado y proceso de palitos de piña. Además, se consideran todos los puntos de consumo clave de la planta.

La Figura 11 muestra el diagrama de proceso de la planta, se muestran las energías distribuidas a lo largo de la planta; dicho diagrama está elaborado en base a los lineamientos de la norma ISO 50001:2018. Para el balance energético se realiza un levantamiento de los equipos en las líneas de producción, ver Figuras A.1, A.2 y A.3.

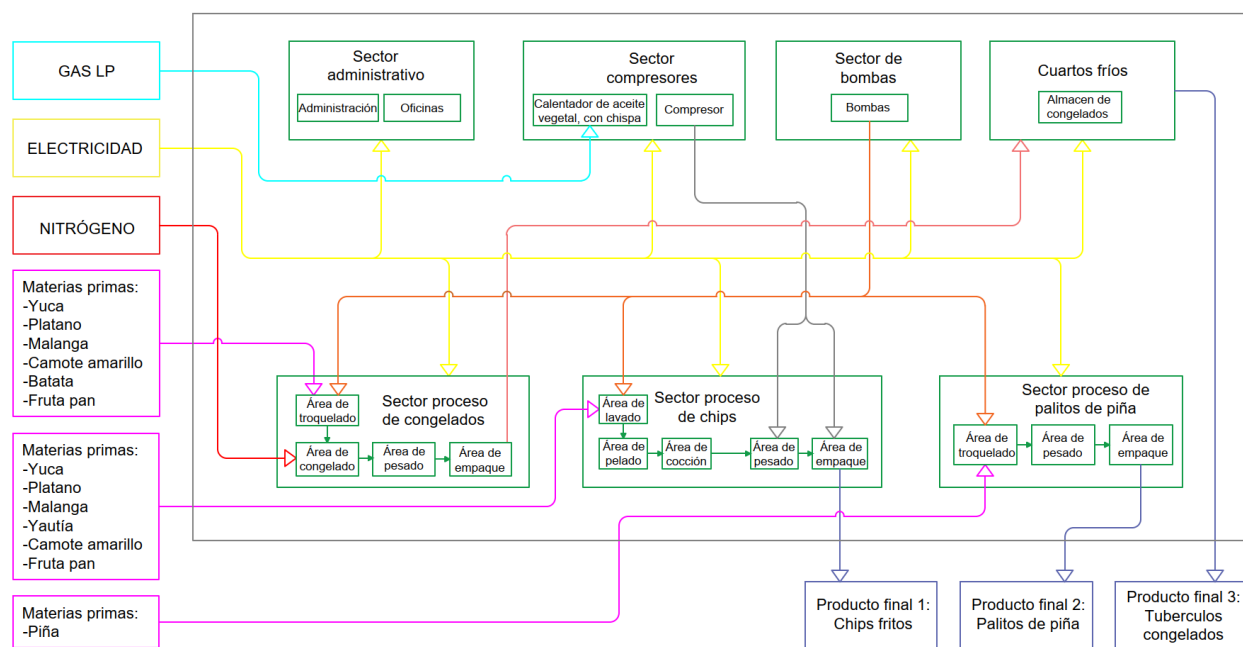


Figura 11. Diagrama de proceso en Advance Packing S.A.

Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

Contexto Operativo

La planta empacadora Advance Packing S.A. posee tres líneas de producción, de la cuales se producen los siguientes productos terminados. Toda la información del contexto operativo es suministrada por la gerencia de producción de la empresa. La Figura 12 muestra algunos de los productos terminados.

- Frituras tipo chips en cuatro diferentes presentaciones:
 - Yuquitas, malanga, platanutres y mixtos.
- Tubérculos congelados:
 - Palitos de plátano y palitos de malanga.
- Palitos de piña:
 - Palitos de piña y zumo de piña congelado.

Recepción de Materia Prima

La materia prima llega en camiones a la planta desde las fincas donde se produce su cultivo, las cuales pertenecen a la empresa y su producción es completamente a base de productos naturales. La organización consiste en ingresar a la planta únicamente la materia prima que se va a utilizar en el plan de trabajo de ese día en concreto. La materia prima que entra es:

- Frituras tipo chips en cuatro diferentes presentaciones:
 - Yuca, plátano, malanga, camote amarillo, batata, fruta pan.
- Tubérculos congelados:
 - Yuca, plátano, malanga, yautía, camote amarillo, fruta pan.
- Palitos de piña:
 - Piña

Lavado y Pelado de Materia Prima

Inmediatamente después de recibida la materia prima, se pone el producto en las dos lavadoras automáticas. Al finaliza el lavado, son transportadas mediante tres bandas transportadoras hacia la zona de pelado manual que consiste en tres bandas transportadoras. En este punto, las carcasas y residuos se envían a la zona de procesado de desechos mediante bandas transportadoras.



Figura 12. Tipos de producto terminado.

Fuente: Advance Packing S.A.

Proceso de Frituras

A - Rebanado

Se realiza el rebanado de los tubérculos en dos presentaciones, en función del producto en producción, rebanado de chips o rebanado de tiras.

B - Cocción

En esta etapa se fríe toda la materia prima cortada en aceite vegetal. Luego, el producto cocinado se pasa por el vibrador para eliminar residuos que queden en la cocción. Posteriormente, se coloca en una banda enfriamiento para eliminar el excedente de aceite y que el producto baje su temperatura. Finalmente, el producto pasa por un salador para ser movido al área de pesado y empaquetado.

C - Área de Empaquetado

Una banda transportadora muele el producto hasta un ganso de elevación que coloca el producto en la pesadora, la cual se encarga de racionar las frituras y pasarlo a la empacadora. Por

último, las bolsas rellenas se mueven mediante una banda transportadora a la zona de sellado del paquete.

Proceso de Tubérculos Congelados

A - Rebanado

Se realiza el rebanado de los tubérculos en presentación de palitos. El sobrante de los palitos de piña que fueros desclasificados se utilizan en este proceso para crear pulpa de piña.

B - Congelado

Se introducen toda la materia prima en una banda transportadora que pasa debajo del congelador alimentado por nitrógeno que se encarga del congelamiento instantáneo de todos los productos.

C - Empacado

Se coloca el producto congelado en una banda transportadora que lo lleva a un ganso elevador. El ganso elevador introduce el producto en la pesadora para posteriormente ser empacado y sellado. La banda transportadora entrega el producto terminado.

Proceso de Palitos de Piña

A - Troquelado

La piña entera pasa por una troqueladora especial que se encarga de eliminar la cascara y generar la forma de los palitos. Posteriormente, los palitos de piña pasan por una clasificadora que se encarga de eliminar todos los que no cumplen con los estándares de forma y tamaño establecido (son enviados al proceso de congelados para crear pulpa de piña).

B - Empacado

La seleccionadora entrega mediante una banda transportado el producto que es introducido en la empacadora de palitos de piña. Al salir del empaquetado, las maquinas selladoras cierran el empaque.

Cada empaque pasa por un detector de metales para la verificación de la calidad en el producto terminado, es clasificado, puesto y sellado dentro de cajas de cartón.

Cuartos Fríos

Todo el producto terminado, a excepción de las frituras, es introducido y almacenado en los diferentes cuartos fríos de la planta, tres de ellos, además del cuarto de congelación de palitos de piña, están en operación ininterrumpida a lo largo de todo año.

La planta cuenta con dos cámaras auxiliares de refrigeración extra que trabajan de forma ininterrumpida a lo largo del año.

Por otra parte, la planta posee siete contenedores de refrigeración que trabajan en función de la demanda de producto de la época en cuestión, ya que a excepción del proceso de frituras, el de congelados y palitos de piña funcionan solamente bajo encargo.

Aire Comprimido

La planta produce aire comprimido por medio de dos compresores que trabajan de forma alternada para alimentar los sistemas neumáticos de la planta, en concreto todas las empacadoras y pesadoras de los diferentes procesos de la planta.

Área de Bombas

Para lavar la materia prima se requiere una presión constante otorgada por tres bombas que trabajan de forma alternada para el suministro de agua potable.

Calentado de Aceite Vegetal

Para la cocción de frituras se requiere el suministro de gas LP para calentar el aceite vegetal donde se fríe la materia prima, el aceite vegetal se almacena en un tanque del cual viaja al calentador mediante una bomba de aceite frío. Posterior al calentamiento del aceite, una bomba de aceite caliente lo introduce al proceso de frituras. Es un proceso cerrado.

Horarios de Trabajo

Para el estudio del consumo energético de Advance Packing S.A. se requiere el mapeo de los tiempos de trabajo para cada proceso en la planta, ya sea productivo o administrativo. El estudio se realiza para toda la planta, de manera que se depura de forma mas acertada los puntos de mayor consumo. Los horarios de trabajo se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Horarios de trabajo en Advance Packing S.A

Fuente: Elaboración propia. L^AT_EX.

Centro de consumo	Horas mensuales promedio (h/mes)	Descripción detallada de horarios de trabajo
Proceso de chips	175,00	El proceso se encuentra en funcionamiento cinco días a la semana con un horario que abarca desde las 7:00 hasta las 16:30 con una pausa de 45 minutos diarios
Proceso de congelados	4,38	El proceso funciona exclusivamente bajo encargo, un día cada dos meses de 7:00 a 16:00
Proceso de palitos de piña	8,75	El proceso funciona exclusivamente bajo encargo, un día cada mes de 7:00 a 16:00
Cuartos fríos y congelación	672,00	Se encuentra cuatro cuartos fríos, tres contenedores y dos cámaras auxiliares en funcionamiento todos los días de año
Oficinas administrativas	190,00	Oficinas administrativas trabajan de 7:00 hasta las 16:30, cinco días a la semana
Sistema aire comprimido	175,00	El proceso se encuentra en funcionamiento cinco días a la semana con un horario que abarca desde las 7:00 hasta las 16:30 con una pausa de 45 minutos diarios
Calentamiento de aceite	175,00	El proceso se encuentra en funcionamiento cinco días a la semana con un horario que abarca desde las 7:00 hasta las 16:30 con una pausa de 45 minutos diarios
Agua de lavado	40,00	El proceso trabaja dos horas diarias, cinco días a la semana sin pausas

Consumos

Consumo Eléctrico

En el contexto de la elaboración del proyecto y el estudio del consumo eléctrico, se consideran todos los equipos que conforman la planta, incluyendo aquellos utilizados en los procesos productivos, así como los equipos complementarios tales como cuartos fríos, equipos de bombeo y aire comprimido. Entre los equipos que se toman en cuenta se encuentran los de lavado, motores, bandas transportadoras, bombas, freidoras, vibradoras, pesadoras, equipos de enfriamiento, entre otros.

Con el fin de obtener los datos de potencia necesarios, se utilizan las placas de los equipos, y estos son verificados con mediciones en funcionamiento a plena carga previamente realizadas en la planta. Se debe tener en cuenta que existen posibles variaciones entre el consumo real y los resultados obtenidos mediante la experimentación debido a que los registros de la empresa no son

completamente confiables al no contar con sistemas de medición en tiempo real.

Demanda de Gas Lp

El consumo de gas LP se limita únicamente al proceso principal de frituras en forma de chips, y se toma en consideración el equipo específico que utiliza este tipo de energía, que es el calentador de aceite. El consumo de gas se obtiene de la placa del equipo y se compara con el registro de consumo de la empresa para asegurar su precisión. Además, el cálculo de su consumo se realiza mediante el registro de compras de gas LP del año completo 2022.

Demanda de Nitrógeno

El consumo de nitrógeno se produce únicamente en la banda de congelación del proceso de tubérculos congelados. Para estimar este consumo, se toman en cuenta las compras mensuales de este combustible a lo largo del año completo 2022.

Tabla 5. Demanda eléctrica, sistema de calentamiento de aceite.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Número de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Filtrador de aceite vegetal	1,49
ii	Bomba de aceite vegetal frío	7,32
iii	Calentado de aceite vegetal	0,10
iv	Bomba de aceite vegetal caliente	2,20

Tabla 6. Demanda eléctrica, proceso de frituras tipo chips.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Numero de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Lavadora de materia prima #1	5,32
ii	Banda Transportado inicial	1,33
iii	Lavadora de materia prima #2	7,32
iv	Peladora de camote	14,00
v	Banda de entrada a sección de pelado	1,33
vi	Banda para pelado manual #1	1,33
vii	Banda para pelado manual #2	1,33
viii	Banda para pelado manual #3	1,33
ix	Banda a tolva de desechos #1	0,82
x	Banda a tolva de desechos #2	0,82
xi	Tolva de procesado de desechos	2,90
xii	Rebanadora de chips	2,23
xiii	Rebanadora de tiras	4,46
xiv	Freidora de materia prima pelada	6,65
xv	Extractor de cocina	2,66
xvi	Vibradora para separar residuos de cocción	1,49
xvii	Banda de enfriamiento para producto cocinado	1,65
xviii	Salador de frituras #1	1,33
xix	Salador de frituras #2	1,33
xx	Banda transportadora hacia sección de empaque	1,33
xxi	Banda transportadora	0,80
xxii	Ganzo de elevación de producto	0,70
xxiii	Pesadora de producto #1	3,60
xxiv	Pesadora de producto #2	3,60
xxv	Empacadora de producto #1	5,55
xxvi	Empacadora de producto #2	5,35
xxvii	Banda transportadora a máquina de sellado #1	1,63
xxviii	Banda transportadora a máquina de sellado #2	1,63
xxix	Selladora de empaques #1	0,18
xxx	Selladora de empaques #2	0,18

Tabla 7. Consumo eléctrico, sistema de bombeo de agua.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Número de equipo	descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Bomba de agua para lavado	1,33

Tabla 8. Demanda eléctrica, sistema de cuartos fríos
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Número de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Contenedor de refrigeración #1	12,00
ii	Contenedor de refrigeración #2	12,00
iii	Contenedor de refrigeración #3	12,00
iv	Contenedor de refrigeración #4	12,00
v	Contenedor de refrigeración #5	12,00
vi	Contenedor de refrigeración #6	12,00
vii	Contenedor de refrigeración #7	12,00
viii	Cuarto frío principal	8,32
ix	Cuarto de congelación	15,80
x	Cuarto frío #2	4,16
xi	Cuarto frío #3	16,64
xii	Cámara auxiliar #1	4,16
xiii	Cámara auxiliar #2	4,16

Tabla 9. Demanda eléctrica, sección de oficinas administrativas.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Numero de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	AC proceso de palitos, 36000 BTU/h	0,46
ii	AC proceso de palitos de piña, 36000 BTU/h	0,46
iii	AC sala de reuniones, 18000 BTU/h	0,06
iv	AC laboratorio de calidad	0,80
v	AC oficina de calidad, 18000 BTU/h	0,04
vi	AC Secretaría, 12000 BTU/h	0,06
vii	AC Oficina jefatura de producción, 12000 BTU/h	0,06
viii	AC Recepción, 12000 BTU/h	0,09
xi	Estimación de consumo por equipos de oficina	10,00

Tabla 10. Demanda eléctrica, sistema de aire comprimido.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Numero de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Compresor general de la planta	33,20

Tabla 11. Demanda eléctrica, proceso de tubérculos congelados
 Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Numero de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Banda alimentadora	0,74
ii	Troquel de palitos de piña	1,33
iii	Rebanadora de tiras	4,46
iv	Máquina de pulpa de piña	0,65
v	Congelador, bomba de extracción de nitrógeno	20,62
vi	Banda transportadora de producto congelado	1,33
vii	Ganzo de elevación de producto	1,33
viii	Pesadora de producto	0,70
ix	Selladora de empaques	12,34
x	Banda de salida de producto empacado	1,33

Tabla 12. Demanda eléctrica, proceso de palitos de piña.
 Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Numero de equipo	Descripción del equipo	Potencia nominal a plena carga (kW)
i	Troquel de palitos de piña #1	1,00
ii	Troquel de palitos de piña #1	1,00
iii	Banda transportadora de palitos	0,74
iv	Clasificadora de palitos de piña	0,74
v	Empacadora de palitos #1	2,50
vi	Empacadora de palitos #2	5,15
vii	Selladora de empaques #1	1,41
viii	Selladora de empaques #2	1,41
ix	Detector de metales	0,41
x	Sellador de cajas #1	0,24
xi	Sellador de cajas #2	0,24

Identificación de Energías Críticas

Auditoría Energética

Los resultados del estudio energético, basado en los datos históricos del año 2022, muestran que el consumo energético se divide de la siguiente manera, medida en kJ: gas LP (46%), nitrógeno (30%) y electricidad (24%). Es importante destacar que el gas LP es la fuente de mayor consumo energético debido a la naturaleza del combustible, el cual tiene un poder calorífico de 25680 kJ/L, y además, el proceso en el que se utiliza es el de mayor producción. Información detallada en Apéndice A, Tabla **A.3**.

Después del gas LP, el nitrógeno presenta un porcentaje menor, a pesar de tener un poder calorífico mayor, concretamente de 44793 kJ/L. Los resultados están sustentados en que el proceso de congelados, donde se utiliza este combustible, es de producción bajo encargo, lo que se evidencia en la Figura **13** donde se puede observar cómo hay meses en los que no se utiliza esta fuente de energía. La fórmula para el cálculo de la energía se encuentra en el Apéndice A, Ecuación 23.

El resultado eléctrico se posiciona como la fuente energética de menor porcentaje, sin embargo, el impacto de esta se justifica en que todos los procesos productivos y procesos complementarios de la planta requieren de esta fuente de energía para poder trabajar. La Figura **13** muestra en detalle los resultados obtenidos en el estudio.

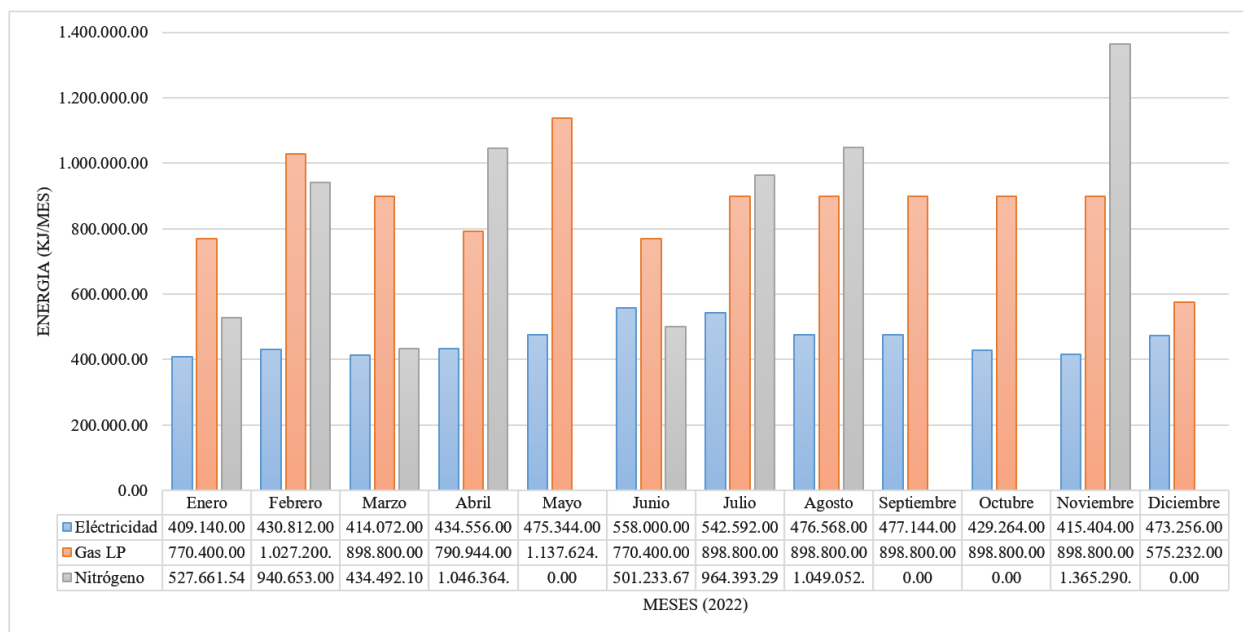


Figura 13. Gráfico de consumo de potencia para el año 2022.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Auditoría Financiera

El análisis de gasto económico basado en los datos históricos de facturación del año 2022 para los diferentes tipos de energía, indica que la electricidad es el tipo de energía con mayor costo representando el 46% del total, seguido del nitrógeno con el 42%, mientras que el gas LP ocupa el último lugar con un 12%. A pesar de que estos resultados contradicen los obtenidos en la auditoría energética, donde el gas LP es el tipo de energía con mayor consumo, es importante destacar que la facturación es un indicador financiero más representativo en términos de costo.

La auditoría financiera sugiere la eliminación del gas LP en el análisis posterior, ya que no presenta un impacto económico significativo que justifique oportunidades de mejora en el rendimiento financiero. Por otro lado, la electricidad es la energía más importante, ya que es la que sustenta todos los procesos de la planta, incluyendo el proceso de frituras tipo chips y los cuartos fríos, los dos procesos mencionados representan los sumideros de mayor consumo a plena carga en la empresa.

En segundo lugar se encuentra el nitrógeno, cuyo costo es muy similar al de la electricidad. Sin embargo, esta energía no es tan relevante como la eléctrica, ya que solo se utiliza en un proceso de producción de tubérculos congelados, que trabaja únicamente bajo encargo y no en producción constante. La Figura 14 detalla los resultados del análisis de gasto económico para el año 2022.

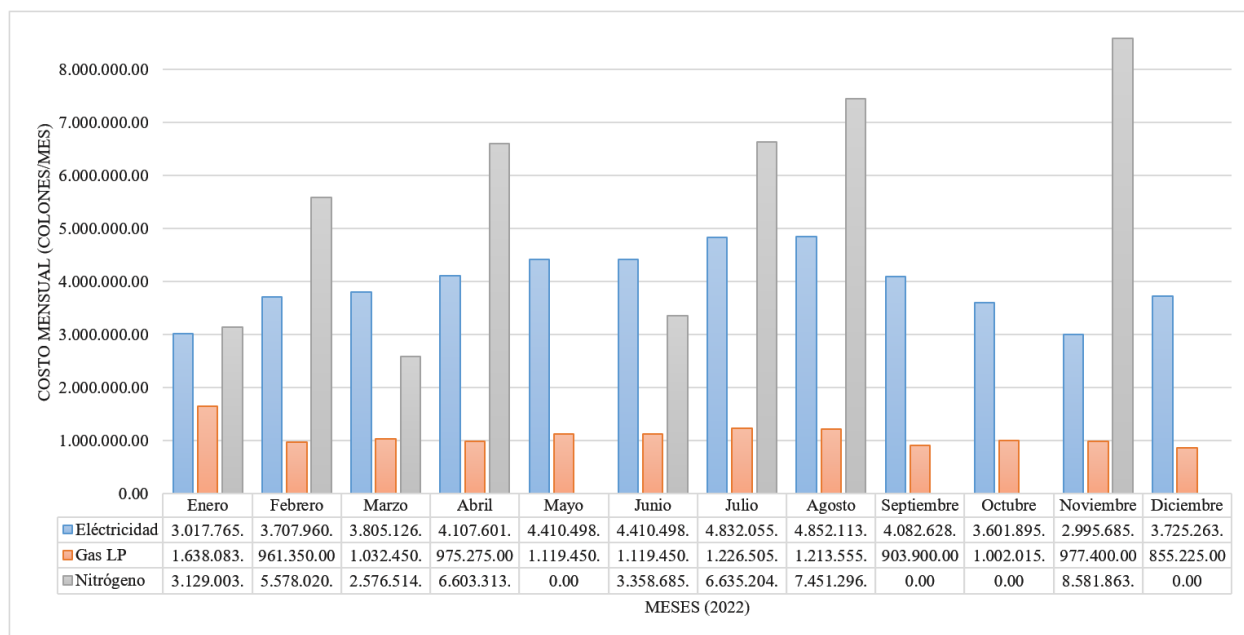


Figura 14. Gráfico de facturación por energías para el año 2022.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Consumo Total de Energía Eléctrica

Teniendo en cuenta que la electricidad es el tipo de energía más importante en términos financieros y de sostenibilidad del proceso, se realiza un balance energético excluyendo cualquier tipo de energía externa a la red eléctrica.

La distribución eléctrica de la planta se divide en ocho centros de carga alimentados por dos transformadores secos de 75 kVA y uno de 45 kVA para obtener distribución de voltaje tanto en 240 V como en 480 V. Toda la red está alimentada por un banco de transformadores trifásicos tipo poste de 300 kVA. Se puede consultar el diagrama unifilar de la planta en el Apéndice B, Figura **B.1**.

En la Tabla **13** se presentan los resultados del balance energético exclusivamente para la energía eléctrica, enfocado en todos los procesos de la planta, la tarifa eléctrica es un dato a tener en cuenta, se considera en puntos posteriores de la investigación.

Tabla 13. Balance energético de procesos productivos.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Centro de consumo	Demanda instalada (kW)	Tipos de energía	Horas por mes (h/mes)	Consumo directo (kW-h/mes)	Costo eléctrico (col/mes)
Proceso de chips	84,18	Eléctricidad / GLP	175	14.731,50	733.921,66
Proceso de congelados	44,83	Eléctricidad / NOS	4,38	196,12	9.770,80
Proceso de palitos	14,84	Eléctricidad	8,75	129,85	6.469,11
Cuartos fríos	137,24	Eléctricidad	672,00	54.378,24	2.709.117,74
Oficinas	12,04	Eléctricidad	190,00	2.288,33	114.004,32
Aire comprimido	33,22	Eléctricidad	175,00	5.813,50	289.627,91
Calentamiento de aceite	11,11	Eléctricidad	175,00	1.944,25	96.862,31
Agua de lavado	1,33	Eléctricidad	40,00	53,20	2.650,42
Potencia total consumida:		338,79	Energía total consumida:		79.534,99

Análisis Energético, Identificación de Sumideros Críticos

Realizando un análisis mediante principio de pareto para la demanda (ver Figura **15**), se llega a la conclusión de que el proceso productivo de frituras en forma de chips es el de mayor carga instalada, convirtiéndose en un punto clave de estudio para generar indicadores energéticos. El proceso productivo de frituras posee el 40,9% de la demanda eléctrica, seguido de los cuartos

fríos con un 18%. Ambos puntos de la planta suman en conjunto un 86,9% de la demanda eléctrica de la empresa, un valor significativamente alto que debe tomarse en consideración. Para mayor detalle ver Apéndice A, Tabla [A.1](#).

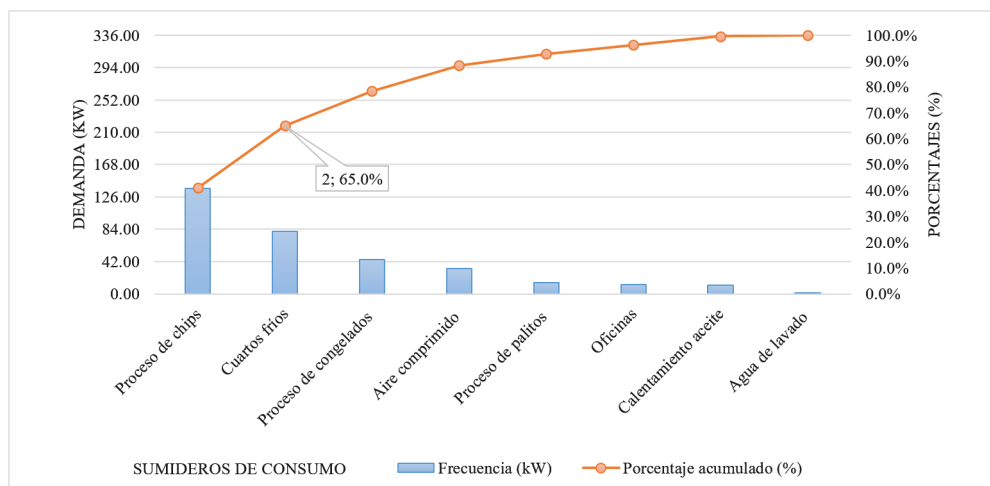


Figura 15. Principio de Pareto, demanda eléctrica 2022.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Por otra parte, analizando los resultados de la figura [16](#), el mayor consumo eléctrico se encuentra dentro de los cuartos fríos con un 68,4%. La naturaleza de operación de estos inducen a un consumo eléctrico desmedido y desproporcionado con respecto a los demás puntos de consumo de toda la empresa. Mas adelante se detalla a profundidad el origen de dicho uso desmedido. En segunda posición se aprecia 18,5% por parte del proceso productivo de frituras, un porcentaje mucho menor considerando que el proceso con mayor potencia instalada de la empresa. Para mayor detalle ver Apéndice A, Tabla [A.2](#).

Análisis de Aprovechamiento del Espacio en Cuartos Fríos

A partir del análisis eléctrico realizado en los cuartos fríos, contenedores de refrigeración y cámaras auxiliares, se ha observado que la demanda de energía de estos equipos no justifica el elevado porcentaje de consumo que se refleja en la factura de electricidad.

La gerencia de producción ha indicado que varios cuartos fríos, incluyendo el cuarto frío principal, el cuarto de congelación, los cuartos fríos #2 y #3 y los cuartos auxiliares, deben funcionar de manera continua durante todo el año. La razón principal de esta decisión es que estos cuartos están contruidos sobre una superficie de concreto que no es apta para cambios abruptos de temperatura, ya que puede agrietarse ante variaciones bruscas. En vista de esta circunstancia, se ha tomado la decisión de no desconectar los equipos en ningún momento, incluso cuando no haya productos terminados almacenados en estos cuartos.

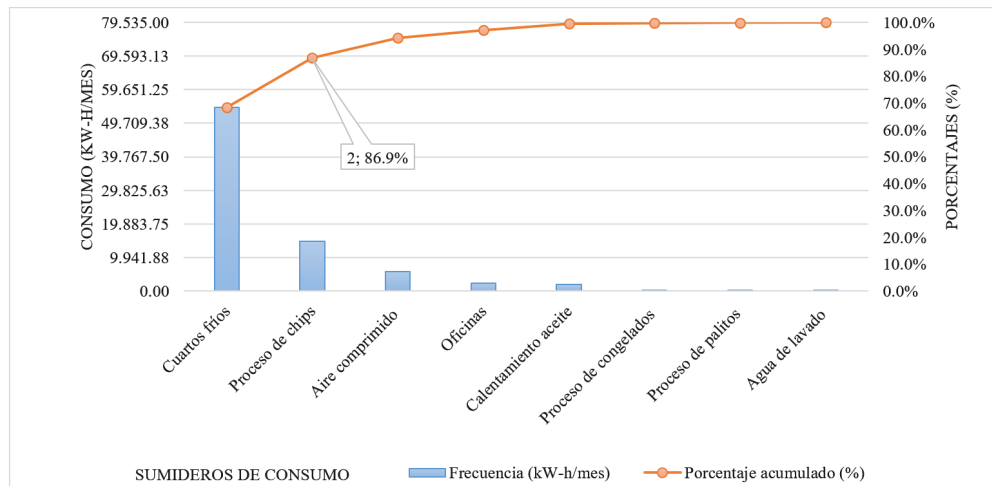


Figura 16. Principio de Pareto, consumo eléctrico 2022.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 14, se observa que el porcentaje medio de utilización del espacio es del 42% del espacio bruto, que a su vez se puede considerar como espacio permitido debido a la naturaleza del producto y su facilidad de ser apilado para su almacenamiento en cajas. Además, se ha identificado que el consumo de energía está altamente relacionado con el volumen del cuarto frío. Este descubrimiento puede servir como un punto de partida para establecer puntos de referencia en cuanto a la eficiencia energética (Evans, Foster, Huet, et al., 2013).

Oportunidades de Mejora Según el Balance Energético

Después de obtener la proyección del consumo de energía para los distintos equipos y procesos, se identifican las principales oportunidades de mejora, así como las medidas necesarias para controlar y medir el consumo de energía.

Cuartos Fríos

Se ha determinado que el estudio de aprovechamiento del espacio arroja resultados desfavorables para la competitividad de la empresa, tal como se detalla en el Objetivo III, donde se identificaron altos costos operativos asociados al equipo. Por lo tanto, se sugiere que se reemplace el material del suelo para permitir la programación de horarios de trabajo y mejorar la eficiencia energética.

Mantenimiento

Se debe identificar y reemplaza equipos obsoletos: Si se tienen equipos obsoletos, es recomendable reemplazarlos por equipos más eficientes y modernos. Los equipos antiguos pueden

Tabla 14. Aprovechamiento del espacio en cuartos fríos.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Descripción del equipo	Potencia nominal (kW)	Volumen de recinto (m ³)	Volumen de producto (m ³)	Aprovechamiento de espacio (%)
Cuarto frío principal	8,32	763,68	76,37	10%
Cuarto frío #2	4,16	177,41	88,71	50%
Cuarto frío #3	16,64	128,25	64,13	50%
Contenedor #1	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #2	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #3	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #4	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #5	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #6	12,00	60,00	30,00	50%
Contenedor #7	12,00	60,00	30,00	50%
Cuarto de congelación	15,80	129,50	90,65	70
Cámara auxiliar #1	4,16	30,00	3,00	10
Cámara auxiliar #2	4,16	30,00	3,00	10
Potencia instalada (kW)	137,24	Prom. aprovechamiento (%)		42%

ser menos eficientes, y consumir más energía que los nuevos. Además, debería de asegurarse de que los equipos eléctricos tengan la potencia adecuada, implica verificar que los equipos eléctricos estén diseñados para manejar la carga eléctrica necesaria. Si no es así, podría haber un sobrecalentamiento y un mayor consumo de energía.

Sistema de Monitoreo

Se debe instalar sistemas de monitoreo para identificar posibles problemas en los equipos antes de que se conviertan en un problema mayor. Los sistemas de monitoreo pueden incluir cámaras de infrarrojos para detectar problemas de sobrecalentamiento, y sistemas de monitoreo de vibración para detectar problemas mecánicos. Además, el principal monitoreo a implementar es la observación de la potencia eléctrica en tiempo real.

OBJETIVO II. INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Resumen

En el presente capítulo se lleva a cabo el desarrollo de los IDE y las LBE utilizando como fuente de información los datos de producción del año 2022. La elaboración de las LBE y los indicadores energéticos se efectúan en consonancia con las directrices proporcionadas por la Norma ISO 50006:2014, la cual establece los criterios esenciales para la creación de dichos parámetros. Todos los datos implementados en este capítulo fueron suministrados por el departamento de producción de Advance Packing S.A. Datos resumidos en Apéndice A, Tablas [A.3](#) y [A.4](#).

Establecimiento de Indicadores de Desempeño Energético

Advance Packing S.A. mantiene un registro detallado de producción para todo el año 2022, que incluye información diaria sobre la producción en oz de los productos terminados en los días que la planta estuvo en operación. Aunque existen tres líneas de producción diferentes, a saber, chips, congelados y palitos de piña, estos últimos se incluyen en el proceso de congelados en el registro de producción de la empresa. Por lo tanto, este estudio abarca ambos procesos en su análisis, tanto para el producto terminado total como para productos específicos. Todos los datos utilizados en cálculos fueron suministrados por el departamento de producción de la empresa.

IDE 's

IDE: kWh / kg de producto terminado.

Basándose en los datos obtenidos de la demanda eléctrica en el desarrollo del "Objetivo I" 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) a desarrollar es *kWh/kg de producto terminado*. La unidad de medida elegida es el *kg*, ya que es una unidad perteneciente al Sistema Internacional de Unidades (SI).

En la Tabla [15](#) se muestran los datos utilizados para analizar el indicador energético, mientras que en la Figura [17](#) se presenta un gráfico de barras que permite visualizar la variación del IDE a lo largo del año. Este indicador se calculó considerando la demanda energética en relación con la producción total mensual del año 2022. La siguiente ecuación define el cálculo realizado para la obtención del IDE, donde: *IDE*= Indicador de desempeño energético (*kWh/kg*), *D*=Demanda eléctrica mensual (*kWh*), *P_x*=Producción del producto X (*kg*)

$$IDE = \frac{D}{P_1 + P_2} \quad (4)$$

Tabla 15. Indicador de desempeño energético, *kWh/kg de producto terminado*.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Mes	Demanda (MWh)	Producción total chips (kg)	Producción total congelados (kg)	IDE (kWh/kg de producto terminado)
Enero	409,14	6404,74	2102,40	48,09
Febrero	430,81	9222,21	7688,38	25,48
Marzo	414,07	24541,78	8052,39	12,70
Abril	434,56	849,12	19408,07	21,45
Mayo	475,34	16230,25	62750,65	6,02
Junio	558,00	17221,66	0,00	32,40
Julio	542,59	12757,53	8099,59	26,01
Agosto	476,57	4041,70	3606,06	62,31
Septiembre	477,14	11870,41	0,00	40,20
Octubre	429,26	11799,78	0,00	36,38
Noviembre	415,40	12596,61	3816,98	25,31
Diciembre	473,26	9509,15	12769,52	21,24

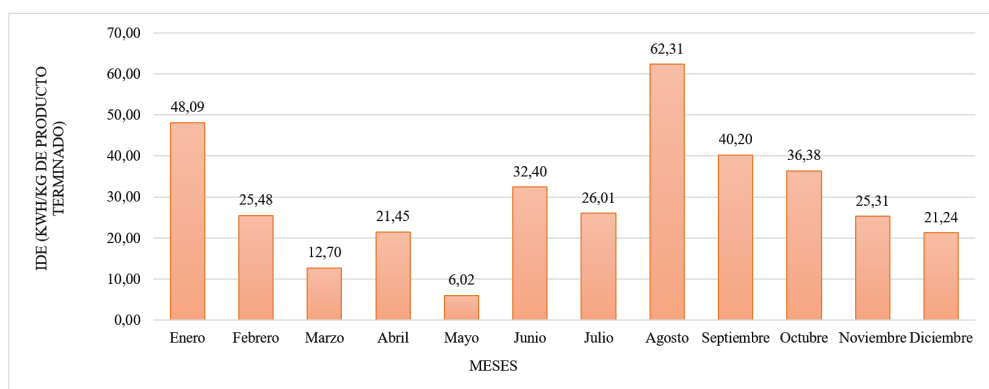


Figura 17. Indicador de desempeño energético, *kWh/kg de producto terminado*.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

IDE: ¢ /kWh mensual.

La variación en los costos tarifarios para la demanda eléctrica mensual en colones (¢) puede ser relacionada con el consumo eléctrico mensual de la planta (kWh), proporcionando datos útiles para realizar un análisis financiero relacionado con la eficiencia. En la Tabla 16 y en la Figura 18 se pueden ver los datos utilizados para el estudio.

La ecuación que define este indicador energético es la siguiente, en la que: *IDE*= Indicador de desempeño energético (¢/kWh), *D*=Demanda eléctrica mensual (kWh), *C*=Costo eléctrico mensual(¢).

$$IDE = \frac{C}{D} \quad (5)$$

Tabla 16. Indicador de desempeño energético, $\text{C}/\text{kWh mensual}$.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Mes	Demanda (kWh)	Costo mensual (C)	IDE (C/kWh mensual)
Enero	409140	3 017 765	7,38
Febrero	430812	3 707 960	8,61
Marzo	414072	3 805 127	9,19
Abril	434556	4 107 601	9,45
Mayo	475344	4 410 499	9,28
Junio	558000	4 410 499	7,90
Julio	542592	4 832 055	8,91
Agosto	476568	4 852 113	10,18
Septiembre	477144	4 082 628	8,56
Octubre	429264	3 601 895	8,39
Noviembre	415404	2 995 685	7,21
Diciembre	473256	3 725 264	7,87

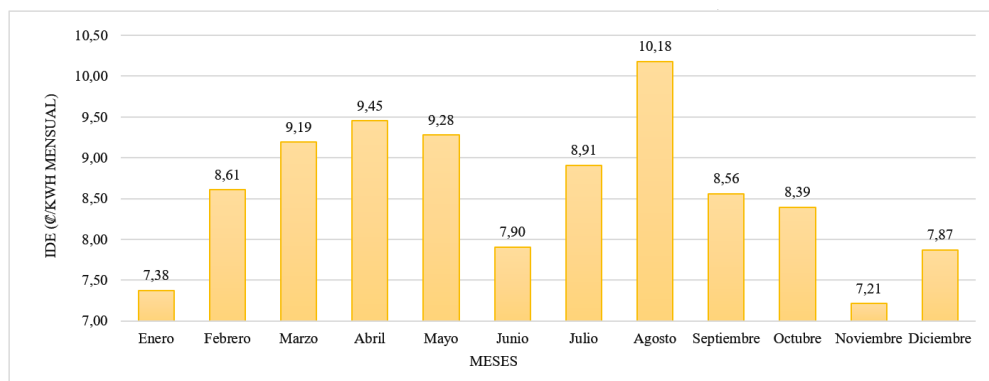


Figura 18. Indicador de desempeño energético, $\text{C}/\text{kWh mensual}$.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

IDE: kWh/m^3 de espacio desaprovechado.

Con respecto al estudio realizado sobre el aprovechamiento del espacio desarrollado en el "Objetivo I" se puede generar un indicador energético que muestra cual es la demanda eléctrica con respecto a la cantidad de espacio que realmente se utiliza para almacenar producto terminado a lo largo del año. El IDE es kWh/m^3 de espacio desaprovechado. En este caso en concreto, al utilizar un valor de volumen del recinto comparado con el volumen ocupado por producto terminado, se da un primer vistazo a la eficiencia que poseen los cuartos fríos.

En la Tabla 17 se aprecian los datos utilizados para la obtención del IDE y la Figura 19 muestra el gráfico de barras para su visualización de comportamiento. Este indicador se calcula

Tabla 17. Indicador de desempeño energético, kWh/m^3 de espacio desaprovechado.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Mes	Demanda en cuartos fríos (kWh)	Palitos (Cajas)	Congelados (Cajas)	Espacio desaprovechado (m^3)	IDE (kWh/m^3 de espacio desaprovechado)
Enero	265,12	0,00	307,37	1662,24	159,50
Febrero	279,17	204,12	1094,19	1608,73	173,53
Marzo	268,32	789,45	1061,83	1578,87	169,94
Abril	281,59	947,54	2698,91	1481,93	190,02
Mayo	308,02	5773,29	8330,02	917,26	335,81
Junio	361,58	0,00	0,00	1678,84	-
Julio	351,60	0,00	1184,15	1614,90	217,72
Agosto	308,82	142,08	506,43	1643,82	187,86
Septiembre	309,19	0,00	0,00	1678,84	-
Octubre	278,16	0,00	0,00	1678,84	-
Diciembre	306,67	382,22	1811,01	1560,41	196,53
Volumen de una caja (m^3):			0,054	Dimensiones 30x60x20cm	
Volumen total de cuartos fríos (m^3):			1678,84	Todos los cuartos	
Presentación de palitos (kg/caja):			10,2	18 paquetes de 0,85kg por caja	
Presentación de congelados (kg/caja):			6,84	18 paquetes 0,57kg por caja	

tomando en consideración el cálculo del volumen ocupado por cada caja de producto terminado que se almacena en los cuartos fríos, el producto tipo chip se descarta debido a que este no se refrigera. Concretamente se consideran las cajas de malanga lila, palitos de camote. palitos de camote amarillo, palitos de malanga, palitos de platano, palitos de yuca, piña en palitos, pulpa de piña, toston de fruta de pan, tostón de yuca y trozos de fruta de pan.

Las cajas que se utilizan para todos los productos poseen un tamaño estándar en la empresa, ver Tabla [17](#) y se considera el total de kg por caja a según la cantidad de bolsas de producto terminado que lleve. La ecuación que define el IDE es la siguiente, donde: IDE = Indicador de desempeño energético (kWh/m^3), D =Demanda eléctrica mensual(kWh), E =Espacio desaprovechado (m^3) y la constante 0,648 corresponde al 64,8% del porcentaje al cual pertenece la demanda promedio de los cuartos fríos en un año (Ver, Figura [16](#) y Tabla [A.1](#)).

$$IDE = \frac{(D)(0,648)}{E} \quad (6)$$

$$E = V_t - (C_c + C_p)(V_c) \quad (7)$$

Por su parte, el espacio desaprovechado (m^3) se define por la ecuación anterior, donde: E = Espacio desaprovechado (m^3), V_T = Volumen total de cuartos fríos (m^3), C_c = Cajas de congelados,

C_p = Cajas de palitos, V_c = Volumen de la caja (V_c). Para el cálculo de la cantidad de cajas de palitos y congelados se toma en consideración la presentación del producto, el peso de distribución comercial y la cantidad de empaques por caja (Ver Tabla 17).

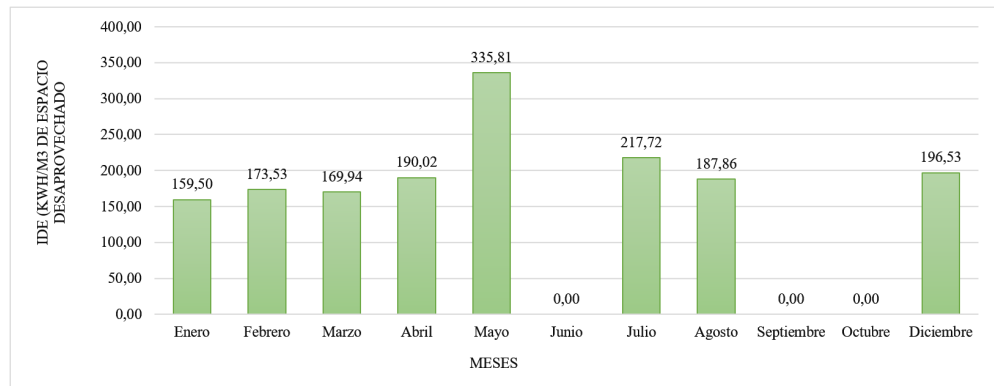


Figura 19. Indicador de desempeño energético, kWh/m^3 de espacio desaprovechado.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Otros IDE Obtenidos

Para mantener la fluidez del proyecto se desarrollan solamente los IDEs mencionados con anterioridad. Con el fin de obtener mas información relevante en el estudio, se pueden analizar seis IDEs además de los antes mencionados cuyas LBEs pueden encontrarse en el Apéndice D evaluando la demanda, se enumeran a continuación:

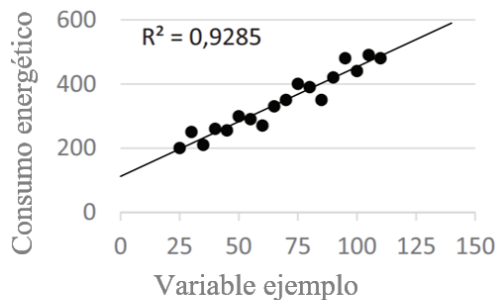
- Facturación eléctrica mensual en colones / Producto terminado (C/kg)
- Facturación eléctrica mensual en colones / chips producidos (C/kg)
- Facturación eléctrica mensual en colones / congelados producidos (C/kg)
- Facturación eléctrica mensual en colones / espacio aprovechado (C/m^3)
- Demanda eléctrica mensual / chips producidos (kWh/kg)
- Demanda eléctrica mensual / congelados producidos (kWh/kg)

LBE's

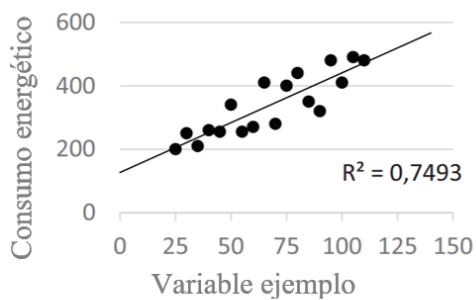
Enseguida se describen las LBE (Líneas Base Energéticas) para los IDE planteados con anterioridad. Un modelo lineal ($y = mx + b$) se selecciona en función de los indicadores energéticos, donde y representa la línea base. El coeficiente de determinación R^2 indica la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión y mide la adecuación del modelo a la variable

que se desea explicar. Si R^2 es igual a 1, el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media, mientras que si es igual a 0, el modelo no es significativo a como se aprecia en la Figura 20, (Cantillo, González-Pérez, & Quintana, 2006), (ISO, 2014b)..

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 modelo lineal y el criterio para validar los datos es la alineación con la línea base, no el valor de R^2 (ISO, 2014b).



a) Variable significativa



b) Variable menos significativa

Figura 20. Variables con diferentes niveles de significancia.

Fuente: ISO 50006:2014.

LBE: kWh/kg de producto terminado.

En relación a este caso, se puede observar en la Figura 21 que el coeficiente de determinación (R^2) es significativamente bajo. Según la Norma ISO 50006:2014, esto indica que la variable es menos significativa. Esta baja significancia se debe a la naturaleza irregular del proceso, el cual se basa en órdenes bajo pedido para la producción de toda la familia de congelados, lo que hace difícil establecer un comportamiento energético estable (ISO, 2014b), sin embargo, tras un ajuste de datos se logra mejorar el indicador energético.

Un R^2 bajo puede indicar una alta varianza en los datos, lo que puede afectar negativamente el poder predictivo del modelo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la varianza por sí sola no proporciona una medida precisa del poder predictivo de una propuesta de LBE. Por lo tanto, es esencial considerar otros factores que pueden afectar el poder predictivo, como la selección de variables relevantes y la corrección por múltiples pruebas en su análisis (Yoav & Yosef, 2010).

De acuerdo con un estudio relevante sobre el tema, se sugiere que la presencia de variables irrelevantes en el análisis de grandes conjuntos de datos puede aumentar la tasa de falsos positivos y disminuir el poder predictivo del modelo. Por lo tanto, además de considerar la varianza, resulta fundamental centrarse en la selección de variables relevantes y en la corrección por múltiples pruebas para mejorar la precisión predictiva del modelo. Al prestar atención a estos factores, se puede mejorar la comprensión de la relación entre las variables y, en consecuencia, realizar predicciones más precisas (Guo, Ridout, & Song, 2018).

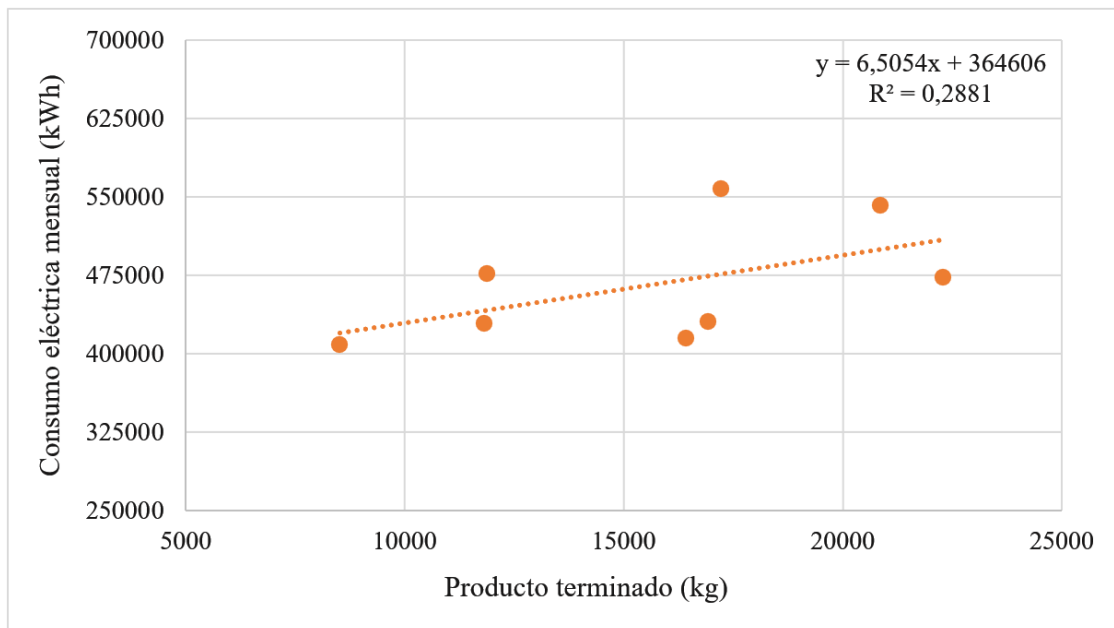


Figura 21. Línea base energética, kWh/kg de producto terminado.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

LBE: ¢ / kWh mensual.

La figura presentada inmediatamente después (Figura 22) ilustra la LBE para el segundo caso de estudio. En particular, se observa que el coeficiente de determinación (R^2) obtenido en este caso es altamente significativo, alcanzando un valor de 0,7633. La línea de tendencia en la gráfica se debe a que la demanda eléctrica está fuertemente influenciada en un 64,8% por los cuartos fríos (véase Apéndice A, Figura A.1). Debido a que el tiempo de operación de estos cuartos fríos es prácticamente constante, ejercen una influencia significativa en dicha tendencia.

Este R^2 indica que hay una correlación moderadamente fuerte entre la línea base energética del consumo y la facturación eléctrica. Sin embargo, esto también sugiere que existe una cantidad significativa de variabilidad en los datos que no se explica por la línea base energética del consumo. Es posible que otros factores importantes, como la variabilidad en los patrones de consumo de la energía, los cambios en las condiciones climáticas, los cambios en el comportamiento de los tiempos de operación y la instalación eléctrica, también estén afectando la facturación eléctrica (Zhang, Zhou, Wang, et al., 2021). Por lo tanto, es importante tener en cuenta estos factores y realizar un análisis más detallado para determinar si la línea base energética del consumo es suficiente para predecir la facturación eléctrica con precisión.

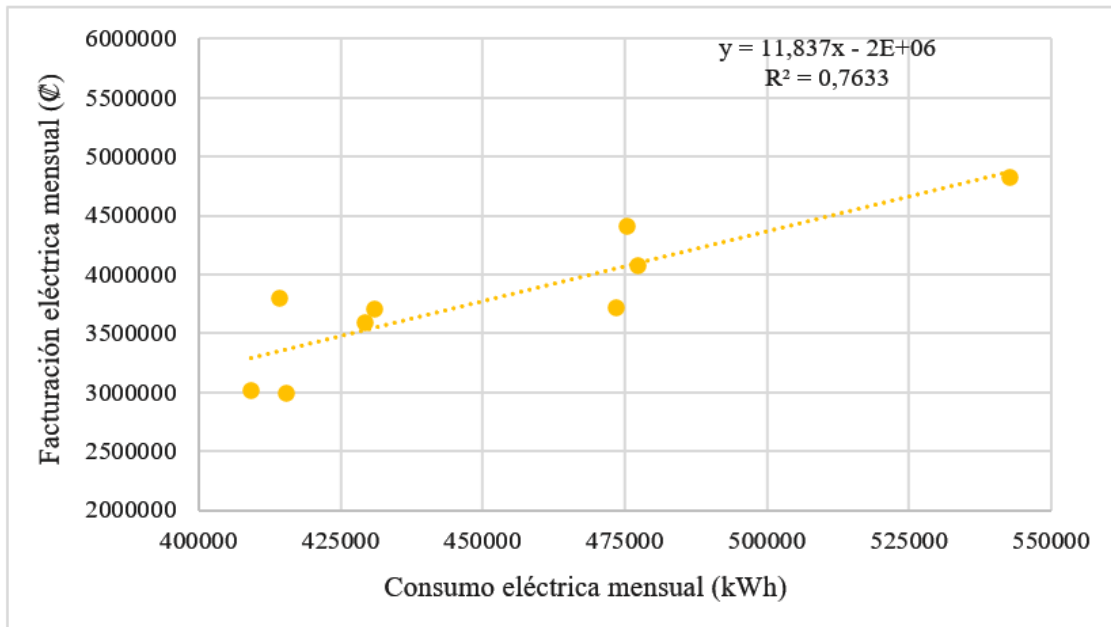


Figura 22. Línea base energética, ¢ / kWh mensual.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

LBE: kWh/m³ de espacio desaprovechado.

En este caso específico, ver Figura 23, es importante señalar que, aunque el coeficiente de determinación (R^2) obtenido es de aproximadamente un 30%, lo que indica que la variable no es significativa según la normativa, los datos del IDE en cuestión pueden ser analizados detenidamente para determinar cómo mejorar la eficiencia de los equipos de refrigeración.

Se observa que el consumo de energía eléctrica de la planta para mantener refrigerado el espacio vacío en relación con el espacio real utilizado para almacenar los productos terminados dentro de los cuartos fríos es un factor clave que debe considerarse al replantear la organización del espacio y los tiempos de operación de los equipos de refrigeración. Este análisis podría ayudar a mejorar la eficiencia energética de la planta y reducir su consumo de energía.

Cuando se detectan errores en los datos, como mediciones inexactas o datos faltantes (el presente caso en análisis), la corrección de datos puede ayudar a mejorar la calidad y la integridad de los datos. Además, si la línea base energética se utiliza para fines de pronóstico o para informar decisiones importantes como la idea de inversión en la infraestructura de los cuartos fríos, la precisión de los datos es crucial para garantizar que los resultados sean precisos y confiables. Por lo tanto, la corrección de datos en una línea base energética puede ayudar a mejorar la precisión de los datos y garantizar que se tomen decisiones informadas y precisas basadas en ellos (Guo, Ridout, & Song, 2018).

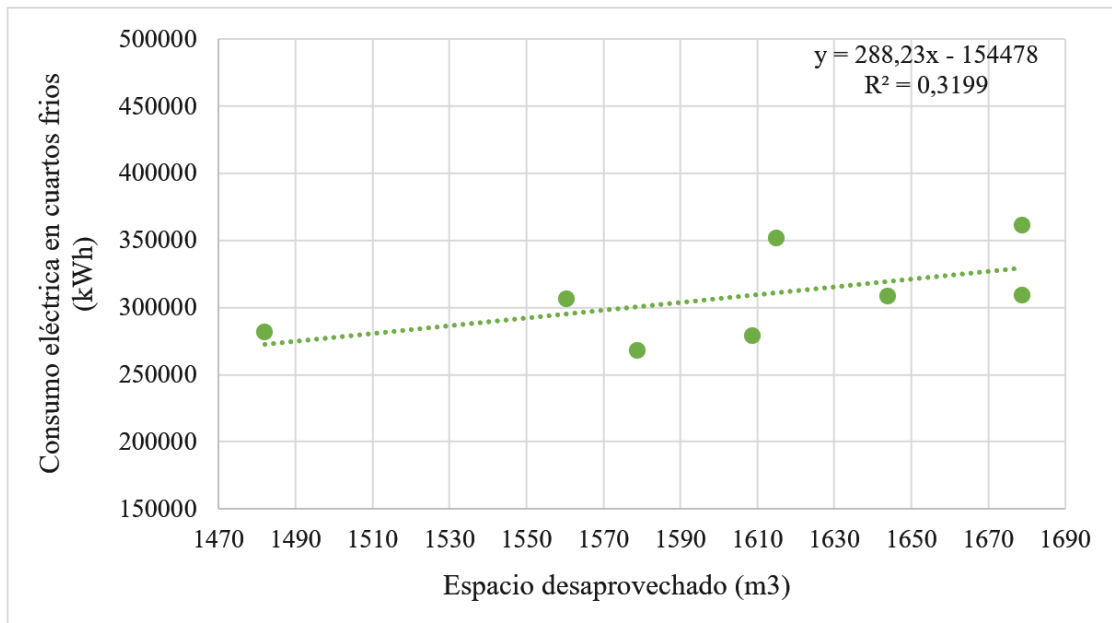


Figura 23. Línea base energética, kWh/m³ de espacio desaprovechado.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

OBJETIVO III. PROTOTIPO DE MEDICIÓN EN TIEMPO REAL

Resumen

En este capítulo se describe el plan piloto de monitoreo en tiempo real mediante la programación de la interfaz Arduino, utilizando el sensor SCT-013 y las bibliotecas LiquidCrystal.h y EmonLib.h. También se lleva a cabo un análisis experimental en un sumidero crítico dentro de la planta con el fin de demostrar el potencial de un sistema de monitoreo en tiempo real de esta naturaleza.

Con el fin de establecer una base sólida para la comparación y determinar la efectividad del dispositivo diseñado, se han comparado los datos obtenidos a través del prototipo de medición con los datos reales medidos simultáneamente por un equipo de presión FLUKE 325. Las especificaciones técnicas del FLUKE 325 se pueden encontrar en el Apéndice C, junto con las Figuras C.1 y C.2.

Por otra parte, ya que se realiza medición exclusivamente en una fase del sistema trifásico, se asumen cargas balanceadas tanto para cálculos como para el diseño del prototipo. En las mejoras implementables se menciona la solución en sistemas desbalanceados.

Diseño y Construcción del Prototipo

El diseño se realiza utilizando de base una protoboard donde se conectan todos los componentes electrónicos y se comunican con el Arduino UNO. La lista de materiales se detalla en la Tabla 18. Para el código de programación desarrollado, ver Apéndice C, Figura C.3.

En la Figura 24 se presenta el diseño definitivo del prototipo mediante un modelo esquemático, mientras que en la Figura 25 se exhibe el montaje resultante. El sensor SCT-013 es responsable de medir la corriente I_{RMS} y transmitirla a la placa Arduino para su procesamiento. A continuación, el procesador envía la información a la pantalla LCD para su visualización en tiempo real. Además, la medición puede ser observada en el monitor serial de Arduino IDE, donde no sólo se puede visualizar, sino que también se puede exportar para un análisis posterior y generar un registro histórico de consumo.

Tabla 18. Lista de componentes del prototipo.
Fuente: Elaboración propia. \LaTeX .

Componente Electrónico	Cantidad	Función
Arduino UNO	1	Procesamiento de datos y código en tiempo real
Sensor de corriente SCT-013-000-100A	1	Medición de corriente alterna del equipo de forma no invasiva
Pantalla LCD 16X2	1	Muestra en tiempo real el consumo de potencia y corriente
Resistencia $10k\Omega$	2	Offset en DC
Resistencia 220Ω	1	Resistencia de carga
Resistencia 100Ω	1	Resistencia de carga
Resistencia 20Ω	1	Resistencia de carga
Protoboard	1	Medio de conexión
Potenciómetro $10k\Omega$	1	Calibración de pantalla LCD
Capacitor $10\mu\text{F}$ 50V	1	Offset en DC
Jumpers	24	Comunicar los componentes

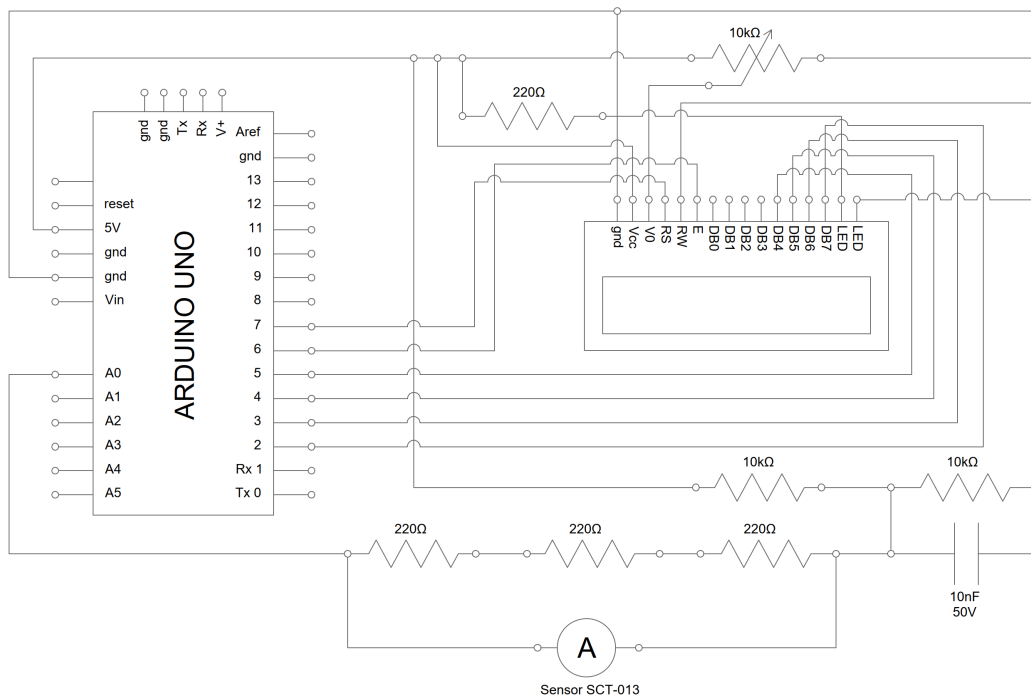


Figura 24. Diagrama esquemático electrónico.
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

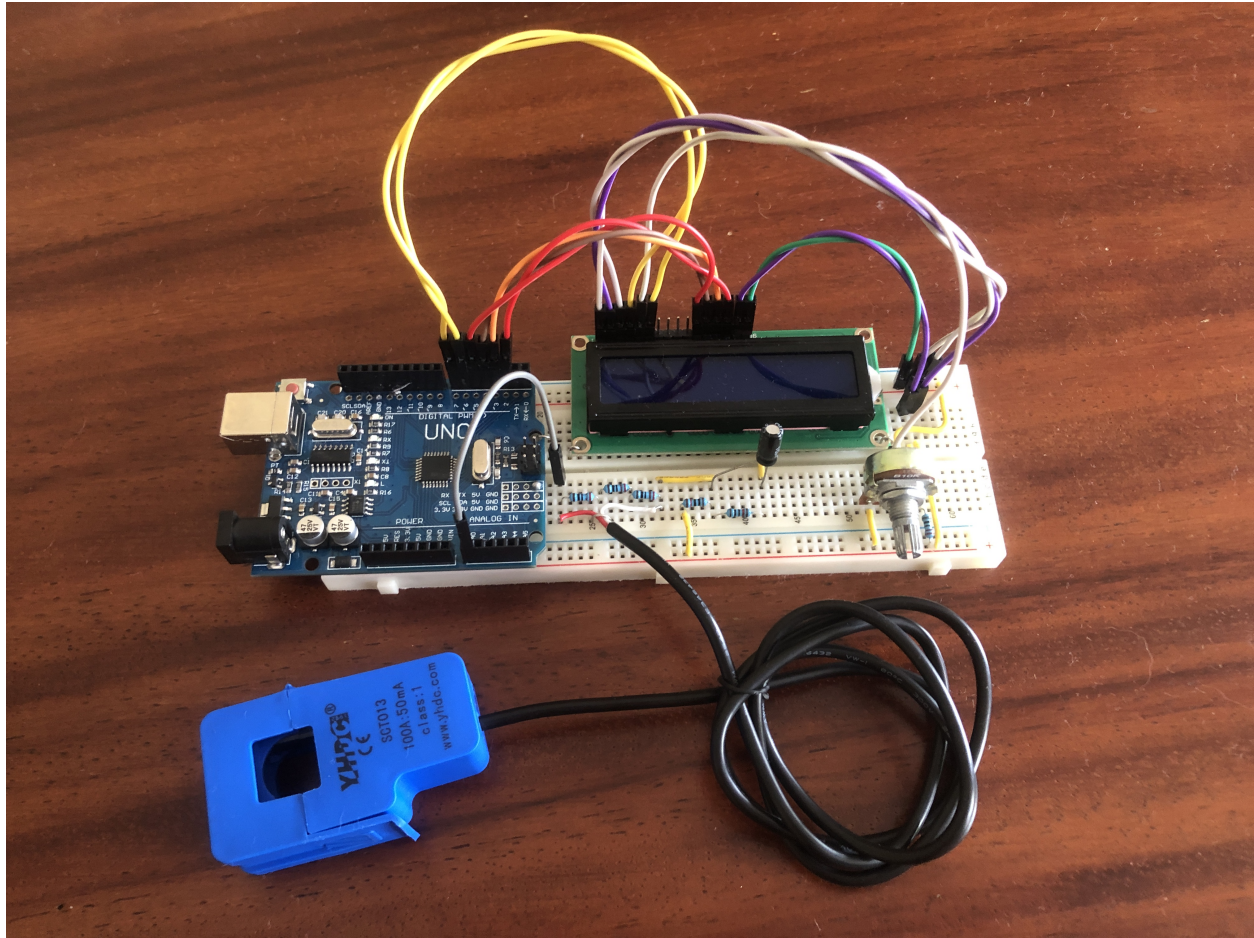


Figura 25. Montaje final del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

Calibración Teórica Según El Equipo

El objetivo de la sección actual es adquirir la carga del equipo para poder leer con precisión la corriente que fluye a través del sensor SCT-013. Para alcanzar la mayor resolución posible, es necesario tener conocimiento de la potencia aproximada del dispositivo que se va a medir. En el caso específico que se está analizando, se ha seleccionado la llenadora de frituras tipo chip, cuyas especificaciones medidas en plena carga se detallan a continuación. Cabe destacar que la segunda validación del prototipo es en los equipos del cuarto frío principal y el proceso de calibración se realiza de igual manera para dicha prueba.

- **Potencia:** 3,60kW. Fuente: Departamento Electromecánico.
- **Voltaje:** 240V. Fuente: Voltaje nominal de operación.
- **FP:** 0.95. Fuente: Estudio de factor de potencia, ver Figura [B.3](#).

Se procede con el cálculo de la corriente RMS del equipo, donde: P = Potencia (kW), V_L = Voltaje de línea (V), I_{RMS} = Corriente máxima eficaz (A), FP = Factor de potencia.

$$P_{Trifásica} = \sqrt{3}(V_L)(I_{RMS})(FP) \quad (8)$$

$$I_{RMS} = \frac{3600}{\sqrt{3}(240)(0.95)} \quad (9)$$

$$I_{RMS} = 9,12A \quad (10)$$

Posterior a la obtención de la corriente máxima eficaz, se procede a obtener la corriente pico, donde: I_{RMS} = Corriente máxima eficaz (A), I_{pico} = Corriente pico (A)

$$I_{RMS} = \frac{I_{PICO}}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

$$I_{PICO} = (\sqrt{2})(9,12) \quad (12)$$

$$I_{PICO} = 12,89A \quad (13)$$

Un elemento de gran relevancia en los transformadores de corriente es el número de espiras que se enrollan en el núcleo ferromagnético. Específicamente, mediante el conocimiento del mencionado número de espiras, así como de la corriente que circula por uno de los devanados, es posible calcular la corriente correspondiente al otro devanado. A esto se le conoce como relación de transformación y se calcula en con la siguiente ecuación, donde: N_p = Número de vueltas en el primario, N_s = Número de vueltas en el secundario, I_s = Corriente en el secundario (A), I_p = Corriente en el primario (A).

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (14)$$

$$I_s = \frac{(1)(12,89)}{2000} \quad (15)$$

$$I_s = 0,006446A \quad (16)$$

Posteriormente, se requiere maximizar la resolución de la entrada analógica utilizando el valor máximo de la referencia conocida como $AREF$, la cual indica el voltaje máximo que puede ser leído por la entrada analógica. En el caso particular de esta situación, la placa Arduino UNO utiliza un voltaje de referencia de 5V. El propósito es ajustar la resistencia en cumplimiento con la Ley de Ohm, de tal forma que el voltaje oscile entre 2,5V y -2,5V, dado que la corriente es fija. En consecuencia, se debe dividir la referencia $AREF$ entre dos, donde: I_s = Corriente en el secundario (A), R_c = Resistencia de carga (Ω), $AREF$ = Resolución máxima (V).

$$R_c = \frac{AREF/2}{I_s} \quad (17)$$

$$R_c = \frac{5/2}{0,006446} \quad (18)$$

$$R_c = 387,83\Omega \quad (19)$$

El valor de resistencia de carga obtenido debe ser ajustado mediante la utilización de resistencias en serie, de manera que se alcance un valor cercano al cálculo teórico. Es importante destacar que este valor no necesariamente debe ser idéntico al obtenido teóricamente, siempre y cuando se mantenga por debajo del valor teórico determinado.

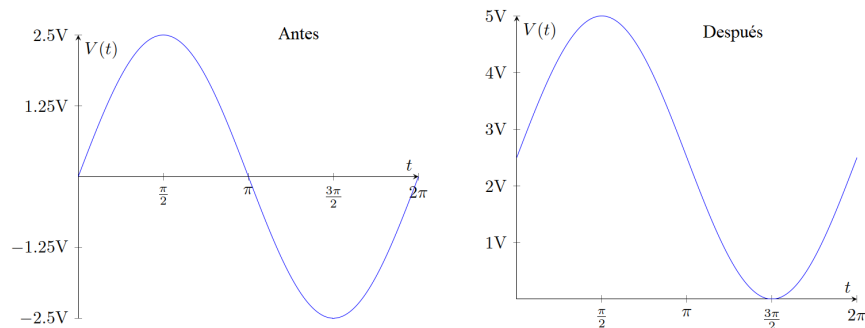


Figura 26. Offset DC, antes y después de la modificación de amplitud.

Fuente: Elaboración propia. \LaTeX .

El problema por resolver consiste en que la placa de Arduino no es capaz de leer voltajes negativos, por lo que es necesario realizar una modificación en la señal de entrada para que se

encuentre dentro del rango de 0V a 5V. Para llevar a cabo esta tarea, se procede a añadir un offset en DC a la señal. Para lograr esto, se emplea un divisor de tensión conformado por dos resistencias de $10k\Omega$ y un capacitor de $10\mu F$, con el objetivo de asegurar que la reactancia sea suficientemente baja para que la corriente alterna pueda evitar la resistencia. El comportamiento de la onda se ilustra en la Figura 26, donde a la izquierda se observa el comportamiento de la onda antes y la derecha después de aplicado el offset DC.

Pruebas del Sistema de Monitoreo

Con el propósito de verificar la eficacia, operatividad y exactitud del modelo de monitoreo en tiempo real diseñado, es esencial llevar a cabo pruebas de campo. Se procede a instalar el equipo en el disyuntor correspondiente a un equipo que forma parte de la línea de producción más crítica dentro de la planta, que en este caso es la producción de frituras en forma de chips. La Figura 27 exhibe la instalación del equipo en el disyuntor de la pesadora de chips No. 1.

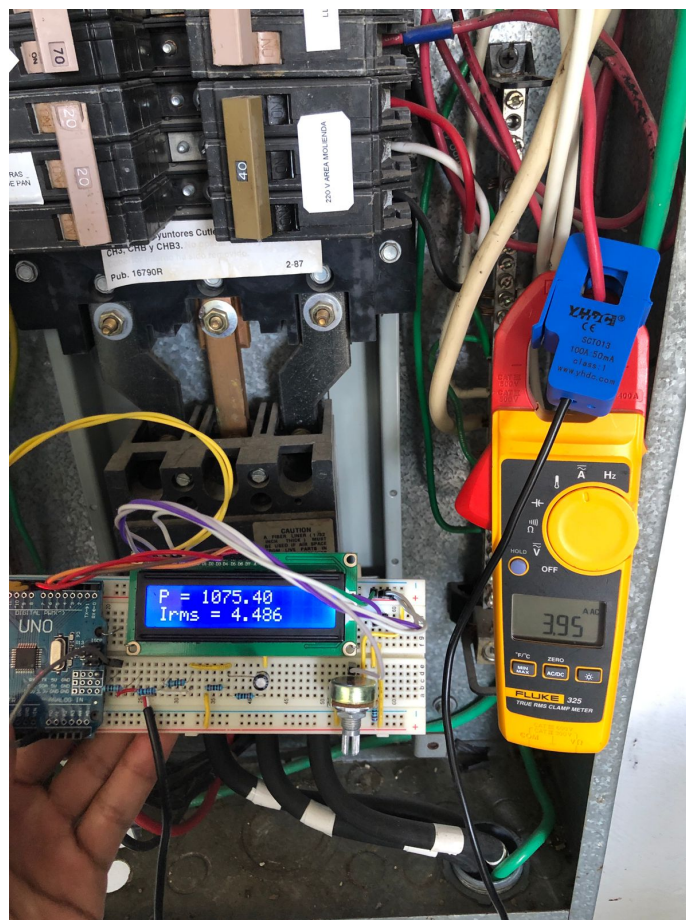


Figura 27. Instalación del prototipo para en la pesadora de chips.
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, como una segunda validación, se procede a instalar el prototipo en el lugar de mayor consumo energético de la planta, el cual está conformado por los equipos de los cuartos fríos. De manera específica, el equipo se instala en el cuarto frío principal, que se caracteriza por su gran tamaño y menor eficiencia en el aprovechamiento del espacio. La Figura 28 ilustra la instalación del equipo en el disyuntor correspondiente.

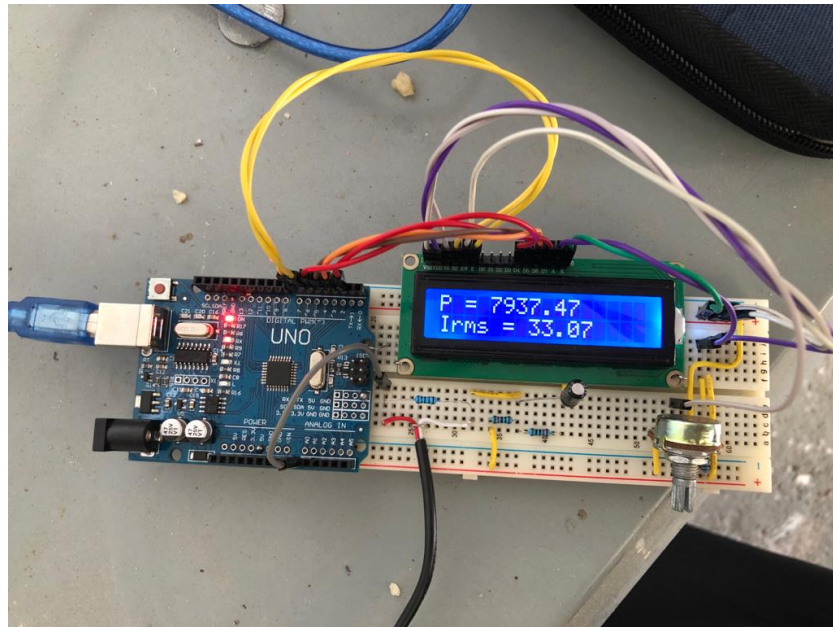


Figura 28. Instalación del prototipo en disyuntor del cuarto frío principal.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos a partir del prototipo de medición en comparación con los resultados proporcionados por el amperímetro de gancho FLUKE 325. Las gráficas muestran los datos registrados durante dos horas en el transcurso del día lunes 20 de marzo del año 2023, desde las 9:00 am hasta las 9:55 am para la llenadora de chips y desde las 10:00 am hasta las 10:55 am para el cuarto frío principal. Se tomaron doce mediciones puntuales cada cinco minutos para generar el gráfico y comparar los resultados, lo cual se realizó para ambas pruebas. Durante el periodo de medición, la planta, en particular el proceso de frituras y los cuartos fríos, se encontraban operando a plena carga.

Es relevante destacar que, según la bibliografía consultada, para mediciones de potencia eléctrica en sistemas de distribución de energía eléctrica, se establece un porcentaje de error máximo permisible del 1% al 3% para dispositivos de venta comercial (Cortés, Mora, Gil-de-Castro, & Gallo, 2016). Este valor resulta significativo para evaluar la efectividad del prototipo de

monitoreo en relación con los estándares comerciales. Asimismo, se ha señalado que la desviación estándar aceptable para la medición de potencia eléctrica mediante medidores de energía comercialmente disponibles oscila entre el 0.5% y el 1% (Farivar, Fartaj, & Sioshansi, 2017), información relevante para contextualizar cuál es el desempeño del prototipo en comparación con los dispositivos comerciales.

Llenadora de Chips

En la Figura 29 se muestran los datos de potencia eléctrica obtenidos por el prototipo y se comparan con los datos del equipo de precisión. Se encontró que el porcentaje de error promedio para la medición de potencia eléctrica es de un 7,56%, aunque este valor aparenta ser alto, se debe considerar que esto se debe al bajo consumo que representa toda la población estadística. El gráfico muestra que los valores experimentales obtenidos por el prototipo son significativamente cercanos a los valores reales medidos en amperios por el FLUKE 325. Este hecho se sustenta en la desviación estándar obtenida, que fue del 0,60%, lo cual incluso se encuentra dentro del estándar comercial aprobado por la IEEE. Para revisar los datos puntuales, ver Apéndice C, Figura C.1.

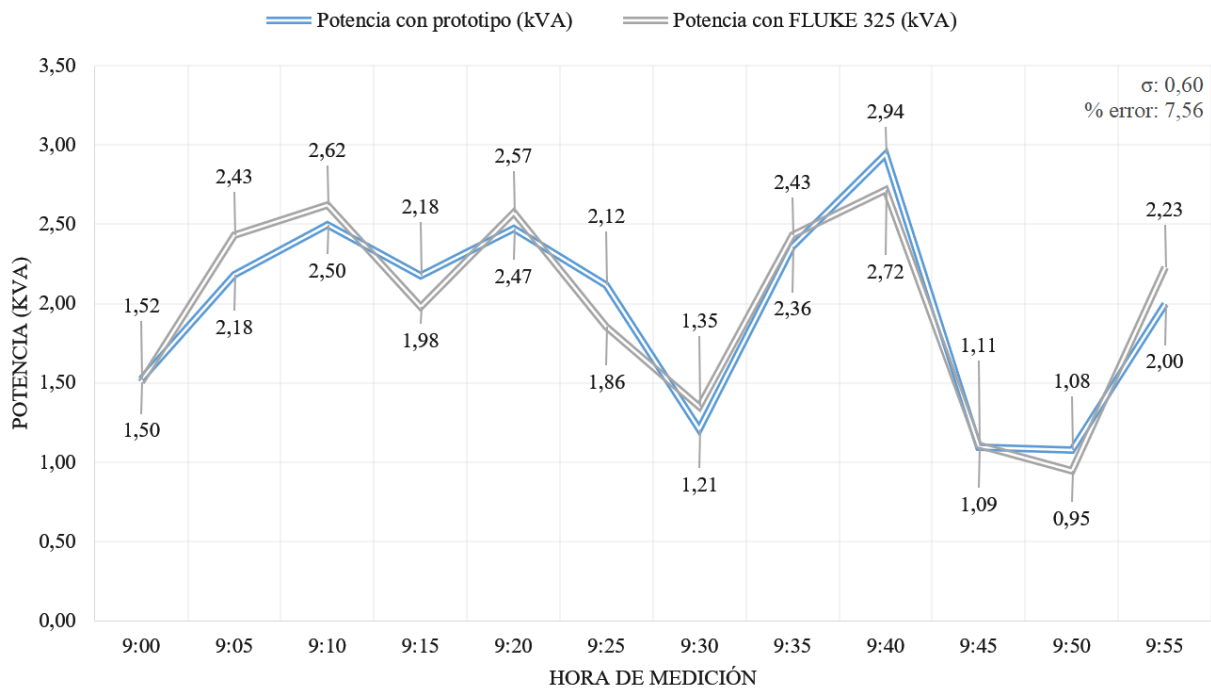


Figura 29. Potencia eléctrica llenadora de chips (kVA), prototipo de medición vs FLUKE 325.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Cuarto Frío Principal

La Figura 30 muestra los datos de potencia eléctrica obtenidos por el prototipo y se comparan con los datos del equipo de precisión. Se encontró que el porcentaje de error promedio para la medición de potencia eléctrica es de un 1,17%, lo cual se encuentra dentro del rango comercial permisible. Además, la desviación estándar obtenida fue del 0,09%, lo cual indica que para esta prueba se cumplen ambos estándares establecidos por la IEEE. Para revisar los datos puntuales, ver Apéndice C, Figura C.2

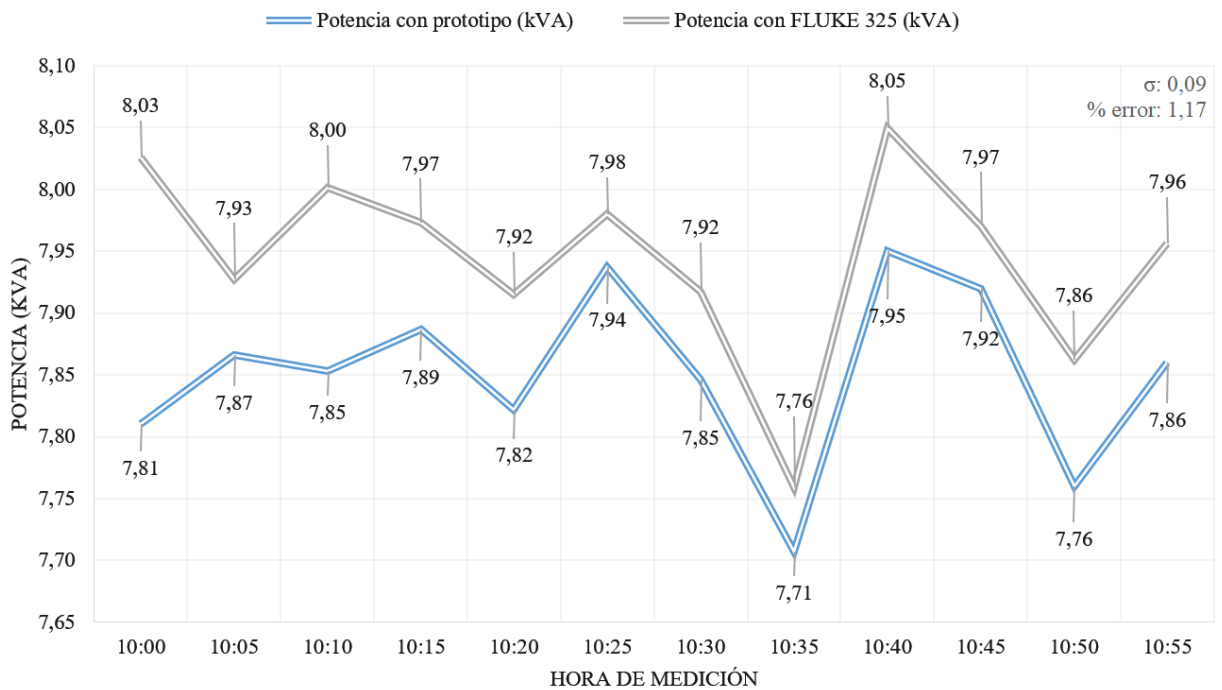


Figura 30. Potencia eléctrica cuarto frío principal (kVA), prototipo de medición vs FLUKE 325.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Mejoras Implementables al Sistema de Monitoreo

- **Medición de voltaje en tiempo real:** El sistema de monitoreo en tiempo real asume un voltaje constante, lo cual no es del todo realista. Por lo tanto, se puede implementar la medición en tiempo real de este factor para obtener datos más precisos de potencia, factor de potencia y otros datos eléctricos relevantes. Ejemplo, el sensor ZMPT101B.
- **Implementación de IoT:** A través del uso de un módulo WiFi ESP8266 y una red inalámbrica disponible en la planta, es posible transmitir los datos obtenidos por el prototipo de monitoreo hacia un centro de control. Al emplear la plataforma de base de datos Adafruit.IO,

es posible visualizar remotamente el comportamiento de los datos medidos a través de una computadora o un dispositivo móvil.

- **Montaje del sistema de monitoreo:** Dado que el prototipo se encuentra ensamblado en una protoboard, existe la posibilidad de que su integridad física sea alterada accidentalmente. Sin embargo, esta preocupación podría ser mitigada mediante la soldadura de los componentes en una placa de circuito impreso, lo cual también reduciría el tamaño del equipo.
- **Depuración del código:** Se podría mejorar el código y agregar más bibliotecas para reducir aún más el porcentaje de error en las mediciones. Es importante mencionar que se podría invertir en sensores de mayor calidad y costo para obtener datos más precisos y cercanos a la realidad.
- **Alimentación del prototipo:** Durante las pruebas, el dispositivo de medición se alimentó mediante una computadora, pero es posible alimentarlo mediante una fuente de 5V para adaptar el dispositivo de manera más adecuada al entorno, incluso implementando una fuente con regulador de voltaje como el kit LM317.
- **Almacenamiento de datos:** Es posible establecer una comunicación programada entre Arduino y una hoja de cálculo de Excel para automatizar la gestión y almacenamiento de datos energéticos utilizando el lenguaje de programación Python. Esta técnica permite centralizar la información desde una computadora que actúa como centro de monitoreo.
- **Desbalance de cargas:** Dado que el medidor está diseñado para medir corrientes monofásicas, en caso de que exista un desequilibrio en las cargas, se recomienda utilizar un medidor exclusivo para cada fase del sistema, instalándolo aguas arriba del interruptor principal. De esta manera, se obtendrá la corriente exacta de consumo para cada fase del sistema trifásico.

Oportunidades de Mejora con un Sistema de Monitoreo en Tiempo Real

Los métodos automatizados de monitoreo de ecosistemas eléctricos brindan una forma rentable de rastrear los cambios en la dinámica del sistema natural a través de escalas temporales y espaciales (Briere & Motesharrei, 2017). En el marco de la industria 4.0, la eficiencia en el tiempo de operación es un factor crítico y las tecnologías digitales pueden aumentar la eficiencia de la producción y la operación empresarial. El monitoreo puede identificar tiempos de operación innecesarios en los que los equipos consumen energía que podría ser ahorrada, lo que se refleja directamente en facturación eléctrica (Hu & Wang, 2019).

En la compañía Advance Packing S.A. se registra un consumo excesivo en el cuarto frío principal, el cual funciona sin interrupción durante todo el año, a pesar de que su porcentaje de

aprovechamiento del espacio es solo del 10% (consulte la Tabla 14). Este porcentaje podría ser transferido a otro de los cuartos fríos disponibles. Según las mediciones experimentales realizadas con el prototipo de medición de potencia eléctrica, se ha observado un consumo promedio de 7,85kW por parte del equipo de enfriamiento, lo que se traduce en una demanda eléctrica diaria de 188,4kWh.

La empresa se encuentra en un modelo tarifario T-MT de media tensión, dicha tarifa tiene un coste desglosado en el Apéndice C, Tabla C.3. El costo mensual traducido por mantener operando el cuarto frío principal es de 179340,32 colones, se puede ver en la Figura 19. Dicho monto contempla una pérdida para la empresa.

Tabla 19. Desglose de costo de operación para el cuarto frío principal.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y L^AT_EX.

Horario	Horas de operación (h)	Coste por kWh (colones)	Costo diario de operación (colones)
Horas Pico	5	70,40	2763,20
Horas Valle	9	26,77	1891,30
Horas Nocturnas	10	16,86	1323,51
Total por día:	24		5978,01
Total mensual:	720		179340,32
kWh del equipo:	7,85		

El estudio mencionado previamente sirve como ejemplo para comprender el potencial de un sistema de monitoreo en tiempo real. En este caso particular, se identificó un sumidero de energía que representaba un costo innecesario. Se sabe que la planta cuenta con otros equipos en situaciones similares, tanto en los cuartos fríos de almacenamiento como en las líneas de producción. Un sistema de monitoreo de este tipo permite detectar estos comportamientos y recopilar datos que pueden traducirse en mejoras en la eficiencia energética y, como objetivo principal, reducir la factura eléctrica (Briere & Motesharrei, 2017).

OBJETIVO IV. ANÁLISIS FINANCIERO

Resumen

En este capítulo se lleva a cabo un análisis financiero detallado para evaluar la viabilidad de invertir en la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de bajo costo. El objetivo principal de este análisis es determinar si esta inversión es financieramente justificable y si proporcionará un retorno adecuado en términos de reducción de costos. Para ello, se realizará una evaluación de costos y beneficios y se analizarán los indicadores financieros clave, como el VAN, TIR y ROI.

Consideraciones

Inflación

Es importante considerar la inflación en el análisis financiero para garantizar que los cálculos y las proyecciones sean precisos y realistas. En este caso se asume que la inversión que se realizará en 2024, la inflación debe tenerse en cuenta debido a su impacto en el costo de los bienes y servicios que se necesitarán para llevar a cabo la inversión. Por ejemplo, si la inflación aumenta el precio de los materiales necesarios para la inversión, esto podría afectar significativamente el costo total del proyecto y, por lo tanto, alterar las proyecciones financieras (Satish & Viswanathan, 2019).

Además, considerar la inflación también ayuda a evaluar la viabilidad a largo plazo de la inversión y a garantizar que se estén tomando en cuenta todos los factores importantes al realizar el análisis financiero. En conclusión, la consideración de la inflación es fundamental para asegurar que el análisis financiero sea preciso y completo (Satish & Viswanathan, 2019). La Figura 31 muestra los datos proyectados para el año 2024.

Tasa de Descuento

La inflación se puede utilizar como tasa de descuento cuando se trata de proyectos a largo plazo, ya que refleja el aumento esperado en los precios a lo largo del tiempo. Al descontar los flujos de efectivo futuros con una tasa de inflación, se ajusta por la pérdida de valor del dinero a lo largo del tiempo. Además, la inflación puede tener un impacto significativo en los costos y los ingresos del proyecto, por lo que su consideración en la tasa de descuento es importante para una evaluación precisa de la factibilidad del proyecto (Damodaran, 2010). En el presente estudio se promedia un 3,06% de inflación.

Por otra parte, la tasa de descuento bancaria proyectada según el banco central de Costa Rica es de 10%, ver línea temporal en Figura 32 (Datosmacro.com, 2023). En función de ambos

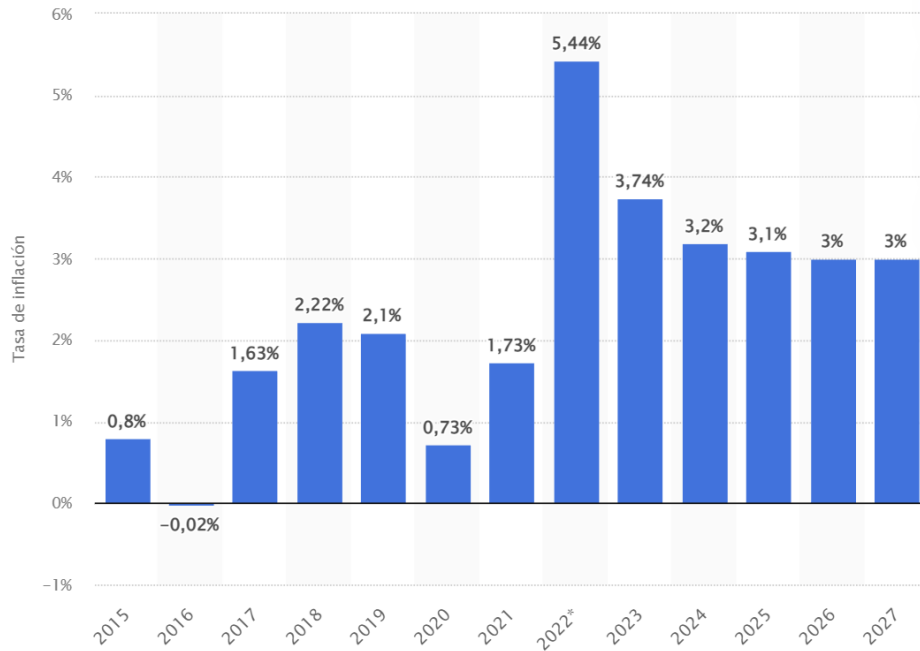


Figura 31. Evolución anual de la tasa de inflación en Costa Rica desde 2015 hasta 2027.
Fuente: (Statista, 2023).

porcentajes expuesto se procede a obtener la tasa de descuento inflacionaria K que utiliza para la obtención del VAN. El cálculo se detalla a continuación (Baio, Berardi, & Heath, 2018), donde: K = Tasa de descuento inflacionaria, I = Inflación, T = tasa de descuento bancaria:

$$K = (1 + T)/(1 + I) - 1 \quad (20)$$

$$K = (1 + 10\%)/(1 + 3,06\%) - 1 \quad (21)$$

$$K = 6,73\% \quad (22)$$

Impuesto Sobre la Renta (IVA)

La inclusión del impuesto sobre la renta en el análisis financiero permite realizar proyecciones más precisas de los costos de implementación, y, por lo tanto, tomar decisiones financieras más informadas y estratégicas. Al no considerar este impuesto, las decisiones financieras podrían ser inexactas y subóptimas, y la empresa podría estar en riesgo de enfrentar problemas al momento de la inversión con sumas imprevistas. Por lo tanto, es fundamental incluir el impuesto sobre la renta en el análisis financiero para garantizar una planificación financiera sólida y fundamentada.

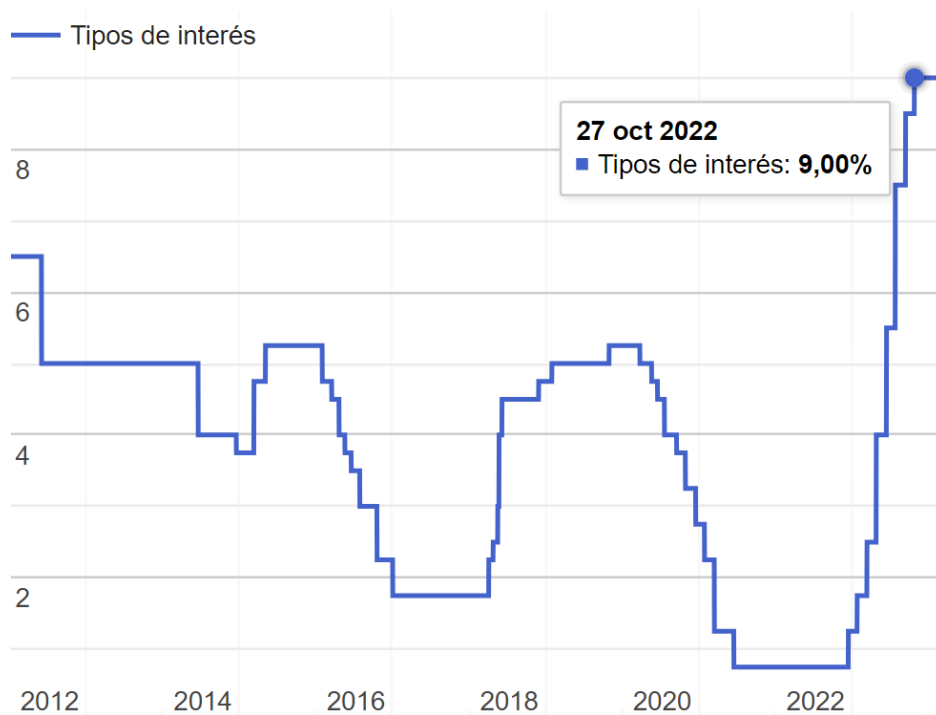


Figura 32. Evolución anual de la tasa de descuento bancaria en Costa Rica desde 2012 hasta 2023. Fuente: (Datosmacro.com, 2023).

Tableros

Para la implementación del sistema de monitoreo se propone instalar un sistema aislado para cada uno de los diecinueve tableros eléctricos presentes en la planta. Dichos sistemas medirán el consumo en tiempo real para cada fase del tablero correspondiente, siendo necesario implementar tres sistemas de monitoreo en cada uno de ellos debido a que la instalación eléctrica del edificio es trifásica.

Componentes y Proveedor

En la Tabla 18 se encuentra la lista de componentes contemplados para cada uno de los sistemas y en el Apéndice E, Figuras E.1, E.2, E.3, se pueden encontrar las fichas técnicas del caso. Se propone la construcción de prototipos homólogos al presentado en el desarrollo del *Objetivo III* con el fin de obtener una clara idea del resultado que se espera alcanzar al implementar el sistema de monitoreo de manera definitiva.

El proveedor seleccionado es la tienda de electrónica online *CRCibernética*, ya que es el proveedor con mayor amplitud de componentes y los precios más económicos en comparación con *Micro JPM*. Todos los elementos electrónicos considerados en el presente estudio pueden encontrarse en dicha tienda.

Costos de Mano de Obra

Los costos de mano de obra se consideran en base al estándar aprobado por el CFIA para el año 2023 para licenciatura en ingeniería en mantenimiento industrial, asumiendo que el trabajo sería realizado por una persona con este rango profesional. Dicho informe del CFIA se encuentra En el Apéndice E, Figura **E.4** para su consulta.

Presupuesto de Inversión: Sistema de Monitoreo

A continuación se muestran las Figuras **33**, **34**, **35**, **36** correspondientes al presupuesto para la inversión en un sistema de monitoreo, el proyecto requiere un Flujo de efectivo neto correspondiente al 1,78% de ahorro en la facturación eléctrica en su escenario más crítico, véase el más caro (Materiales + Mano de Obra + Opcionales), dicho porcentaje de ahorro es viable teniendo en cuenta el análisis realizado para los cuartos fríos en el desarrollo del *Objetivo III*, donde se evidencia, mediante pruebas experimentales, el potencial de conocer el consumo de energía en tiempo real y el ahorro económico que se puede lograr mediante el monitoreo en tiempo real y control del tiempo de operación.

De acuerdo con el análisis financiero realizado, es necesario lograr un ahorro mínimo de C\$846.373,82 anuales en la facturación eléctrica a través de la gestión de mantenimiento impulsada por el sistema de monitoreo para obtener un VAN positivo (12221,40), lo que indicaría que el proyecto es rentable. Sin embargo, al considerar la oportunidad de mejora presentada en el *Objetivo III*, el ahorro promedio anual ascendería a C\$2.000.000,00 (4,21%), lo que supera significativamente el requisito de rentabilidad. Esta información justifica claramente la inversión realizada en el proyecto.

Por otra parte, se obtuvo un TIR del 6,87%, lo que indica que la tasa de rendimiento interna supera el umbral mínimo de rentabilidad exigido para la inversión. Además, el ROI arroja un valor del 21,53%, lo que demuestra claramente el beneficio de la implementación del sistema. Es importante destacar que este estudio financiero fue realizado considerando la situación más crítica, en la cual el ahorro de energía solo cubre el costo de la inversión. No obstante, se tiene la posibilidad de aumentar la eficiencia energética de la planta mediante una adecuada gestión de mantenimiento, lo que implicaría un ahorro energético significativo.

Es importante resaltar que el gasto relacionado con la adquisición de la carcasa o el tipo de protección utilizado para los componentes electrónicos es sufragado mediante los fondos asignados para el montaje de sistemas en sitio, dado que este está estrechamente ligado a la ubicación seleccionada por la empresa para establecer su centro de operaciones.

Material	\$/unidad	€/unidad	Unidades	Costo €	IVA	Inflación	Costo Total
Componentes							
Arduino UNO	34,95	19.222,50	19	365227,50	13%	3,20%	414.226,42
Pantalla LCD 16x2	5,95	3.272,50	57	186532,50	13%	3,20%	211.557,70
Sensor SCT-013	14,95	8.222,50	57	468682,50	13%	3,20%	531.560,94
							€ 1.157.345,07
Conexiones							
Pack de Resistores	8,95	4.922,50	3	14767,50	13%	3,20%	16.748,71
PCB para prototipo	2,25	1.237,50	19	23512,50	13%	3,20%	26.666,94
Potenciómetro 10kΩ	0,95	522,50	19	9927,50	13%	3,20%	11.259,37
Capacitor 50µF	0,25	137,50	19	2612,50	13%	3,20%	2.962,99
Jumper kit 140pcs	3,95	2.172,50	3	6517,50	13%	3,20%	7.391,89
							€ 65.029,90
							€ 1.222.374,96
Cambio del dolar al 12/04/2023:		550					

Figura 33. Presupuesto, costo de los materiales.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Tarea	\$/unidad	€/hora	Horas	Costo €	IVA	Inflación	Costo Total
Mano de Obra							
Programación	68,55	37.700,00	19	716300,00	13%	3,20%	812.398,81
Ensamble de sistemas	68,55	37.700,00	19	716300,00	13%	3,20%	812.398,81
Montaje de sistemas en sitio	68,55	37.700,00	3	113100,00	13%	3,20%	128.273,50
							€ 1.753.071,11
							€ 1.753.071,11

Figura 34. Presupuesto, costo de mano de obra.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Material	\$/unidad	€/unidad	Unidades	Costo €	IVA	Inflación	Costo Total
Material							
Modulo Wifi ESP8266	9,95	5.472,50	19	103977,50	13%	3,20%	117.927,12
Kit de voltaje ajustable LM317	14,95	8.222,50	19	156227,50	13%	3,20%	177.186,98
Sensor de voltaje ZMPT101B	5,95	3.272,50	57	186532,50	13%	3,20%	211.557,70
							€ 506.671,80
							€ 506.671,80
Cambio del dolar al 12/04/2023:		550					

Figura 35. Presupuesto, costo de los materiales opcionales.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Resumen		Costo Total
Resultados		
Materiales	₪	1.222.374,96
Mano de obra	₪	1.753.071,11
Opcionales	₪	506.671,80
Opciones de inversión		
Materiales + Mano de obra	₪	2.975.446,08
Materiales + Mano de obra + Opcionales	₪	3.482.117,88
Indicadores Financieros		
Materiales + Mano de obra		
VAN		486.926,81
TIR		13,02%
ROI		36,08%
Materiales + Mano de obra + Opcionales		
VAN		12.221,40
TIR		6,87%
ROI		21,53%

Figura 36. Presupuesto, resultados financieros.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

Objetivo I

En conclusión, la aplicación de la norma ISO 50002 permitió determinar el uso global de la energía en la empresa en cuestión, mediante la elaboración de un balance energético. Gracias a este análisis, se identificó el proceso productivo crítico que consume la mayor cantidad de energía, lo que facilitará la implementación de medidas de eficiencia energética para reducir el consumo y, en consecuencia, los costos asociados. De esta manera, se logra un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y se contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente.

Existen datos relevantes en el estudio que merecen destacarse. Por ejemplo, el 65% de la demanda eléctrica total de la planta se concentra en dos áreas críticas, específicamente el proceso de chips y los cuartos fríos. Además, se observa que el consumo de energía se atribuye exclusivamente a estos dos procesos en un 86.6%. Por último, se ha descubierto que la utilización del espacio alcanza únicamente un 42%, lo cual representa un nivel considerablemente bajo teniendo en cuenta que los equipos funcionan sin interrupción.

Objetivo II

En resumen, los criterios estadísticos obtenidos del análisis de los procesos productivos de la empresa, y la aplicación de la norma ISO 50006, han permitido ilustrar su ubicación competitiva en el mercado. Gracias a la evaluación del desempeño energético y los indicadores de eficiencia energética, se ha logrado identificar los puntos críticos de consumo energético en la empresa, y se han establecido medidas de mejora para optimizar su rendimiento energético y mejorar su competitividad. De esta manera, se logra una gestión más eficiente y sostenible de los recursos energéticos, lo que contribuye al crecimiento y éxito de la empresa en el mercado actual.

El resultado más significativo obtenido es el valor de LBE (costo unitario de energía) en colones por kilovatio-hora mensual, que presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,7633. Este coeficiente proporciona una visión precisa de la relación existente entre la facturación eléctrica y el consumo de potencia mensual. Además, el coeficiente de determinación (R^2) de 0,3199 revela cómo se comporta el consumo eléctrico en relación con el espacio no utilizado para el almacenamiento de productos en los cuartos fríos.

Objetivo III

En conclusión, la utilización de dispositivos electrónicos tipo sensor conectados a Arduino y programados en lenguaje C, en conjunto con un medidor de corriente tipo gancho comercial, permitió realizar mediciones y monitorear datos energéticos en el proceso electromecánico de pro-

ducción crítica de la empresa. Estos dispositivos brindaron datos reales, cuantificables, analizables y recopilables, que permitieron conocer de manera precisa cómo se encuentra el consumo en el sumidero crítico definido según el balance energético. Además de demostrar la viabilidad de un prototipo de monitoreo para adquirir información precisa a un costo de implementación reducido. Con esta información, se podrán tomar medidas concretas para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía en este proceso productivo, lo que contribuirá a la sostenibilidad y competitividad de la empresa en el mercado. En definitiva, la utilización de estas herramientas y técnicas de medición y monitoreo, resulta en una gestión más eficiente y sostenible de los recursos energéticos, aportando beneficios tanto económicos como ambientales.

Los datos analizados revelan un porcentaje de error del 1.17%, lo que indica una proximidad considerable entre el equipo profesional y el prototipo de monitoreo. Además, la desviación estándar del 0.09% cumple con los estándares comerciales establecidos.

Objetivo IV

En conclusión, la realización de un estudio técnico financiero del caso, permitió analizar la prefactibilidad económica de la implementación de un sistema de medición energética en los procesos productivos críticos de la empresa. Los resultados del análisis demuestran que la implementación de este sistema resulta altamente rentable, ya que se podrán identificar los puntos críticos de consumo energético y se podrán tomar medidas de eficiencia energética para reducir los costos asociados. Además, esta medida contribuirá a la sostenibilidad ambiental de la empresa y mejorará su imagen ante los consumidores y la sociedad en general. En definitiva, la realización de una auditoría energética y el análisis técnico financiero, resultan en una gestión más eficiente y sostenible de los recursos energéticos, aportando beneficios tanto económicos como ambientales a la empresa.

Por último, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno de la Inversión (ROI) con valores de 486,926.81 colones, 13.02% y 36.08% respectivamente, demuestran la viabilidad del proyecto para su implementación dentro de la planta de Advance Packing S.A.

RECOMENDACIONES

Reemplazar el material del suelo para mejorar la eficiencia energética y permitir una programación de horarios de trabajo más efectiva. Realizar una evaluación de factibilidad basada en los ingresos de la empresa antes de tomar una decisión.

Identificar y reemplazar equipos obsoletos por equipos más eficientes y modernos, asegurándose de que tengan la potencia adecuada para manejar la carga eléctrica necesaria y evitar sobrecalentamientos y mayor consumo de energía.

Instalar sistemas de monitoreo en los equipos para identificar posibles problemas antes de que se conviertan en un problema mayor. Utilizar cámaras de infrarrojos para detectar sobrecalentamiento, sistemas de monitoreo de vibración para detectar problemas mecánicos, y monitorear la potencia eléctrica en tiempo real.

Recopilar más datos para aumentar la exactitud de los estudios de indicadores energéticos. Identificar las variables críticas y medir su impacto en el consumo de energía para obtener información más precisa. Utilizar herramientas y tecnologías de monitoreo para recopilar datos en tiempo real y analizarlos para identificar patrones y tendencias en el consumo de energía. Realizar una revisión periódica de los datos recopilados para ajustar y mejorar las estrategias de gestión de la energía y reducir el consumo.

Para mejorar la eficiencia en el acomodo de producto terminado en los cuartos fríos, se debe establecer un sistema de organización basado en la rotación de inventario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alam, A., Zaid, M., Gupta, A., Bindal, P., & Siddiqui, A. (2018). Power loss reduction in a radial distribution network using distributed generation. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 1142–1145.
- Aleksandr, S., Sergey, A., Aleksandr, S., Aleksandr, F., & Galina, M. (2021). Implementation of iso 50001 standard in the activities of energy companies. *2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS)*, 417–420.
- Andrade, R. (2017). Diseño e implementación de un sistema de gestión de la energía (sgen) basado en la norma nte inen-iso 50001: 2012, aplicado a la empresa enkador sa.
- Arduino. (2022). Liquidcrystal. *Disponible en: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/>*, 1.
- Baio, G., Berardi, A., & Heath, A. (2018). Incorporating inflation into the discount rate for cost-effectiveness analysis. *Journal of Health Economics*, 62, 59–75.
- Barchi, G., Miori, G., Moser, D., & Papantoniou, S. (2018). A small scale prototype for the optimization of pv generation and battery storage through the use of a building energy management system. *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC I y CPS Europe)*, 1–5.
- Briere, C., & Motesharrei, S. (2017). Robust, real-time and autonomous monitoring of ecosystems with an open, low-cost, networked device. *PLoS One*, 12(4).
- Cantillo, Q., González-Pérez, I., & Quintana, A. (2006). Linealidad, algo más que r2: Un ejemplo práctico.
- Cardona & Cifuentes. (2008). Energía y conceptos aplicados. *Universidad San Carlos, Guatemala*.
- Castrillon, R., & González, A. (2018). Metodología para la planificación energética a partir de la norma iso 50001.

- Castrillon, R. P., & Quintero, A. M. (2018). The energy planning according to the iso 50001 contribute to the consolidation of a sustainable campus to the universidad autonoma de occidente.
- Castro, G. G. S., & Torres, G. (2016). Corporate social responsibility and business performance: The role of mexican smes. *Int. J. Asian Soc. Sci.*, 6(10), 568–579.
- Cortés, D., Mora, J., Gil-de-Castro, A., & Gallo, D. (2016). Evaluation of the measurement performance of power quality meters. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(3), 1203–1210.
- Cuevas, C. F. (2001). Medición del desempeño: Retorno sobre inversión, roi; ingreso residual, ir; valor económico agregado. eva; análisis comparado. *Universidad del Valle*.
- Damodaran, A. (2010). *The dark side of valuation: Valuing young, distressed, and complex businesses* (2nd ed.). FT Press.
- Datosmacro.com. (2023). Costa rica - tipos de interés banco central 2023 [Accedido el 11 de abril de 2023]. <https://datosmacro.expansion.com/tipo-interes/costa-rica>
- Ding, X., & Wu, J. (2019). Study on energy consumption optimization scheduling for internet of things. *IEEE Access*, 7, 70574–70583.
- Evans, J., Foster, A., Huet, M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., Houška, M., Landfeld, A., Bond, C., Schreurs, M., & Sambeeck, T. (2013). Cold store energy performance. *2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain*.
- Farivar, S., Fartaj, A., & Sioshansi, R. (2017). A review of the performance of commercial power meters for domestic photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1(67), 887–897.
- Gobierno de Costa Rica. (2018). Plan nacional de descarbonización 2018-2050.
- Guo, W., Ridout, M. S., & Song, P. X.-K. (2018). Multiple testing corrections in linear mixed-effects models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 80(1), 129–150.

- Hu, Y., & Wang, Y. (2019). Research on the efficiency of operation in the context of industry 4.0. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237(3).
- IEA. (2016). Towards sustainable urban energy systems.
- Instituto nacional de normalizacion chileno. (2015). Sistemas de gestión de la energía — medición del desempeño energético utilizando líneas base de energía (lbe) e indicadores de desempeño energético (ide) — principios generales y orientación, 50.
- INTE/ISO. (2018). Energy management systems - requirements with guidance for use. *INTE/ISO 50001:2018*.
- International Energy Agency. (2021). World energy outlook.
- ISO. (2014a). Energy audits — requirements with guidance for use. *ISO 50002:2014*.
- ISO. (2014b). Energy management systems — measuring energy performance using energy base-lines (enb) and energy performance indicators (enpi) — general principles and guidance. *ISO 50006:2014*.
- ISO. (2015a). Quality management systems. basic provisions and dictionary. *ISO 9000-2015*.
- ISO. (2015b). Quality management systems. requirements. *ISO 9001-2015*.
- Kabir, Y., Mohsin, Y. M., & Khan, M. M. (2017). Automated power factor correction and energy monitoring system. *Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, 1, 1–5.
- Katzenbach, R., Clauss, F., & Zheng, J. (2015). Potentials of sustainable energy management in buildings, 1–7.
- Kerkhoff, A., Bárbaro, M., & Toledo, E. (2020). Preliminary analysis of energy consumption in public buildings with iram-iso 50001 approach. case study: Faculty of engineering oberá.
- Korotkov, E., Zhernakova, M., & T.Yu, K. (2018). Change management, 0-278.
- Laire, M., Fiallos, Y., & Aguilera, Á. (2018). Guía de implementación de sistemas de gestión de energía basados en iso 50001.
- Master, B., & Montes, C. (2019). Industria de alimentos. *Andi*.

- McCarthy, K. G. (2012). An educational tool for r f lna analysis based on an implementation of the smith chart in excel. *IET Irish Signals and Systems Conference (ISSC 2012)*, 1–6.
- Medina, J. R. V., Caicedo, O. P., & Quispe, E. C. (2017). Modelos de gestión energética. un análisis crítico. *Primer congreso internacional de materiales, energía y medio ambiente (CIMEM)*.
- Menniti, D., Pinnarelli, A., Sorrentino, N., Vizza, P., Burgio, A., Brusco, G., & Motta, M. (2018). A real-life application of an efficient energy management method for a local energy system in presence of energy storage systems. *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / ICPS Europe, 1)*, 1–6.
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: Su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Instituto de Investigacion en Ciencias Económicas y Financieras Universidad La Salle - Bolivia*, 7.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). Vii plan nacional de energía 2015-2030. programa de las naciones unidas para el desarrollo pnud.
- Nama, G. F., Despa, D., & Mardiana. (2016). Real-time monitoring system of electrical quantities on ict centre building university of lampung based on embedded single board computer bcm2835. *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 394–399.
- Nayyar, A., & Puri, V. (2016). A review of arduino board's, lilypad's arduino shields. *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1485–1492.
- NFPA. (2014). Código eléctrico nacional. *NFPA 70*.
- Ni, D., & Chen, P. (2017). Integration of wired and wireless lighting control systems for green energy managment. *International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC)*, 206–210.
- Organización de las Naciones Unidas. (2018). La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: Una oportunidad para américa latina y el caribe. (2681-P/Rev).

- Palacios, M., León, A., & Santos, J. (2021). Corporate social responsibility as a vehicle for ensuring the survival of construction smes. the mediating role of job satisfaction and innovation. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Popov, V., Fedosenko, M., Tkachenko, V., & Yatsenko, D. (2019). Forecasting consumption of electrical energy using time series comprised of uncertain data. *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 201–204.
- Sanabria, M. (2021). Análisis del impacto de la implementación de la norma iso 50001 en la productividad y competitividad de las organizaciones.
- Satish, G., & Viswanathan, S. S. (2019). An examination of the effects of inflation on capital budgeting decisions. *Journal of Applied Accounting Research*, 20(1), 59–74.
- Statista. (2023). Costa rica: Tasa de inflación anual 2015-2027. <https://es.statista.com/estadisticas/1190003/tasa-de-inflacion-costa-rica/>
- System., L. A. D. P. (1986). L. lampport. *TUGboat*, 149–161.
- Türkoğlu, S., & Kardoğan, P. (2018). The role and importance of energy efficiency for sustainable development of countries.
- Vargas, C., Posada, J., Jaramillo, L., & García, L. (2015). Consumo de energía en la industria del plástico: Revisión de estudios realizados. *Revista CEA*, 93–107.
- Verenych, O., & Hudoshnyk, D. (2020). Sustainability ecosystems: Control of the energy efficiency as one of the aspects of the digital ecosystems (case study for ukraine). *2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, 1–6.
- Vizcaíno, J. R. L., & Sebastia, J. P. (2014). Sistemas integrados con arduino. *Alfaomega Grupo Editor*.
- Wang, X., Feng, Y., & Chen, H. (2017). Iso 50001 energy management certification: Status and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1037–1046. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.184>
- Yoav, B., & Yosef, H. (2010). The curse of big data: More false discoveries and yet more powerful methods for multiple testing. *Journal of statistical planning and inference*, 145(1), 9–13.

- Yoppy, Arjadi, R. H., Candra, H., Prananto, H. D., & Wijanarko, T. A. W. (2018). Rssi comparison of esp8266 modules. *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*.
- Zhang, Y., Zhou, K., Wang, J., Sun, X., Shao, Z., & Yang, J. (2021). Improving machine learning-based electricity consumption forecasting models with attention mechanism and wavelet transform decomposition. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *130*, 107025.

APÉNDICE A: BALANCE ENERGÉTICO

Ecuación para el cálculo de la energía consumida de nitrógeno:

$$E = PV \quad (23)$$

Donde: E = Energía [kJ], P = Poder Calorífico [kJ/L], V = Volumen consumido [L].

Tabla A.1. Datos para principio de pareto, demanda eléctrica 2022.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Nombre	Frecuencia (kW-h/mes)	Porcentaje (%)	Acumulado	Porcentaje Acumulado (%)
Cuartos fríos	54.378,24	68,4%	54.378,24	68,4%
Proceso de chips	14.731,50	18,5%	69.109,74	86,9%
Aire comprimido	5.813,50	7,3%	74.923,24	94,2%
Oficinas	2.288,33	2,9%	77.211,57	97,1%
Calentamiento aceite	1.944,25	2,4%	79.155,82	99,5%
Proceso de congelados	196,12	0,2%	79.351,94	99,8%
Proceso de palitos	129,85	0,2%	79.481,79	99,9%
Agua de lavado	53,20	0,1%	79.534,99	100,0%
Total	79.534,99	100	VERDADERO	VERDADERO

Tabla A.2. Datos para principio de pareto, consumo eléctrico 2022.

Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel y \LaTeX .

Nombre	Frecuencia (kW-h/mes)	Porcentaje (%)	Acumulado	Porcentaje Acumulado (%)
Proceso de chips	137.24	40,9%	137.24	40,9%
Cuartos fríos	80.92	24,1%	218.16	65,0%
Proceso de congelados	44.83	13,4%	262.99	78,4%
Aire comprimido	33.22	9,9%	296.21	88,3%
Proceso de palitos	14.84	4,4%	311.05	92,7%
Oficinas	12.04	3,6%	323.09	96,3
Calentamiento aceite	11.11	3,3%	334.20	99,6%
Agua de lavado	1.33	0,4%	335.53	100,0%
Total	335.53	100%	VERDADERO	VERDADERO

Tabla A.3. Resumen de energía mensual para el año 2022.

Fuente: Departamento de producción. Microsoft Excel.

Mes	Demanda Eléctrica (kJ)	Demanda Gas LP (kJ)	Demanda Nitrógeno (KJ)
Enero	409.140,00	770.400,00	527.661,54
Febrero	430.812,00	1.027.200,00	940.653,00
Marzo	414.072,00	898.800,00	434.492,10
Abril	434.556,00	790.944,00	1.046.364,48
Mayo	475.344,00	1.137.624,00	0,00
Junio	558.000,00	770.400,00	501.233,67
Julio	542.592,00	898.800,00	964.393,29
Agosto	476.568,00	898.800,00	1.049.052,06
Septiembre	477.144,00	898.800,00	0,00
Octubre	429.264,00	898.800,00	0,00
Noviembre	415.404,00	898.800,00	1.365.290,64
Diciembre	473.256,00	575.232,00	0,00
Promedio anual	461.346,00	872.050,00	569.095,07
Valor porcentual	24%	46%	30%

Tabla A.4. Resumen de pagos mensuales para el año 2022.

Fuente: Departamento de producción. Microsoft Excel.

Mes	Costo eléctrico (€)	Costo Gas LP (€)	Costo Nitrógeno (€)
Enero	3.017.765,00	1.638.083,72	3.129.003,60
Febrero	3.707.960,00	961.350,00	5.578.020,00
Marzo	3.805.126,94	1.032.450,00	2.576.514,00
Abril	4.107.601,46	975.275,00	6.603.313,20
Mayo	4.410.498,74	1.119.450,00	0,00
Junio	4.410.498,74	1.119.450,00	3.358.685,10
Julio	4.832.055,00	1.226.505,00	6.635.204,70
Agosto	4.852.113,10	1.213.555,00	7.451.296,50
Septiembre	4.082.628,40	903.900,00	0,00
Octubre	3.601.895,00	1.002.015,00	0,00
Noviembre	2.995.685,00	977.400,00	8.581.863,00
Diciembre	3.725.263,91	855.225,00	0,00
Promedio anual	3.962.424,27	1.085.388,23	3.659.491,68
Valor porcentual	46%	12%	42%

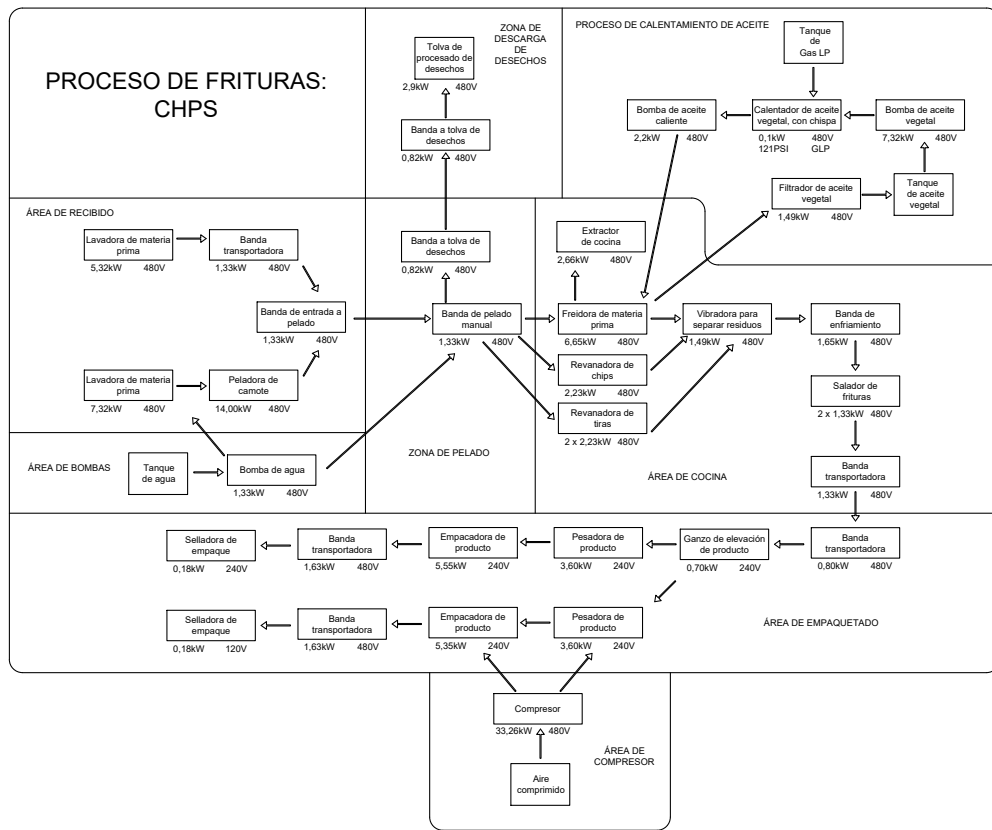


Figura A.1. Diagrama de consumos, proceso de frituras.
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

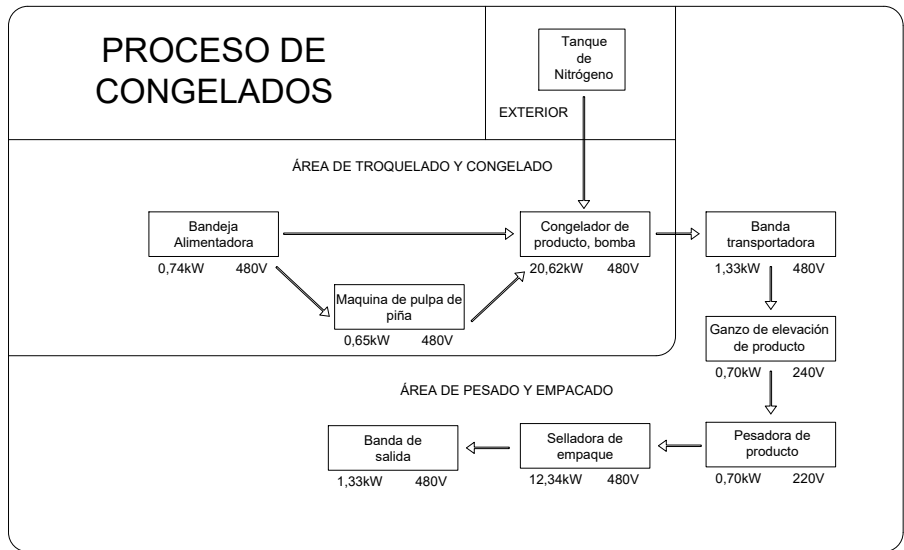


Figura A.2. Diagrama de consumos, proceso de congelados.
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

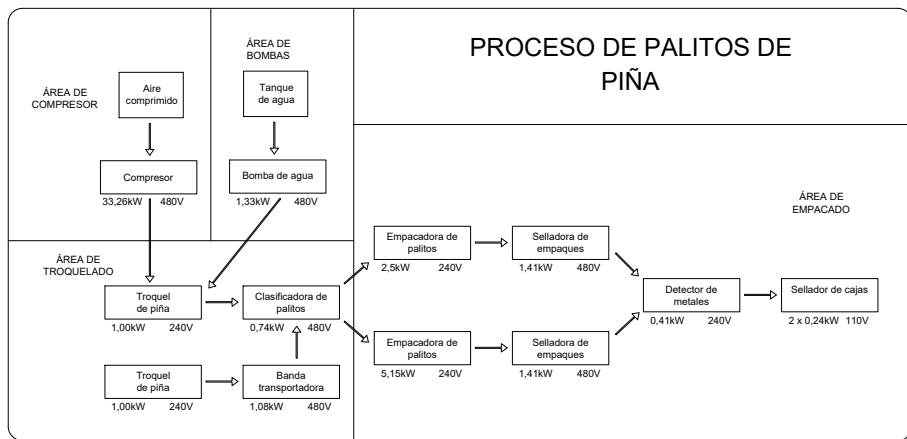


Figura A.3. Diagrama de consumos, proceso de palitos.
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

APÉNDICE B: DATOS ELÉCTRICOS

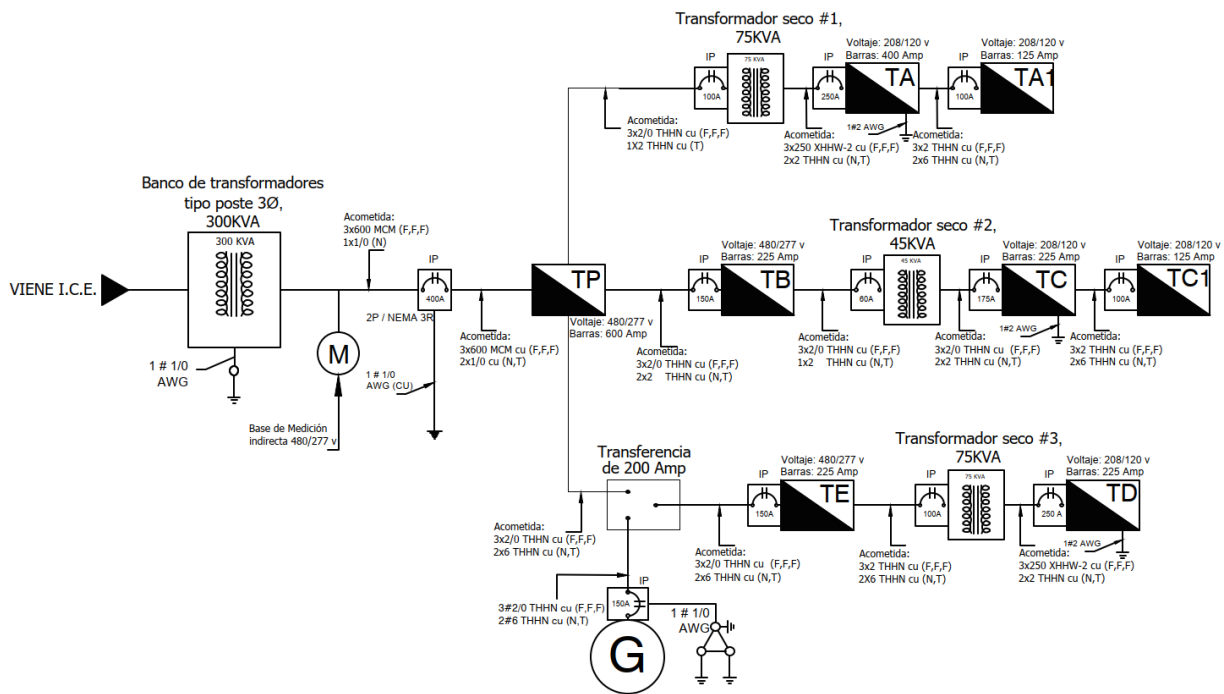


Figura B.1. Diagrama Unifilar Eléctrico
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

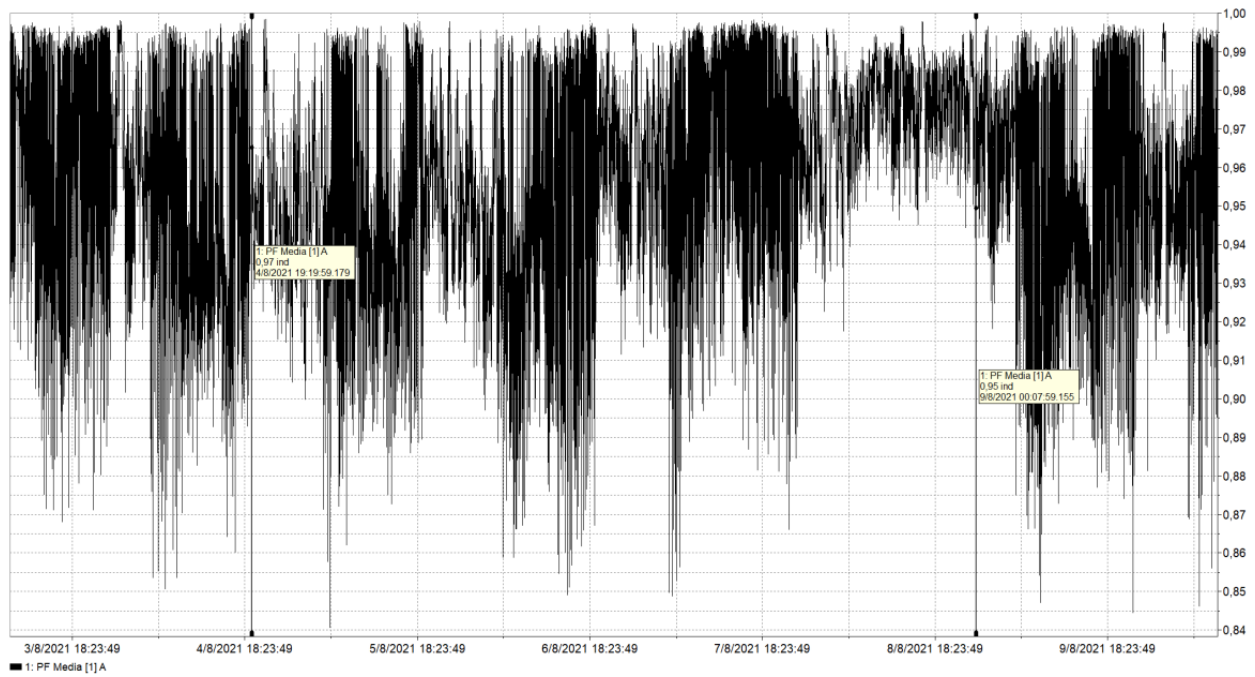


Figura B.2. Medición del factor de potencia.
Fuente: Ingeniería y Consultoría FERMA S.R.L.

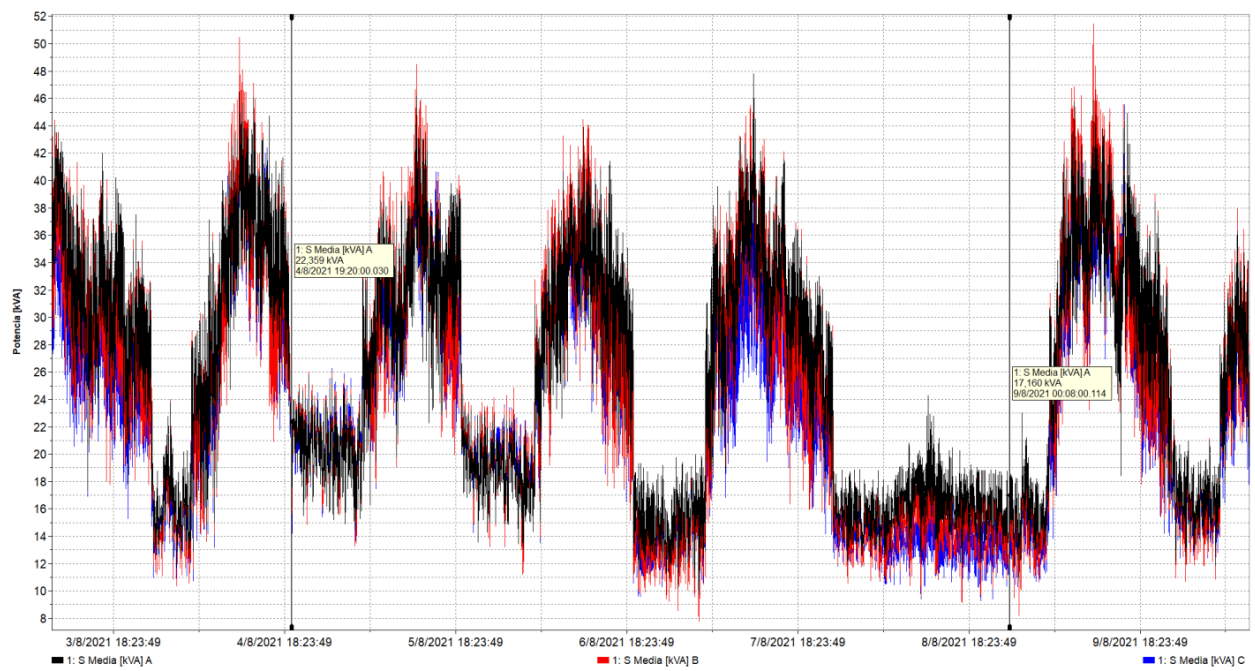


Figura B.3. Medición de consumo.
Fuente: Ingeniería y Consultoría FERMA S.R.L.

APÉNDICE C: PROTOTIPO DE MEDICIÓN



Figura C.1. Equipo de medición FLUKE 325.
Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones		
Corriente de CA	Rango	40,00 A/400,0 A
	Precisión	2 % ± 5 dígitos (45 Hz a 65 Hz) 2,5 % ± 5 dígitos (65 Hz a 400 Hz)
Corriente de CC	Rango	40,00 A/400,0 A
	Precisión	2 % ± 5 dígitos
Tensión de CA	Rango	600,0 V
	Precisión	1,5 % ± 5 dígitos
Tensión de CC	Rango	600,0 V
	Precisión	1,0% ± 5 dígitos
Resistencia	Rango	400,0 Ω/4,000 Ω/40,00 Ω
	Precisión	1,0 % ± 5 dígitos
Continuidad		≤ 30 Ω
Capacitancia		0 a 100,0 μF/100 μF a 1000 μF
Frecuencia		5,0 Hz a 500,0 Hz
Respuesta de CA		RMS de verdadero valor eficaz
Retroiluminación		Sí
Retención de valores en pantalla		Sí
Temperatura de contacto		De -10,0 °C a 400,0 °C (de 14,0 °F a 752,0 °F)
Mín./máx.		Sí
Dimensiones	H x W x D (mm)	207 x 75 x 34
	Máx. diámetro del cable	30 mm (600 MCM)
	Peso	283 g
Categoría de seguridad		CAT III 600 V CAT IV 300 V
Garantía		Dos años

Figura C.2. Especificaciones técnicas del FLUKE 325.

Fuente: FLUKE.

Tabla C.1. Resultados de monitoreo en tiempo real para la llenadora de chips.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

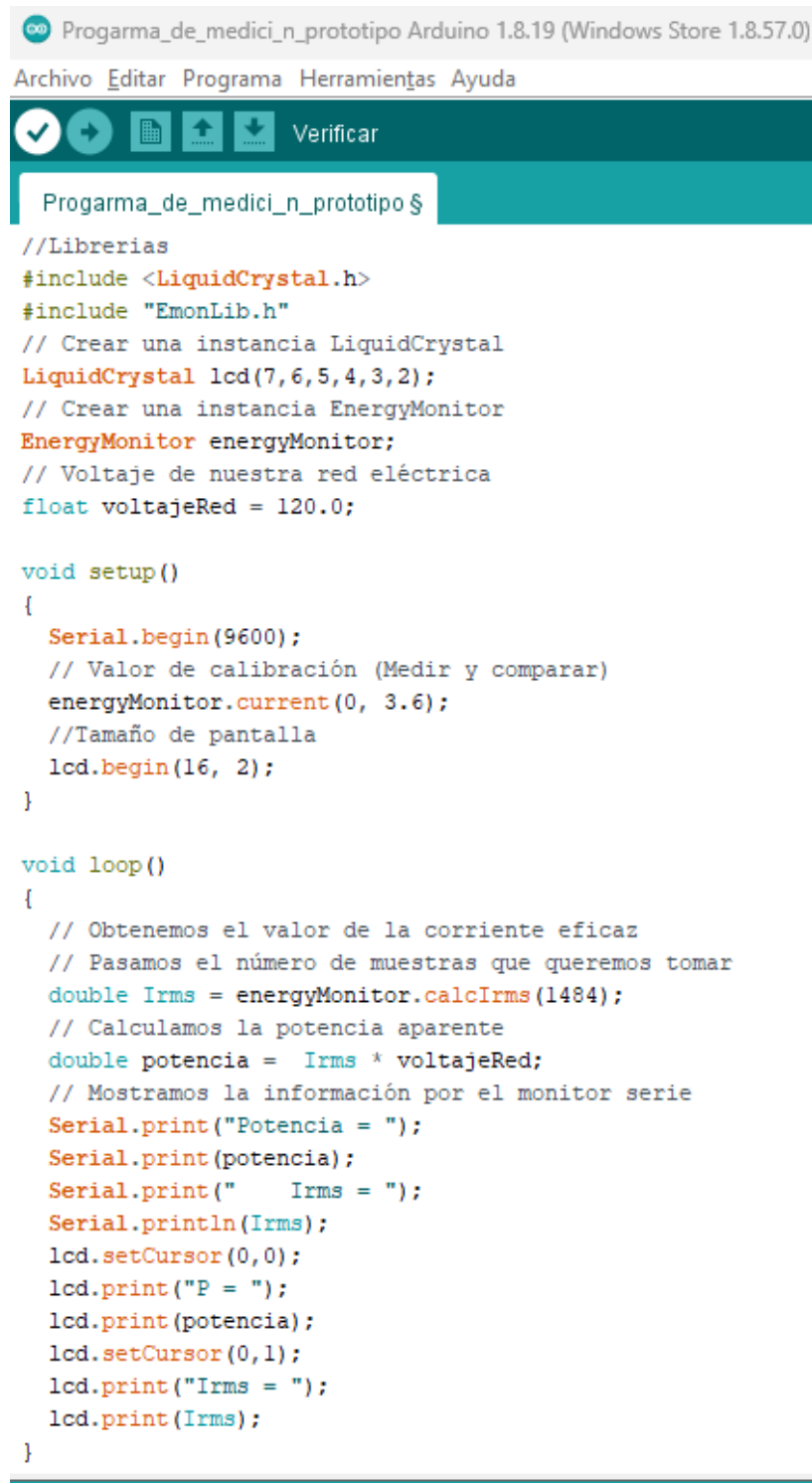
Hora de medición	Potencia con prototipo (kVA)	Potencia con FLUKE 325	Porcentaje de error (%)	Desviación estándar
9:00	1,52	1,50	1,38	0,01
9:05	2,18	2,43	10,08	0,17
9:10	2,50	2,62	4,71	0,09
9:15	2,18	1,98	9,77	0,14
9:20	2,47	2,57	3,81	0,07
9:25	2,12	1,86	14,04	0,18
9:30	1,21	1,35	10,54	0,10
9:35	2,36	2,43	3,05	0,05
9:40	2,94	2,72	8,35	0,16
9:45	1,09	1,11	1,05	0,01
9:50	1,08	0,95	13,44	0,09
9:55	2,00	2,23	10,53	0,17
Promedio resultante:			7,56	0,10

Tabla C.2. Resultados de monitoreo en tiempo real para el cuarto frío principal.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

Hora de medición	Potencia con prototipo (kVA)	Potencia con FLUKE 325	Porcentaje de error (%)	Desviación estándar
10:00	7,81	8,03	2,69	0,15
10:05	7,87	7,93	0,77	0,04
10:10	7,85	8,00	1,86	0,11
10:15	7,89	7,97	1,08	0,06
10:20	7,82	7,92	1,18	0,07
10:25	7,94	7,98	0,54	0,03
10:30	7,85	7,92	0,90	0,05
10:35	7,71	7,76	0,67	0,04
10:40	7,95	8,05	1,24	0,07
10:45	7,92	7,97	0,63	0,04
10:50	7,76	7,86	1,30	0,07
10:55	7,86	7,96	1,21	0,07
Promedio resultante:			1,17	0,09

Tabla C.3. Costo tarifario T-MT, cargo por energía por cada kWh.
Fuente: I.C.E

Periodo	Costo en colones	Horario
Periodo punta	70,40	10:01-12:30 y 17:31-20:00
Periodo valle	26,77	6:01-10:00 y 12:31-17:30
periodo nocturno	16,86	20:01-6:00



```
Progarma_de_medici_n_prototipo Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Verificar
Progarma_de_medici_n_prototipo $
//Librerias
#include <LiquidCrystal.h>
#include "EmonLib.h"
// Crear una instancia LiquidCrystal
LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2);
// Crear una instancia EnergyMonitor
EnergyMonitor energyMonitor;
// Voltaje de nuestra red eléctrica
float voltajeRed = 120.0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // Valor de calibración (Medir y comparar)
  energyMonitor.current(0, 3.6);
  //Tamaño de pantalla
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop()
{
  // Obtenemos el valor de la corriente eficaz
  // Pasamos el número de muestras que queremos tomar
  double Irms = energyMonitor.calcIrms(1484);
  // Calculamos la potencia aparente
  double potencia = Irms * voltajeRed;
  // Mostramos la información por el monitor serie
  Serial.print("Potencia = ");
  Serial.print(potencia);
  Serial.print("  Irms = ");
  Serial.println(Irms);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("P = ");
  lcd.print(potencia);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Irms = ");
  lcd.print(Irms);
}
```

Figura C.3. Código de programación para el prototipo de medición en tiempo real.
Fuente: Elaboración propia. Arduino IDE.

APÉNDICE D: LBES

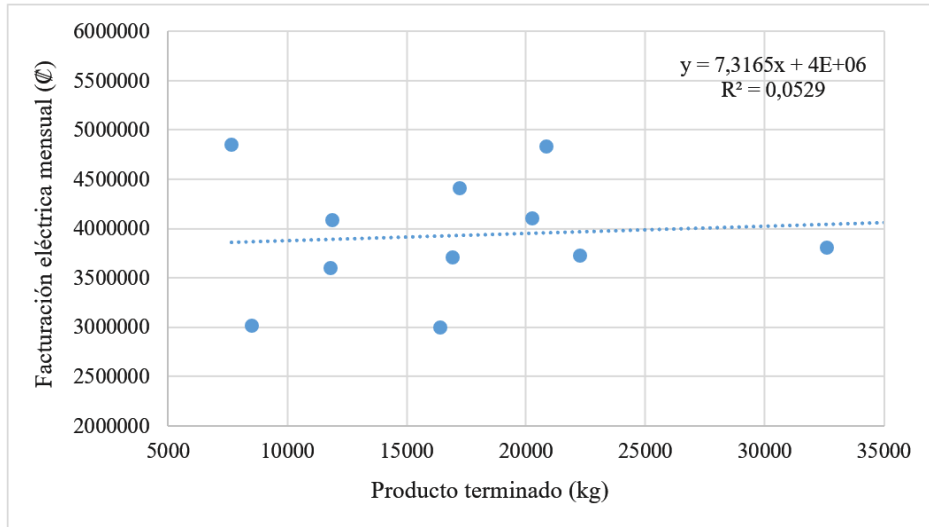


Figura D.1. Línea base energética, €/kg de producto terminado.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

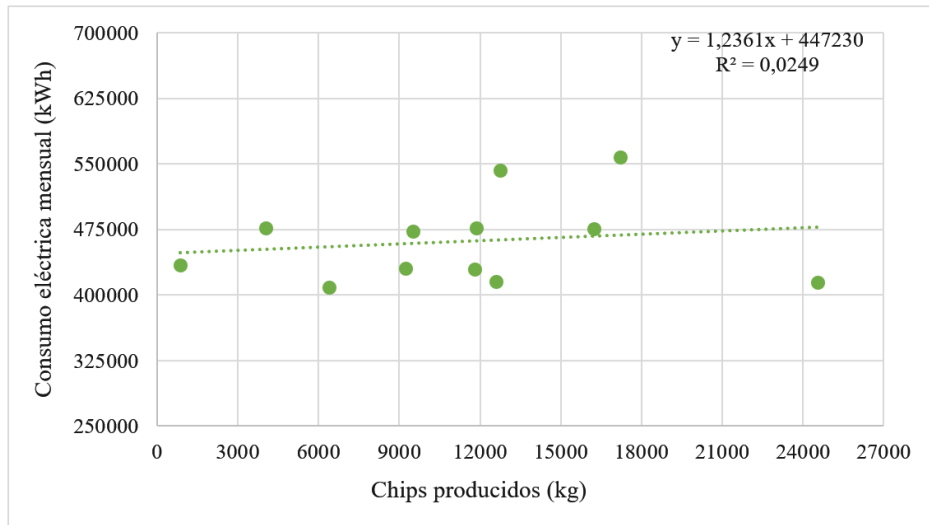


Figura D.2. Línea base energética, kWh/kg de chips producidos.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

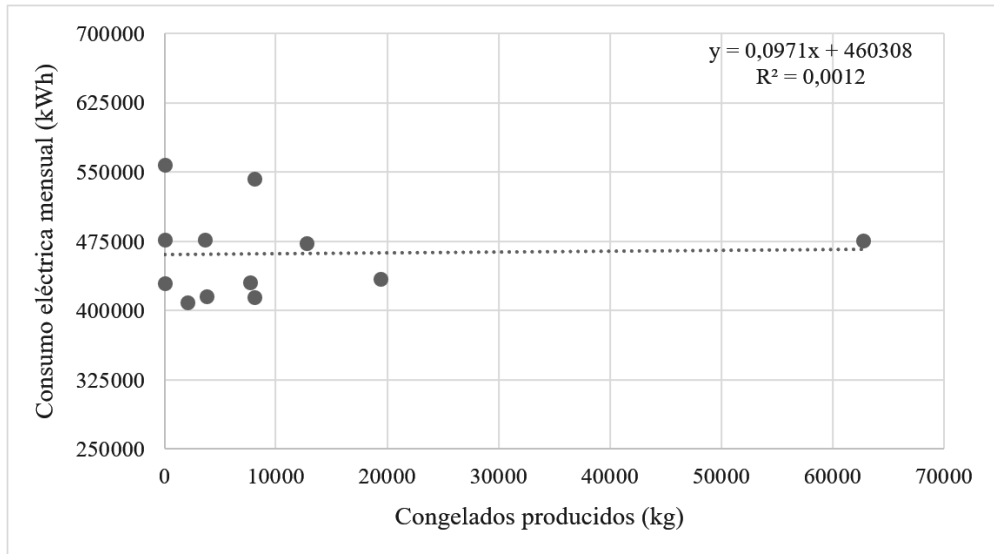


Figura D.3. Línea base energética, *kWh/kg de congelados producidos*.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

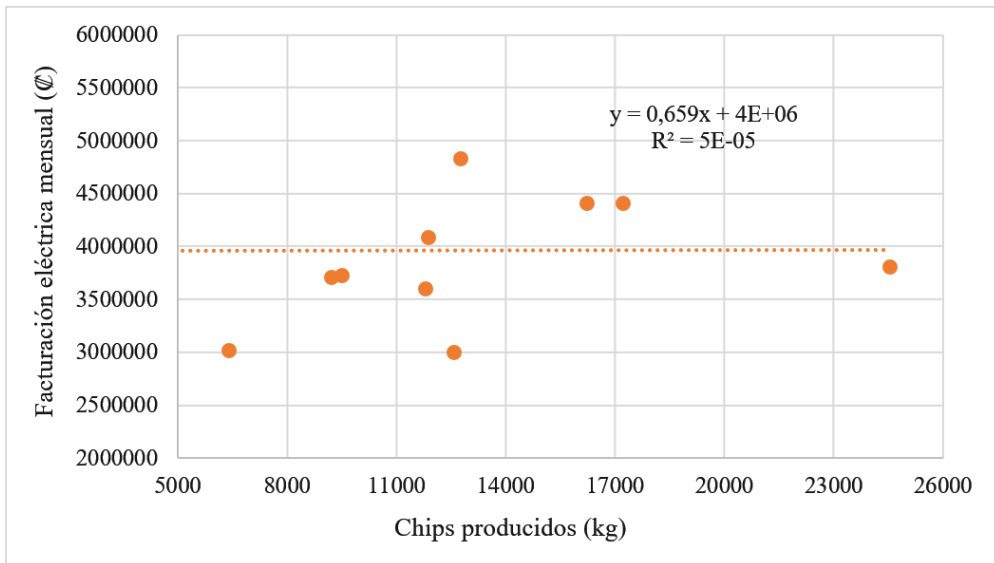


Figura D.4. Línea base energética, *€/kg de chips producidos*.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

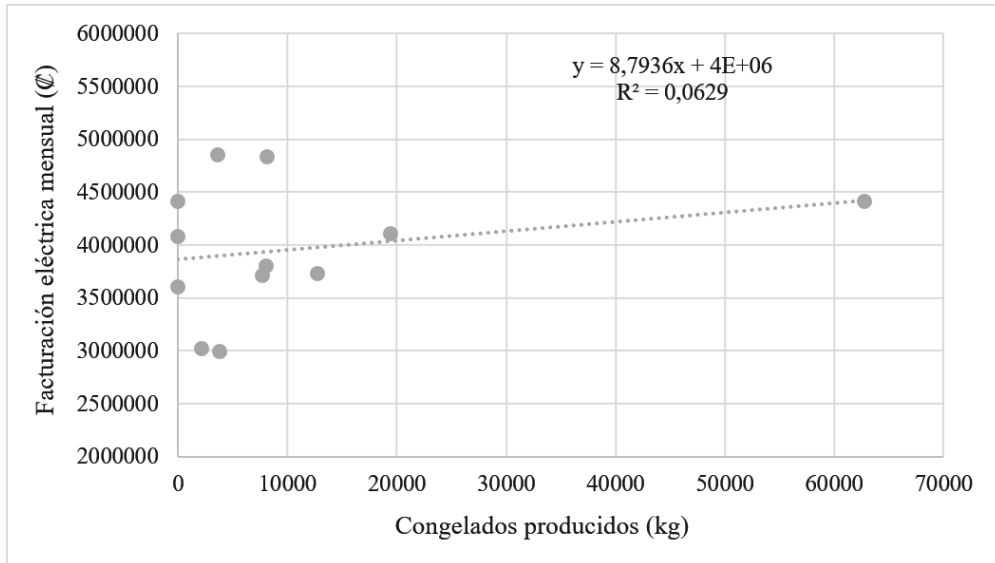


Figura D.5. Línea base energética, C/kg de congelados producidos.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

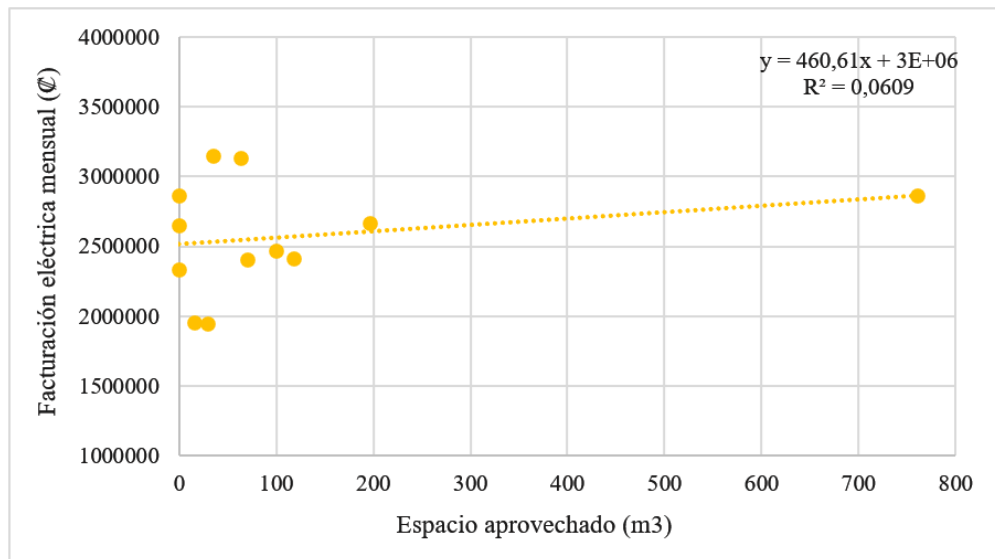
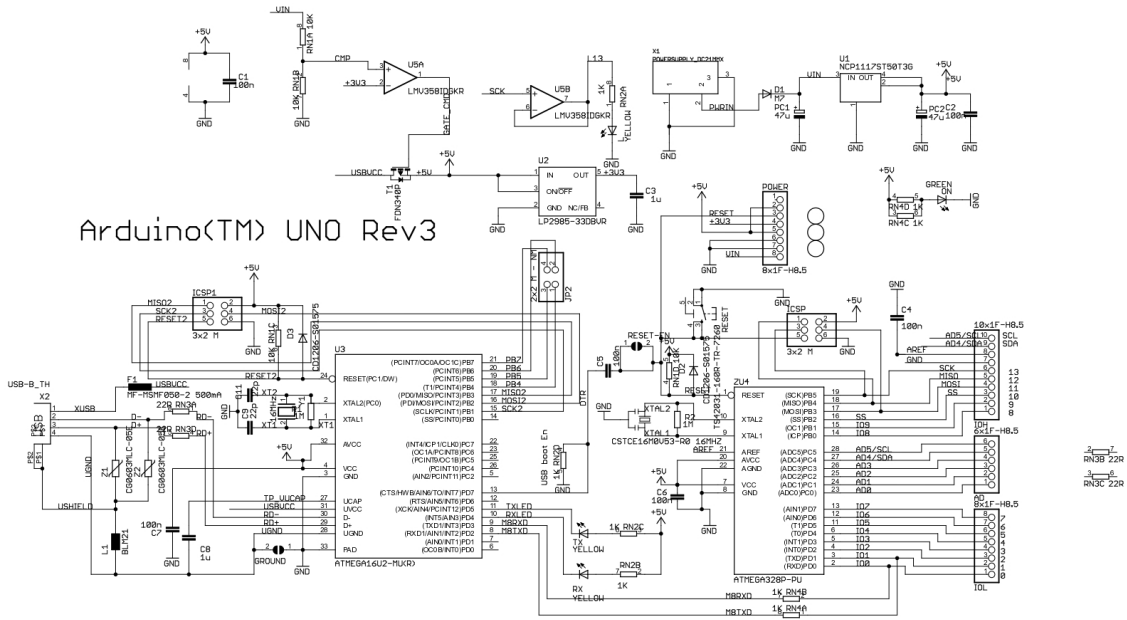


Figura D.6. Línea base energética, C/m³ de espacio aprovechado.
Fuente: Elaboración propia. Microsoft Excel.

APÉNDICE E: ANÁLISIS FINANCIERO



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer will not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark. Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

Figura E.1. Esquema Arduino UNO.
Fuente: CRCibernética.

0.333V Split core current transformer



model: SCT013

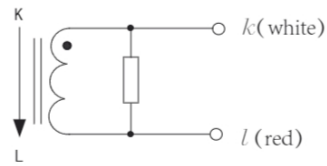
Characteristics:
 Split core, 0.333V output, Built-in with sampling resistance,
 leading wire 1 metre, standardΦ3.5 three core plug output.,
 (Patent no.: ZL 2015 3 0060067.X)



Technical index:

Suspended mounting, output with cable
 Operation temperature: -25℃ ~ +70℃
 Storage temperature: -30℃ ~ +90℃
 work voltage: ≤660V
 Work frequency: 50Hz-1KHz
 Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

Wiring schematic:



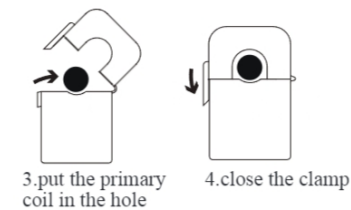
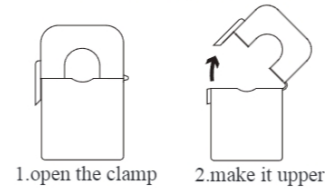
Voltage output type : Built-in with sampling resistance
 Voltage output type : not allowed secondary short circuit.
 When the plug without audio frequency,
 the white line is the end of the same name

Technical Parameters table:

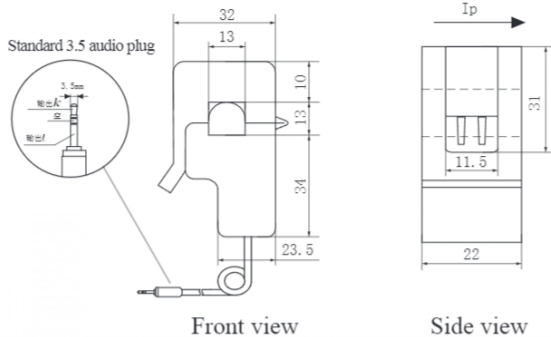
Rated Input(Effective value)	10 20 30 50 80 100 A	
measurement range	20%~120%	A
Rated output	0.333	V
Accuracy	1	%
Linearity	1	%
frequency	50~1K	Hz
weight	50	g
Order Format: model Input output Accuracy SCT013/xxA/0.333V/1%		
Noted: The rated current ≤100A are the standard product		

Installation Diagram

Primary coil through hole method



Outline size: (in:mm):



Standard three core plug schematic diagram

Figura E.2. Ficha técnica sensor SCT-013.
 Fuente: CRCibernética.



Price: **\$5.95**

SKU: LCD-CB0079

Current Stock: 42

Quantity:

 **ADD TO CART**



Product Description

This 1602A LCD display module is a 2 line 16 character LCD module with a manual contrast control knob, backlight and i2c communication interface.

The library that works with this display can be installed directly in the Arduino IDE Library Manager: LiquidCrystal I2C by Frank de Brabander.

Using the "HelloWorld" example sketch change the definition of the LCD to: `LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_address,16,2);`

The screen's address might vary, for that reason it could be useful to use the I2C_scan code available in this [link](#).

Specification:

Supply voltage: 5V

Interface: I2C

I2C address: 0x3F or 0x27

Pin definition: GND, VCC, SDA, SCL

Contrast adjust: potentiometer

White text, blue backlight

It is fantastic for based project

Screen size: 7cm x 2.3cm x .8cm

Mounting board size (including LCD): 8cm x 3.6cm x 2cm

Figura E.3. Ficha técnica pantalla LCD 16x2.

Fuente: CRCibernética.



1. Hora profesional:

Hora profesional:	₡ 37 700	<i>La Gaceta N° 224 del miércoles 23 de noviembre del 2022</i>
Valor (i) avalúos	36,211	<i>La Gaceta N° 224 del 23 noviembre de 2022 y La Gaceta N°3 del 11 de enero de 2023.</i>
Valor (i) Topografía	33,426	<i>La Gaceta N° 133, 13 de julio de 2022</i>

Montos mínimos para los Honorarios de Topografía y Agrimensura

Lote Destino Urbano	0,1m ² a 300 m ²	₡ 99 700
Lote Urbano	0,1m ² a 300 m ²	₡ 112 700
Lote Rural	1 000 m ² a 20 000 m ²	₡ 283 600

2. Salarios mínimos (Primer semestre 2023):

Bachiller Universitario:	₡ 626.828,55	<i>Según Decreto N°43849-MTSS, publicado en la Gaceta N° 245, del 23 de diciembre del 2022. Rige 01 de enero del 2023.</i>
Licenciado Universitario:	₡ 752.220,04	<i>Según Decreto N°43849-MTSS, publicado en la Gaceta N° 245, del 23 de diciembre del 2022. Rige 01 de enero del 2023.</i>

3. Porcentajes para cobro de honorarios:

	Tarifa Mínima	Tarifa de Remodelación
Estudios preliminares:	0,50 %	0,75%
Anteproyecto:	1,00 %	1,50%
Planos y especificaciones técnicas:	4,00 %	6,00%
Inspección:	3,00 %	4,50%
Dirección Técnica / Dirección de obra:	5,00 %	7,50%
Administración:	12,00%	18,00%

Figura E.4. Salarios para licenciatura en ingeniería.

Fuente: CFIA.

ANEXOS



Figura F.1. Levantamiento fotografico, empaquetado de chips.
Fuente: Elaboración propia. Advance Packing S.A.



Figura F.2. Levantamiento fotografico, proceso de congelados.
Fuente: Elaboración propia. Advance Packing S.A.