

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

**“Desarrollo de un Modelo de Gestión de Energía según la norma ISO
50001, a través de monitoreo basado en IoT en una PYME en Buenos
Aires de Puntarenas”**

**Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Ingeniero
en Mantenimiento Industrial, con el grado académico de Licenciatura**

REALIZADO POR:

Paul Alexander Moreno Arias

2018079276

COORDINADOR DE PRÁCTICA:

Ignacio Del Valle Granados

II SEMESTRE, 2021



Datos personales

Nombre completo: Paul Alexander Moreno Arias

Número de cédula: 117070368

Número de carné: 2018079276

Edad: 24 años

Números de teléfono: +(506) 62565871

Correos electrónicos: paulmoreno596@gmail.com paulimt@estudiantec.cr

Dirección exacta de domicilio: San José, Alajuelita.

Datos de las Empresas

Nombre: Panadería DeliPan

Actividad Principal: Venta y Fabricación de Pan

Dirección: Buenos Aires de Puntarenas

Contacto: Melvin Elizondo Mora

Teléfono: +506 8609 9598

Agradecimientos

Primero que nada me gustaría agradecer a mi madre Isabel por su apoyo incondicional en aquellas traspasadas en el semestre, eres la mejor. A mi hermana Belkis, por apoyarme en todo momento, y por aquellos momentos donde necesité un empujón.

Quiero agradecer al Ingeniero José Beita Cascante por el apoyo que me brindó en el desarrollo de este trabajo, pero también por ser un preciado amigo en quien he podido confiar.

A la Licenciada Dinia Águilar, quien fue una valiosa guía en la elaboración de este trabajo y como asesora industrial fue simplemente estupenda.

Al Sr. Melvin Elizondo por brindarme la oportunidad de realizar la práctica en su empresa, muchas gracias por la disposición y el apoyo que me brindaron él y su familia.

También a todos mis profesores del Tecnológico de Costa Rica que me enseñaron y me compartieron su conocimiento, así como a aquellos compañeros con los que compartí que fueron parte de esta travesía.

Índice de contenidos

Datos de las Empresas	2
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	9
Índice de Anexos	10
Tabla de Abreviaturas	11
Resumen Ejecutivo	12
Capítulo I. Generalidades	14
Detalles de la empresa	14
<i>Ubicación</i>	14
<i>Reseña de la Empresa</i>	14
<i>Misión y Visión</i>	14
<i>Estructura Organizacional</i>	15
Descripción de proceso productivo	15
<i>Etapa 1.</i>	15
<i>Etapa 2.</i>	17
<i>Etapa 3.</i>	17
<i>Etapa 4.</i>	18
<i>Etapa 5.</i>	19
Planteamiento del problema	20
.....	22
Establecimiento de Objetivos	22
<i>Objetivo General</i>	22
<i>Objetivos Específicos</i>	22
Justificación	23
Viabilidad	26
<i>Disponibilidad tecnológica</i>	26
<i>Disponibilidad de recursos financieros</i>	26

<i>Disponibilidad de recursos humanos</i>	27
<i>Disponibilidad de materiales</i>	27
Metodología	28
Alcance	30
Limitaciones	30
<i>Recurso humano</i>	30
<i>Recurso financiero</i>	31
<i>Confidencialidad</i>	31
Capítulo II. Marco Teórico	32
Energía	32
Máquinas	38
Normas	40
Cambio Climático	43
Capítulo III. Desarrollo	49
Modelo de Gestión de Energía	49
<i>Etapa Inicial</i>	49
<i>Contexto Organizacional</i>	49
Alcance	51
Alta Dirección	53
Política energética	54
Balance Energético	55
Determinación del Desempeño Energético	56
Equipos con Uso Significativo de Energía	58
Periodo de estudio	60
Indicadores de Desempeño energético	65
Líneas Base	68
Oportunidades de mejora	71
<i>Oportunidad 1</i>	72
<i>Oportunidad 2</i>	77
Modelo de Monitoreo	80
Programación	87

Etapa final.....	94
Capítulo IV. Cuadro de mando	99
<i>Perspectiva financiera</i>	100
Reducción del consumo de combustibles.....	101
Aumento de artículos producidos en horno Gas LP	101
Reducción de los productos devueltos	102
<i>Perspectiva del Cliente</i>	103
Unidades producto disponibles	103
<i>Perspectiva interna</i>	104
Tiempo de Mantenimiento.....	105
Eficiencia del proceso.....	106
<i>Aprendizaje e innovación</i>	106
Tiempo de Capacitación	107
Capítulo V. Análisis económico del Proyecto.....	110
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones	114
<i>Conclusiones</i>	114
<i>Recomendaciones</i>	115
Referencias bibliográficas	117
Anexos 0. Orientación para operación del SGen	122
Anexos 1. Facturas de Compra	133
Anexos 2. Programación del prototipo	136
Anexos 3. Conexiones recomendadas.....	138

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura organizacional.....	15
Figura 2. Batidora Industrial DYNASTY con capacidad de 40 kg.	16
Figura 3. Batidora Industrial DYNASTY con capacidad de 19L.....	16
Figura 4. Laminadora de pan.....	17
Figura 5. Fermentadora de pan.....	18
Figura 6. Horno gas LPG.....	19
Figura 7. Selladora de empaques.....	19
Figura 8. Diagrama del proceso.....	20
Figura 9. Triangulo del fuego.	31
Figura 10. Espira por la que viaja una corriente sometida a un campo magnético	36
Figura 11. Representación gráfica de la mejora continua en un SGen	38
Figura 12. Comparación de indicadores vs líneas base.....	42
Figura 13. ESP32-S2 mini, con entrada USB C.....	41
Figura 14. Esquemático del microcontrolador ESP32-s2.....	42
Figura 15. Diagrama de transmisión de bytes a través de I2C	43
Figura 16. Diagrama del circuito ACS71020.	44
Figura 17. Diagrama de bloques para la organización	52
Figura 18. Diagrama de Pareto del consumo de los equipos de la empresa.....	59
Figura 19. Gráfico de la energía eléctrica facturada por mes en la empresa.....	58
Figura 20. Consumo de Gas LP durante el periodo de estudio	59
Figura 21. Consumo de diésel durante el periodo de estudio.....	62
Figura 22. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.....	60
Figura 23. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.....	60
Figura 24. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.....	61
Figura 25. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.....	65
Figura 26. Línea base 1. Energía total consumida por la organización.....	65
Figura 27. Línea base 2. Energía Eléctrica consumida por unidades producidas en la organización.....	66

Figura 28. Línea base 3. Energía consumida por unidades producidas en la organización.	70
Figura 29. Línea base 2. Energía Eléctrica consumida por unidades producidas en la organización.....	71
Figura 30. Tablero de control actual del convertidor de fase actualmente.....	73
Figura 31. Panel de contactores y capacitores de convertidor de fase actual.....	73
Figura 32. Motor Trifásico bobinado 230 V, 5,5 kW. Utilizado para generar fase fantasma, con eje descubierto	74
Figura 33. Diagrama de patillas del circuito ACS71020.....	82
Figura 34 . Diagrama de conexiones para CI ACS71020 con protocolo I2C	81
Figura 35. Diagrama de circuito para soldar ACS71020.....	82
Figura 36. Detalle de Circuito impreso y CI ACS71020.....	83
Figura 37. Detalle del prototipo de medición en tiempo real.	84
Figura 38. Cuadro de configuración de las variables eléctricas para ser visualizadas	87
Figura 39. Visualización de las variables eléctricas.	87
Figura 40. Visualización de las variables eléctricas.	88
Figura 41. Visualización de la energía de forma diaria.....	92
Figura 42. Visualización de la energía de forma mensual.....	92
Figura 43. Visualización de las horas de forma diaria	90
Figura 44. Visualización del uso en horas de manera mensual	91
Figura 45. Formulario de ingreso cantidad de energía o combustible comprado.....	93
Figura 46. Formulario de ingreso de la cantidad de unidades producidas	94
Figura 47. Detalle de los consumos y producción en formato tabular	95

Índice de Tablas

Tabla 1. Planteamiento del problema según debiera, desviación y realidad	22
Tabla 2. Cuadro de metodología.....	29
Tabla 3. Lista de equipos en la organización.....	57
Tabla 4. Resúmenes de consumos vs costo de la tarifa eléctrica en un periodo de un año ..	60
Tabla 5. Detalle de los indicadores de desempeño energético	64
Tabla 6. Medición de los indicadores de desempeño energético en la empresa	64
Tabla 7. Materiales necesarios para implementar la Oportunidad de mejora I.....	71
Tabla 8. Consumo de combustible total durante el periodo establecido	72
Tabla 9. Resumen uso de horas de uso de los equipos y costos actuales.	76
Tabla 10. Detalle de uso si se usara el horno Gas LP con mayor frecuencia	76
Tabla 11. Detalle de los costos de implementación de la oportunidad I	77
Tabla 12. Lista de materiales para el diseño del prototipo.	79
Tabla 13. Análisis FODA para el enfoque del proyecto SGE en el modelo del negocio.....	97
Tabla 14. Cuadro de mando integral propuesto.....	105
Tabla 15. Detalle de los costos de las normas usadas en el proyecto.....	107
Tabla 16. Detalle de los costos relacionados con las oportunidades de mejora halladas. ..	107
Tabla 17. Costos asociados a profesionales por realización de este proyecto.....	108
Tabla 18. Flujo de efectivo propuesto para el proyecto	111
Tabla 5. Detalle de los indicadores de desempeño energético	126
Tabla 6. Medición de los indicadores de desempeño energético en la empresa	127

Índice de Anexos

Anexo 1.1. Cotización de implementos eléctricos necesarios para la elaboración de las oportunidades de mejora.....	133
Anexo 1.2. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.....	133
Anexo 1.3. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.....	134
Anexo 1.4. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.....	134
Anexo 1.5. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.....	135
Anexo 1.6. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.....	135
Anexo 2. 1. Extracto del código desarrollado para programar el microcontrolador. Se observa la conexión que se realiza a la conexión con la red	136
Anexo 2.2. Extracto del código implementado donde se observa la lectura de la memoria del ACS71020.....	136
Anexo 2.3. Extracto del código implementado donde se observa la publicación de las lecturas al servidor de MQTT.....	137
Anexo 3.1. Disposición de resistencia recomendada si se utiliza fuente aislada	138
Anexo 3.2 Disposición de resistencia recomendada si se utiliza fuente no aislada	139

Tabla de Abreviaturas

A.D:	Alta dirección.
AMQP:	Advanced Message Queuing Protocol.
AREPSEP:	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.
CENSE:	Centro Nacional de Control de Energía.
CI:	Circuito Integrado.
ENREI:	Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes.
Gas L.P.:	gas Licuado de Petróleo.
IBM:	International Business Machines
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad.
IDE:	Integrated Development Environment
INTECO:	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
IoT:	Internet de las cosas.
ISO:	Organización Internacional de Estandarización.
MGen:	Modelo de Gestión de Energía
MQTT:	Message Queing Telemetry Transport.
OCE:	Oportunidad de conservación de energía.
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
PND:	Plan Nacional de Descarbonización.
PYME:	pequeña y mediana empresa.
SCL:	Serial Clock.
SDA:	Serial Data.
SGEN:	Sistema de Gestión de Energía.
SOICW:	Small Outline Integrated Circuit Wide.
UART:	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.
USE:	Usos Significativos de Energía.
TIR:	Tasa Interna de Retorno.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo se desarrolló en la PYME llamada “DeliPan” cuyo modelo de negocios se centra en la elaboración de productos panificados, esta presenta la necesidad de determinar el desempeño energético clave para la competitividad de la empresa, por lo que se parte con la guía de la norma ISO 50001:2018 para tal fin.

Primeramente, se elaboró una lista de los equipos participantes en el proceso productivo para poder realizar un balance energético usando los datos de placa de los equipos y haciendo mediciones con un amperímetro y cálculos posteriores, con lo que se determinó que los hornos son los equipos que presentan la mayor carga de consumo, tanto en energía eléctrica como en combustible.

Posteriormente, se determinaron los indicadores de desempeño energético del negocio más relevantes para mantener una trazabilidad como parte de la mejora continua que sostiene la norma para un modelo de gestión de energía, lo que llevó a la elaboración de una política energética.

Seguidamente, se encontraron aquellas oportunidades de mejora, en cuanto a la conservación de la energía siendo la más prominente, el mantenimiento correctivo del horno que funciona con gas LP, pues esta se traduce en una potencial ganancia muy significativa para el negocio, asimismo se recomienda el rediseño del convertidor de fase usado en la empresa.

Luego, se desarrolló un prototipo de un medidor en tiempo real de las variables eléctricas relevantes para el equipo con el uso más significativo de energía, para lo cual se

usó un microcontrolador ESP32 S2 mini y un circuito integrado ACS71020, con el que se puede llevar un control del tiempo de uso y un consumo eléctrico del equipo en una plataforma en línea.

Finalmente, se elabora un flujo de efectivo para evaluar la rentabilidad del proyecto, rescatando que se trata de una PYME; la estrategia de venta se centra en un bajo costo y cortos periodos de recuperación, en este caso, 2 años con una tasa de retorno de 54% en un horizonte de inversión de 5 años.

Palabras Clave: Tiempo real, PYME, ESP32 Mini, balance energético, desempeño energético, Norma ISO 50001, gestión de energía.

Capítulo I. Generalidades

Detalles de la empresa

Ubicación

Panadería DeliPan: La panadería DeliPan se encuentra en el cantón de Buenos Aires de la provincia de Puntarenas, 100 metros este y 200 metros sur de la clínica de Buenos Aires.

Reseña de la Empresa

La PYME *Panadería DeliPan* fue creada en el seno de la familia Elizondo Mora y tiene la finalidad de sostener la familia produciendo delicioso pan y repostería de alta calidad, con más de 20 años de existir, la PYME ha tenido un crecimiento notable, pues ahora se encarga de distribuir sus productos entre los distintos puntos de venta que comercializan el pan en la localidad de Buenos Aires de Puntarenas.

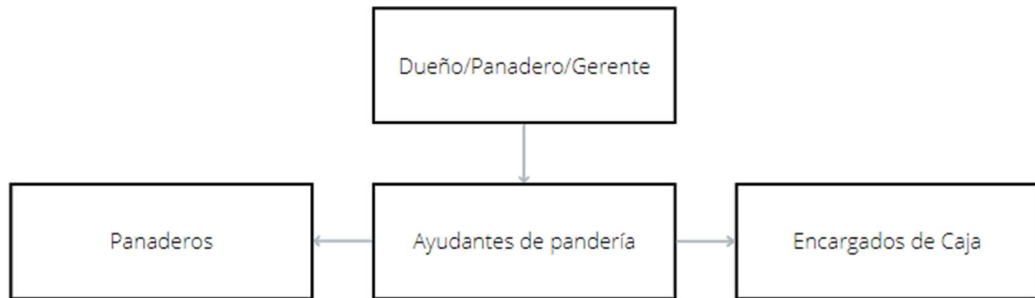
Misión y Visión

Panadería DeliPan: “Elaborar y comercializar productos de pan de la mejor calidad para asegurar el bienestar de los clientes, manteniendo la mira hacia la innovación y mejora para asegurar el compromiso con la comunidad”

La fuerza laboral que impulsa el negocio proviene de la misma familia, las labores de cada persona son muy variadas y cambian constantemente.

Estructura Organizacional

Figura 1. Estructura organizacional.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Descripción de proceso productivo

La PYME elabora una clase de productos que se puede describir como “pan” de forma general; sin embargo, elaboran varios tipos, dentro de los que se pueden mencionar: “melcochón tradicional”, repostería salada y dulce y encargos particulares que se elaboran como es el caso de los pasteles.

Dependiendo del producto que se va a elaborar en el día, se alistan los ingredientes, pues la mayoría de las elaboraciones tienen un proceso similar.

Etapas I.

Primero, se debe alistar la mezcla de harina con los demás ingredientes y batirlos utilizando la batidora industrial hasta llegar al punto específico para el tipo de producto.



Figura 2. Batidora Industrial DYNASTY con capacidad de 40 kg.

Fuente: Dynasty (2022).



Figura 3. Batidora Industrial DYNASTY con capacidad de 19L.

Fuente: Dynasty (2022).

Etapa 2.

Se pasa la pasta (de harina) por una laminadora de masa, encargada de dar la consistencia y la forma dependiendo del tipo de pan.



Figura 4. Laminadora de pan.

Fuente: Dynasty (2022).

Etapa 3.

Para aquellos productos que así lo requieren, se dejan crecer las masas preparadas en la fermentadora por el tiempo necesario.



Figura 5. Fermentadora de pan.

Fuente: Hengel (2022).

Etapa 4.

El proceso de horneado depende de cada uno de los productos, por lo que se hornean por turnos, de acuerdo con el producto que se esté preparando.



Figura 6. Horno gas LPG.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Etapa 5.

Si los productos son para ser distribuidos, se procede con una etapa de empaque o dependiendo de los productos, estos se decoran y se empacan.



Figura 7. Selladora de empaques.

Fuente: ElectroMAZ (2022).

El proceso se puede ver de forma gráfica en la figura 7. El proceso de elaboración puede tener algunas modificaciones, dependiendo de los rellenos o de los lustres que se le apliquen, ya que estos pueden necesitar un proceso paralelo a la elaboración del pan.

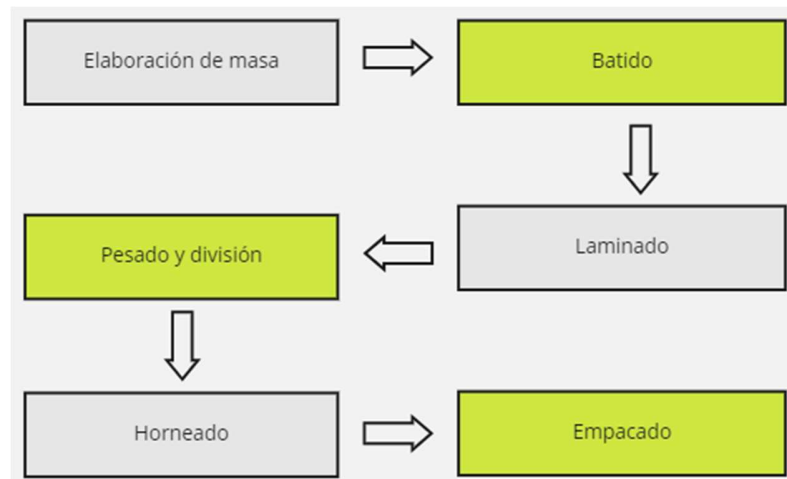


Figura 8. Diagrama del proceso.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Planteamiento del problema

Al no haber una medición del desempeño energético en la PYME según la eficiencia, el uso y el consumo de energía se desconoce y el costo energético en el proceso productivo puede afectar la competitividad de la empresa.

El desconocimiento del desempeño energético afecta la toma de decisiones informada por parte de la empresa, entorno al establecimiento y cumplimiento de objetivos decisivos para la empresa. El vacío de conocimiento no deja identificar aquellas áreas de alto consumo energético y tomar acciones en las actividades que tengan oportunidad de mejora, evitando

ahorros de energía y de dinero (Swiatek & Imbault, 2017). En la tabla 1 se observa un resumen del planteamiento del problema.

Al no conocer el desempeño energético según el uso y la eficiencia energética, de acuerdo con Nepal *et al.* (2021) también se desconoce el impacto adverso al ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, siendo esencial en este aspecto, apearse a la visión del país (Plan de Descarbonización 2018-2050) con los compromisos para apelar el cambio climático.

Al medir el desempeño energético se pueden usar tecnologías basadas en el internet, de las cosas que permiten la innovación y el monitoreo en tiempo real.

		Dato suministrado	Referencia
Debiera	Medir el desempeño energético a través de las variables: Eficiencia energética, uso y consumo de energía por m ² cuyas metas se adecuan al contexto operacional de la empresa.	Indicador de desempeño energético encontrado: 34.78kWh por metro cuadrado.	(Li <i>et al.</i> , 2019)
Desviación	Al no medir el desempeño energético mediante el uso, consumo y eficiencia energética, se desconoce el costo de energía por unidad producida, generando un impacto financiero que puede afectar la competitividad del negocio, además, tampoco es posible tomar decisiones informadas acerca de los procesos productivos para poder establecer y cumplir objetivos claves para el negocio.		

Realidad	No hay evidencia de medición del desempeño energético.	Desconocido	PYME
-----------------	--	-------------	------

Tabla 1. Planteamiento del problema según debiera, desviación y realidad.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

Establecimiento de Objetivos

Objetivo General

Determinar el desempeño energético según el uso, consumo y eficiencia energética como parte del desarrollo de un modelo para la gestión de energía y monitoreo basado en IoT, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 50001 en una PYME en Buenos Aires de Puntarenas.

Objetivos Específicos

Objetivo Específico 1. Diagnosticar la situación energética para la identificación de los Usos Significativos de Energía (USE), mediante un balance energético.

Indicador de logro. Balance de energía y USE.

Objetivo Específico 2. Establecer las líneas base de energía e indicadores energéticos para la medición del desempeño de la energía en la PYME, utilizando la norma ISO 50006:2014.

Indicador de logro. Indicadores de desempeño y líneas base de energía.

Objetivo Especifico 3. Desarrollar un prototipo de monitoreo de energía para medición del consumo energético de los equipos de mayor impacto financiero, utilizando IOT y microcontroladores ESP32.

Indicador de logro. Prototipo funcional.

Objetivo Especifico 4. Elaborar un análisis económico para la justificación de la rentabilidad del proyecto, a través de un flujo de efectivo de proyectos de inversión.

Indicador de logro. Prototipo del MGE y Estudio económico que justifica la rentabilidad al implementar un sistema de gestión energética.

Justificación

El modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001 que se desarrolla como parte de este proyecto, tiene la finalidad de proveer a la organización de información valiosa sobre el uso y consumo energético de sus procesos productivos mediante el uso de indicadores de consumo específico de energía para identificar los puntos potenciales de mejora en la eficiencia energética (Lawrence *et al.*, 2019) poniendo para ese fin, metas y objetivos, así como los plazos necesarios para cumplirlos.

Uno de los aspectos de mayor interés en los sistemas de gestión energética es la eficiencia energética, ya que busca reducir los costos que se transforman en ahorros significativos según Papageorgiou *et al.* (2018) y Yayan *et al.* (2022).

El modelo de gestión energética basado en la norma ISO 50001 planteado puede ser utilizado por las empresas como un esfuerzo efectivo para mejorar el desempeño energético

(Yayan *et al.*, 2022), teniendo en cuenta que una arista importante del sistema de gestión de energía es el cambio climático, ya que la gestión energética se ha convertido en una de las formas más importantes para frenar el cambio climático (Papageorgiou *et al.*, 2018).

La agencia de eficiencia energética y de energías renovables (2022) indica que la eficiencia energética es primordial para producir un bien, utilizando menos energía y considerando la eficiencia energética como una de las formas más sencillas de apelar el cambio climático.

El desarrollo del modelo de gestión de energía se alinea con planes y estrategias nacionales para mejorar la eficiencia energética y mitigar el impacto climático de las operaciones, tal es el caso del Plan Nacional de Descarbonización (PND) 2018-2050 que dentro sus ejes transversales, específicamente el número seis, indica que quiere lograr la: “Modernización del sector industrial a través de la aplicación de procesos eléctricos, sostenibles y eficientes, así como tecnologías, bajas y cero emisiones”.

Por otro lado, a partir del 2021 se estableció la Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes (ENREI) 2021-2031 cuyo eje transversal número tres, menciona la iniciativa para la participación por parte de los usuarios de la red eléctrica, a gestionar su propia energía.

Además, el Plan Nacional de Expansión de Generación Eléctrica (2020-2035) centrada en el contexto energético actual del país, establece como eje transversal número 1: “la senda de la eficiencia”, donde apunta por el aumento de la eficiencia por parte de la demanda (los usuarios de energía) y la oferta (los proveedores de energía), a partir de esto, cabe notar que el desempeño energético no hace referencia únicamente al consumo, uso y

eficiencia de la energía eléctrica, sino que según Li *et al.* (2019) tiene que ver con todas las fuentes de energía que use la empresa en su proceso productivo, por lo que el balance energético contempla los consumos energéticos de otras fuentes.

De acuerdo con Chen *et al.* (2021), el uso de la tecnología representa un grado de innovación que se dirige a permitir que se pueda lograr algún grado de eficiencia energética, por lo que, con la finalidad de poder adquirir información del consumo, uso y eficiencia energética, se pretende desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real para trazar las variables más críticas, según los indicadores establecidos para el modelo de gestión energética, mediante el uso de la tecnología del internet de las cosas (IoT) que se han usado para monitorear el consumo y para ahorrar energía (Elsisi *et al.*, 2021) y que además, permite verificar el estado del consumo energético sin tener que estar en el sitio.

Lo anterior partiendo del diseño de un prototipo aplicado al equipo más crítico y si es de interés de la empresa a aquellos equipos que sean de interés particular, mediante el uso de sensores teniendo en consideración: la precisión del sensor, la ubicación y la forma en la que se muestrea la información (Guzhov y Krolin, 2018); almacenando los datos para tener un histórico y llevar el control del proceso de mejora continua (Krishnan y Jacob, 2022).

El uso de la tecnología IoT permite obtener un alto grado de control sobre los recursos, pues brinda información valiosa para decidir en el momento (Krishnan y Jacob, 2022).

Para el diseño del prototipo de medición se toma en cuenta, la parte de recolección de datos que incluye los sensores, además de la plataforma en la nube que se usa para

almacenar, analizar y desplegar los datos que se toman, dicha plataforma se diseña como parte del prototipo, pues existen opciones de plataformas IoT, pero son de suscripción bajo paga (Terroso-Sáenz *et al.*, 2019).

La búsqueda de la eficiencia energética, según Chen *et al.* (2021) es un proceso que implica innovación y que busca la reducción del consumo energético mediante la mejora de la eficiencia, usando la tecnología, por lo que un prototipo de monitoreo como parte del modelo de gestión energética, brinda un perfecto uso de la tecnología para tal fin.

Viabilidad

Disponibilidad tecnológica

El uso de la tecnología se vuelve esencial para la medición de variables claves para el modelo de gestión energética y los componentes que se usan son de fácil acceso en el mercado nacional o internacional.

Disponibilidad de recursos financieros

Se implementa el modelo de gestión de energía, de modo que sea rentable para la organización utilizando los materiales que cumplan con el estándar de calidad, pero de mejor precio, así como el uso de Arduino y sistemas baratos.

Disponibilidad de recursos humanos

Los colaboradores son una parte esencial, pues conocen el funcionamiento de los procesos productivos y pueden brindar información muy valiosa y comprometerse con la mejora continua.

Disponibilidad de materiales

El modelo de gestión energética se basa en la norma 50001 que brinda una serie de pasos para poder realizar un proceso de mejora continua; las normas ISO 50006 y ISO 50002 para efectos de los indicadores y líneas base y finalmente, todos los datos relacionados con la facturación que puedan brindar información sobre el consumo energético de la empresa.

Metodología

Objetivo específico planteado	Actividad por realizar	Resultados esperados
<p>Objetivo específico 1. Diagnosticar la situación energética para la identificación de los Usos Significativos de Energía (USE), mediante un balance energético.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de la información del proceso productivo. • Elaborar balance de energía. • Determinar los procesos con USE. 	<p>Balance energético, respectivos gráficos.</p>
<p>Objetivo específico 2. Establecer las líneas base de energía e indicadores energéticos para la medición del desempeño de la energía en la PYME, utilizando la norma ISO 50006:2014.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar la revisión de energía. • Estudiar el consumo de energía. • Definir los indicadores de eficiencia relevantes. • Definir las líneas base para relacionar los indicadores energéticos. • Estudiar las oportunidades de mejora. 	<p>Indicadores de uso, consumo y eficiencia definidos para la organización, así como un plan de mejora.</p>
<p>Objetivo específico 3. Desarrollar un prototipo de monitoreo de energía para medición del consumo energético de los equipos de mayor impacto financiero, utilizando IoT y microcontroladores ESP32.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el equipo más crítico que significa el mayor impacto financiero. • Establecer las variables y sensores para medir. • Construcción del prototipo de medición en tiempo real. • Elaborar la plataforma para visualizar datos. 	<p>Un prototipo funcional de monitoreo en tiempo real que muestre los datos al usuario.</p>
<p>Objetivo específico 4. Elaborar un análisis económico para la justificación de la rentabilidad del proyecto, a través de un flujo de efectivo de proyectos de inversión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un prototipo de sistema digital de gestión de energía mediante la herramienta Vue. • Determinar los costos de los materiales del prototipo. • Realizar el estudio de costo de implementar el proyecto. • Contrastar los costos con las ganancias previstas. 	<p>Prototipo del MGE. Estudio económico que justifica la rentabilidad al implementar un sistema de gestión energética.</p>

	<ul style="list-style-type: none">• Elaborar un informe justificando los indicadores económicos.	
--	--	--

Tabla 2. Cuadro de metodología.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Alcance

Mediante la realización de este proyecto se desea determinar el uso, consumo y eficiencia energética de la organización para producir un impacto sobre la competitividad de la empresa y contribuir con el medio ambiente de manera positiva, de acuerdo con los objetivos de la empresa, estableciendo nuevas metas energéticas como parte de la mejora continua.

También, se diseña un prototipo para la medición de las variables que afectan el desempeño energético de la empresa, enfocándose en aquel equipo más crítico de la organización, para ello, se usaran los sensores adecuados y se diseñará la interfaz de usuario, para que la información pueda ser visualizada e interpretada.

Limitaciones

Recurso humano

La resistencia al cambio por parte de los colaboradores de la empresa puede convertirse en una limitante ya que, en sí, se deben tomar compromisos para la mejora continua, pero muchas de las acciones para mejorar están en manos de los colaboradores, que por ser nuevas ideas pueden estar reticentes al cambio.

Por otro lado, dependiendo de la de organización existen algunas tareas no documentadas que se realizan de manera empírica y por eso, se tiene una dependencia del conocimiento de un colaborador particular y de la disponibilidad de este.

Recurso financiero

Mediante la realización de este proyecto se desea implementar un prototipo para la medición del consumo y uso del equipo más crítico que representa los mayores ingresos, para ello se usa una serie de sensores, un micro controlador y un servidor para alojar la interfaz de usuario, traduciéndose en costos para la empresa.

La intención es que la implementación del sistema de gestión sea rentable, por eso se buscan los elementos electrónicos o electromecánicos óptimos que mantengan la razón de calidad-precio.

Confidencialidad

En términos de confidencialidad existen datos sobre ingredientes, recetas o procedimientos que sean secretos o no pudieran ser publicados o utilizados como parte de este trabajo; sin embargo, este no es el caso particular en la extensión del trabajo, pues se tiene acceso a la información y se trabajará con la información relevante para el proyecto.

Capítulo II. Marco Teórico

Energía

El MGEN tiene como eje fundamental la energía, la cual es una característica numérica que describe a un sistema (Crowell, 2016). Los sistemas pueden ser de varios tipos: cerrados, cuando la única forma de transferencia de energía desde o hacia el sistema es el calor o abierto, cuando se da transferencia por medio de calor o trabajo y en este caso, se dice que se tiene un volumen de control para poder analizar los flujos de energía; la energía total de un sistema se obtiene sumando todas las contribuciones de energía, según las condiciones del sistema.

La energía se divide en dos grupos: en primer lugar, la microscópica relacionada con la estructura molecular y el grado de actividad, esta no se afecta por el marco de referencia y, por otro lado, la macroscópica que se debe a los efectos de la materia como un todo respecto de un marco de referencia.

La energía cinética está relacionada con la velocidad del cuerpo y la energía potencial asociada a la posición dentro de un campo gravitacional; la energía total del sistema es la suma de la potencial y de la cinética más la energía interna.

Existen muchas fuentes de energía como los combustibles fósiles, las fuentes hídricas, el sol o el viento que mediante distintos procesos mecánicos se puede convertir en energía en otras formas.

La energía eléctrica representa el 17% de la energía utilizada en la industria según un balance energético realizado por Zarate y García (2016). La generación de la

electricidad proviene de varias fuentes; en Costa Rica, la matriz energética para el 2021 era 99.92% proveniente de energías renovables según el CENSE (2022). Es común encontrar en la industria, el uso de combustibles fósiles, tal es el caso del uso de Diesel o Bunker para el funcionamiento de las calderas u hornos para la preparación alimenticia.

Típicamente, una de las formas en la que se elabora el producto en las PYMES es mediante el uso del calor que como se sabe: “es la forma de energía que se puede transferir, cuando existe una diferencia de temperatura”.

El calor se utiliza como mecanismo para preparar ciertos productos, lo más común es usar el calor para cocinar alimentos, es por ello, por lo que se necesita tener formas de generar el calor, una forma muy común es mediante el uso de las resistencias que mediante el flujo de corriente producen calor, además, es una forma de convertir la energía eléctrica en energía térmica.

Otra forma muy común de obtener calor es mediante la combustión. La combustión se describe como una reacción exotérmica normalmente expresada según el triángulo del fuego en la figura 9.

La combustión necesita de un combustible, es decir, de cualquier sustancia que es susceptible a ser mezclada con un oxidante; un oxidante es la sustancia que toma electrones del combustible reduciéndolo y una fuente de energía es la que activa la reacción en cadena y como resultado de la reacción se obtiene luz y calor, más otros productos no deseados, como CO₂ (Gandarillas, 2016).

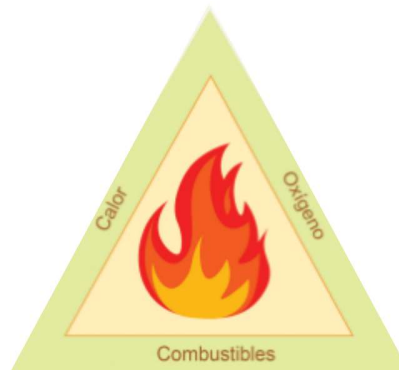


Figura 9. Triángulo del fuego.

Fuente: López Cruz *et al.* (2022).

El estudio de la energía está fundamentado en el principio de conservación de la energía que se puede describir como la primera Ley de la Termodinámica que estipula que, la energía no puede ser creada o destruida, sino que cambia de forma, visto como un balance de energía, entonces el cambio neto en la energía total del sistema es igual a la diferencia entre la energía que entra al sistema menos la que sale de él durante un proceso. La transferencia de energía desde o hacia el sistema se puede dar por varios vehículos, ya sea masa, trabajo o calor.

Por un momento, es necesario enfocarse en el calor, ya que es una de las formas por excelencia en la que se disipa la energía, además la energía térmica es una de las que menos tiene calidad para ser transformada (Çengel y Boles, 2016).

Cuando se habla del flujo de calor como mecanismo de transporte de energía se debe hablar de las formas que el flujo de calor toma, a saber: **Conducción:** Este fenómeno ocurre cuando la energía se transfiere por medio de colisiones entre partículas de mayor energía con aquellas de menor energía o por las vibraciones de las moléculas o por el efecto

de los electrones libres en el material, de ahí que los metales sean buenos conductores del calor como de la electricidad.

El flujo de calor por conducción depende de variables intrínsecas del material y del gradiente de temperatura, que representa la configuración geométrica y la variación de la temperatura.

Se puede expresar la Ley de Fourier de la conducción del calor como:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

La conductividad térmica de los materiales se debe tomar en cuenta, cuando se desea reducir las pérdidas de energía por conducción.

Convección: Este fenómeno se da cuando hay transferencia de calor entre un sólido con un líquido o un gas. En este fenómeno se da conducción y el movimiento de un fluido. La convección puede ser natural, cuando el gradiente de temperatura es suficientemente alto que hace que el aire circundante varíe su densidad, generando una fuerza de empuje vertical que desplaza el aire caliente removiendo energía y la convección forzada ocurre cuando el movimiento del fluido se da por mecanismos externos.

La razón de transferencia de calor por medio de convección se expresa como la Ley de Newton del enfriamiento, a saber:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

Radiación: Se describe como la energía emitida mediante ondas electromagnéticas, sin necesidad de que haya un medio para desplazarse. La radiación de los cuerpos se debe a su temperatura, debido a las configuraciones atómicas. La razón de transferencia de calor por radiación se puede expresar según la Ley de Stefan-Boltzmann, la cual se expresa como:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_e^4)$$

Cuando la radiación incidente no es absorbida por el material se refleja, esto es importante para disminuir el calor absorbido, reduciendo la absorptividad de la superficie. Cabe destacar que cuando se trabaja un problema que tiene convección forzada es común descartar los efectos por radiación.

La tasa total de transferencia de calor se da al hacer una suma de los tres efectos. El calor tiene efectos importantes en el comportamiento de los equipos, así mismo es necesario tomar en cuenta, las pérdidas de calor cuando se usa este para un proceso productivo.

La Eficiencia energética se define como una medición del trabajo útil por unidad de energía usada en la conversión de energía, por lo que, la eficiencia mide la razón de energía que se desea convertir entre la energía que se pone en el sistema para ser convertida, se

sabe que los procesos no pueden ser cien por ciento eficientes, pues existen algunas pérdidas en el proceso, pero entre más cerca la razón se encuentre de 1, se dice que el sistema es más eficiente.

Cabe resaltar que, para los procesos industriales es más sencillo medir la eficiencia mediante el consumo específico de energía ya que, de este modo, se sabe cuánta energía se necesita para la producción o para brindar un servicio (Martínez *et al.*, 2022).

Para poder medir la energía se deben emplear unidades; sin embargo, diferentes formas de energía tienen distintas unidades, por ejemplo, la tarifa eléctrica (energética) en Costa Rica, de acuerdo con la ARESEP se cobra por kWh (kilowatt-hora), 1 kWh expresa la potencia de 1 kW consumida durante 3600 segundos.

Además, 1 kW es igual a 1000 J/s (Joules por segundo), por lo que, 1 kWh son 3,6 MJ/s (mega Joules por segundo). Los modelos tarifarios tienen una serie de variables que se consideran a la hora de establecer la tarifa. Según los datos del ICE (2015), las tarifas de media tensión se cobran dependiendo del horario de consumo, el periodo punta es aquel que va desde las 10:01 a.m. hasta las 12:30 p.m. y entre las 5:31 p.m. y las 8:00 p.m.; el periodo valle que va desde las 6:01 a.m. a las 10:00 a.m. y desde las 12:31 p.m. hasta las 5:30 p.m. y finalmente, el periodo nocturno que comprende desde las 8:01 p.m. hasta las 6:00 a.m.

Lo anterior no ocurre con las tarifas comerciales o residenciales. Sin embargo, hay que mencionar que cuando se menciona la factura eléctrica comercial, se debe tomar en cuenta, el rubro de Demanda Máxima se cobra por la demanda de potencia más grande (pico) durante el periodo de facturación sumado al costo de energía; la demanda máxima se

mide en kW (Terroso-Sáenz et al., 2019). Se usa el termino energía “consumida”, pero la energía únicamente se transforma, por lo que “consumida” hace referencia a “transformada” produciendo un trabajo como consecuencia (Martínez *et al.*, 2022).

Máquinas

Las máquinas rotativas se usan para distintas tareas en la industria, por eso, es importante conocer los principios de funcionamiento que las gobiernan.

El principio de funcionamiento de un motor, según Chapman y Ortega (2012), se basa en la Ley de Faraday-Lenz que indica que, un campo magnético variable en el tiempo *inducirá* una tensión y por otro lado, la Ley de Ampere que indica que, una espira que conduce corriente genera un campo magnético producto de los efectos de las cargas en movimiento.

Puestas ambas leyes se observa la inducción de una tensión/corriente en una espira que produce un campo magnético que interactúa con el que originalmente la indujo, generando un par de torque (figura 10).

El torque inducido en la espira se debe a que los dos campos magnéticos, tanto del estator (la parte fija del motor) y del rotor (la parte móvil) se intenten igualar.

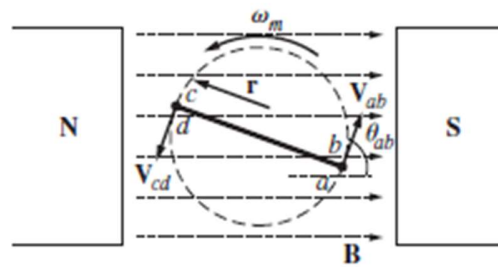


Figura 10. Espira por la que viaja una corriente sometida a un campo magnético.

Fuente: Chapman & Ortega (2012).

$$\tau_{ind} \propto \vec{B}_{esp} \times \vec{B}_S$$

Cuando se hace un análisis del funcionamiento del motor, se puede ver que la potencia de salida del motor (la potencia mecánica que entrega en el eje) es igual a:

$$P_{out} = \tau_L \omega_m$$

Tomando en cuenta las pérdidas mecánicas dentro del motor; las pérdidas por dispersión de los campos magnéticos y las pérdidas en el núcleo, se observa que aun si el motor no tiene una carga acoplada al eje, se consumirá potencia en la entrada.

Cabe destacar que, la construcción de un motor trifásico es distinta a la de un motor monofásico. Un motor trifásico tiene las bobinas separadas físicamente 120° , lo que hace que se dé una rotación del campo magnético además, producido por la secuencia de fase entre las tensiones de la red (Chapman & Ortega, 2012).

Normas

La elaboración de este proyecto hace referencia a la norma ISO 50001:2018 que, describe los pasos que se deben de seguir para elaborar y mantener un modelo de gestión de energía, la manera en la que la norma intenta llevarlo a cabo es mediante un ciclo de mejora continua, definida como el proceso recurrente que busca mejorar el desempeño energético y el sistema de gestión energética.

Las etapas de la mejora continua según la norma ISO 50001 son: Planificar, referente a la etapa de revisión energética, el establecimiento de las líneas base, la selección de los indicadores de desempeño, los objetivos y metas energéticas; por último, las acciones necesarias para lograr los objetivos planteadas.

Hacer, mediante la puesta en efecto de los planes establecidos. Verificar. Es necesario que se le dé seguimiento a los procesos y características singulares de las operaciones. Actuar. Las acciones necesarias que deben ser tomadas, con el fin de mejorar (ver figura 11).

Un sistema de Gestión de Energía se define como: “un conjunto de elementos interrelacionados (...) para establecer una política y objetivos energéticos”, así como “los procedimientos necesarios” para alcanzar esos objetivos o metas energéticas.



Figura 11. Representación gráfica de la mejora continua en un SGen.

Fuente: Rosas (2018).

La norma ISO 50001 se implementa a todas aquellas actividades que tienen un impacto significativo en el desempeño energético de la empresa que se puedan controlar, necesariamente se aplica a las empresas que desean cumplir con una política energética.

Las líneas base (ver figura 12) se utilizan como referencia para la comparación del desempeño energético o para determinar los posibles ahorros que se obtienen al implementar acciones de mejora continua, se establece las líneas base en un periodo de tiempo establecido.

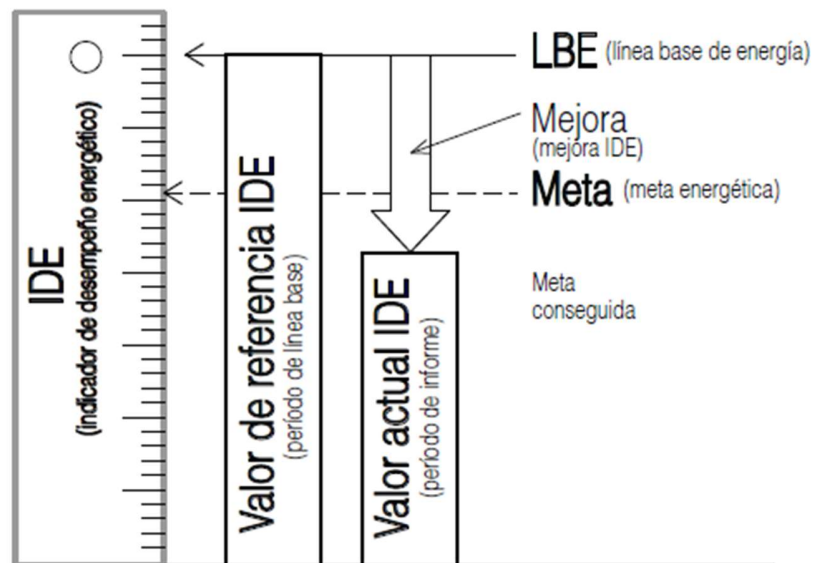


Figura 12. Comparación de indicadores vs líneas base.

Fuente: Norma ISO 50006 (2014).

El desempeño necesariamente está relacionado con el consumo energético, ya que este es la cantidad de energía que se utiliza, ya sea en un proceso o en toda la organización.

Como parte del desarrollo del modelo de gestión de energía se establece una política energética que se describe como una declaración de las intenciones y dirección global relacionado con el desempeño energético.

Otras normas ISO relacionadas y que se tienen en cuenta en la realización de este proyecto son: la norma ISO 50002 que se centra en la realización de las auditorías energéticas, donde se menciona el balance energético que se define como el conteo de las entradas de oferta de energía versus las salidas de energía, en cuanto al consumo.

Cambio Climático

El efecto invernadero se conoce como la conversión de radiación entrante y saliente que calienta el planeta, según la ONU: los gases de efecto invernadero ocurren de manera natural y son esenciales para supervivencia humana.

Los gases de efecto invernadero permiten el ingreso de radiación ultravioleta, pero dificultan el paso de la radiación infrarroja, produciendo un efecto de calentamiento en el planeta (Kweku, 2018).

En las últimas décadas, el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero ha causado un aumento de la temperatura del planeta, uno de los gases de efecto más abundantes es el CO₂ generado por la quema de combustibles fósiles (ONU, s.f.). Para intentar mitigar el cambio climático, las naciones se han unido en un intento global.

El protocolo de Kyoto (1997) obliga a los países participes a cumplir las metas en reducción de emisiones y el Acuerdo de París (2016) y como menciona la ONU (s.f.) cuyo principal objetivo es la respuesta ante el cambio climático, manteniendo el aumento de la temperatura limitado a 1,5 °C.

Prototipo

Como parte del proyecto se desarrolla un prototipo de medición de los indicadores energéticos claves y previamente establecidos para el equipo más crítico de la empresa, este prototipo de “medidor” usando el microcontrolador ESP32 S2 mini de la marca Wemos,

que cuenta internamente con el módulo de programación, que permite instalar Firmware (software base) para ser programado mediante Micropython, una variante de Python que usa poca memoria o bien, se programa en C++ mediante el IDE de Arduino.

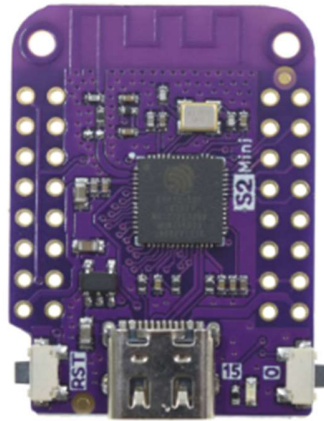


Figura 13. ESP32-S2 mini, con entrada USB C.

Fuente: Wemos (2021).

Este dispositivo cuenta con una serie de pines que pueden ser utilizados como entradas y salidas, además de ello, permite la comunicación mediante protocolos, UART y I2C.

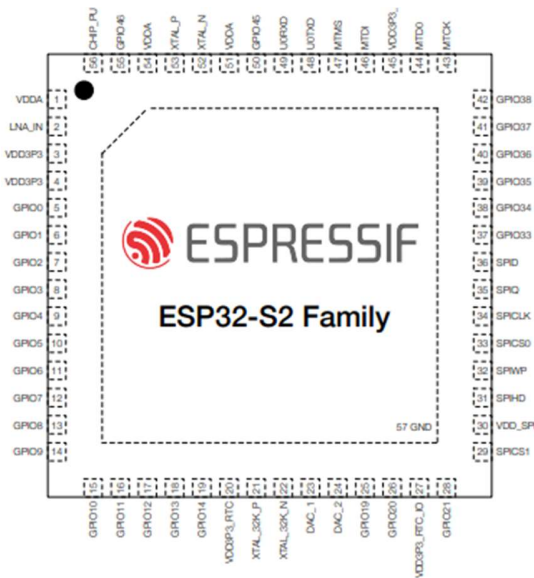


Figura 14. Esquemático del microcontrolador ESP32-s2.

Fuente: Espressif Systems (2021).

Primeramente, el microcontrolador ESP32 se conecta a internet por medio de Wifi utilizando las librerías de Micropython incluidas. Se puede hacer uso de protocolos como AMQP o MQTT para conectarse con un servidor externo y poder acceder en cualquier lugar, donde exista una conexión a internet.

De acuerdo con HiveMQ, el protocolo MQTT es un protocolo estándar ultraliviano de suscripción/publicación que se originó en IBM en 1999. El protocolo MQTT es bidireccional lo que permite que dispositivos envíen información y la reciban, además el envío de datos encriptados lo hace una excelente opción, cuando se envían datos sensibles (The HiveMQ Team, 2015).

Este protocolo es muy usado en el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) que consiste en una serie de dispositivos interconectados que envían datos o reciben comandos por medio de una conexión a internet (Krishnan & Jacob, 2022).

Otro protocolo común usado para comunicar y leer información de sensores es el protocolo I2C que permite la comunicación bidireccional con hasta 127 distintos dispositivos utilizando únicamente dos cables en configuración de un maestro-esclavo, donde puede haber varios maestros y varios esclavos.

Cada uno de los dispositivos conectados tiene una dirección hexadecimal que los identifica. Este protocolo en palabras de Valdez y Becker (2015), tiene una línea de reloj serial (SCL) mediante la que se sincroniza la comunicación y una línea de datos seriales (SDA), donde se transmite la información, cuando la señal de reloj está en un estado alto, esto se puede observar en la figura 12.

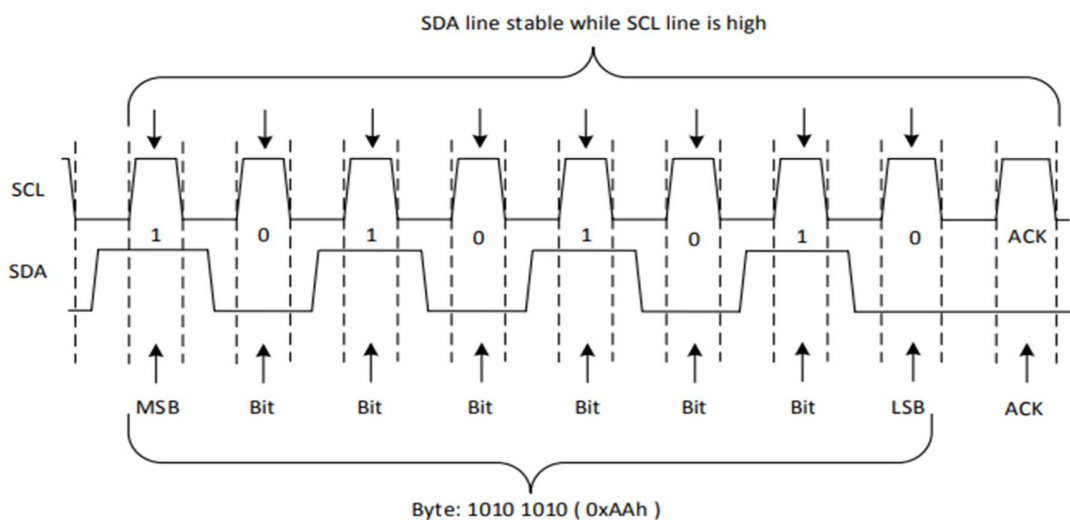


Figura 15. Diagrama de transmisión de bytes a través de I2C.

Fuente: Valdez y Becker (2015)

Las conexiones siempre se deben de hacer mediante resistores *Pull-up* que mantienen la tensión en la salida del dispositivo en los pines SDA y SCL a tensión V_{cc} . Los datos que se envían por I2C son en formato Byte, por lo que, es necesario hacer conversiones, para que sea legible para el usuario final.

Para la medición de las variables energéticas específicamente, las relacionadas con las potencias real, reactiva y aparente; corriente, voltaje y factor de potencia se utiliza el circuito integrado ACS71020.

El circuito integrado mide la corriente a través de un sensor de efecto Hall. Este efecto se da cuando en un material en el que circula corriente es sometido a un campo magnético constante, por lo que se genera un potencial en los extremos del material.

En este caso, la corriente externa produce un campo magnético que, a su vez, genera una diferencia en el material que es proporcional, por lo que, mediante este efecto se puede medir la intensidad de la corriente externa (Young & Freedman, 2009).

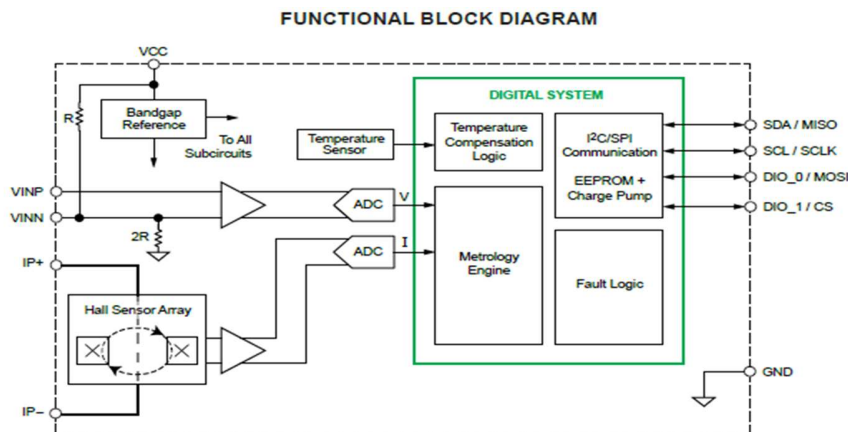


Figura 16. Diagrama del circuito ACS71020.

Fuente: ACS71020 Hoja de Datos. Allegro Microsystems (2021).

El circuito integrado puede ser alimentado a tensiones de 3 o 5 V, se puede configurar con protocolos SPI o I2C, además tiene un espacio de memoria donde se almacenan temporalmente, los valores medidos.

El modelo ACS71020 de Allegro Micro presenta más de 15 variables eléctricas, lo que permite un gran rango de usos y de aplicaciones. Se puede ver en la figura 13 que al interior del circuito integrado se tienen varios bloques de convertidores analógicos a digital para la conversión de los valores medidos y para ser enviados a través de I2C, para poder ser visualizados a través de una interfaz gráfica desde cualquier lugar o desde cualquier dispositivo.

Capítulo III. Desarrollo

Modelo de Gestión de Energía

Según lo que se menciona, la norma INTE/ISO 50001:2018 debe seguir un proceso para elaborar un modelo de gestión de energía que conlleva una serie de etapas:

Etapas Inicial

Mediante el desarrollo de esta etapa se maneja el contexto operacional de la empresa y los intereses que motivan a la misma.

Es responsabilidad de la alta dirección de la organización, el compromiso con la elaboración y mantenimiento de modelo que conlleva la gestión del desempeño energético de la organización.

Contexto Organizacional

La PYME se dedica a la elaboración de productos a base de harina de trigo, del mismo modo revende productos derivados de la leche, embutidos, refrescos, etc. Vistos desde la PYME como un valor agregado para el cliente que podría desear mezclarlos con los productos estrella de la organización.

El principal cliente de la Pequeña Empresa es el consumidor final que compra los productos directamente en las instalaciones o los revendedores que encargan producto para vender en sus locales, funcionando esto, como una extensión de las ventas directas que se

dan en la PYME. Las ventas realizadas como encargo por los revendedores representan un porcentaje significativo de los ingresos (25%).

Analizando el contexto social de la PYME se ha observado que los consumidores que adquieren productos de la empresa son clientes frecuentes que habitan la zona cercana a las instalaciones; así mismo, el poblado circundante está muy familiarizado con la ubicación de la empresa, además de la ubicación y cercanía a Centros Educativos de la zona que le brinda visibilidad ante potenciales clientes. Los clientes que comprar mayor volumen son aquellos que se encargan de revender los productos diaria o semanalmente en sus propios comercios.

Referente al contexto legal de la PYME, la misma se encuentra legalmente constituida y al día con sus obligaciones tributarias y en línea con los permisos del Ministerio de Salud respectivos para poder funcionar.

Esta legal constitución y funcionamiento le permite a la empresa operar, desarrollar planes de expansión y hacer negocios con otras empresas. Por otro lado, la empresa también sigue las normativas establecidas para el manejo de Gas LP y Diesel que son fuentes muy importantes para el negocio.

La PYME es un negocio mayoritariamente familiar, por lo que en varias de las actividades como la preparación de la masa y de los rellenos son empleados, los familiares. La PYME emplea varias personas para la atención de los clientes, para el empaque de los productos que se entregan a los revendedores y para la preparación de los productos estrella en la empresa.

Es de resaltar que, una de las principales debilidades halladas en el negocio es que, el manejo de inventario, producción y las ventas en su mayoría, son tradicionales mediante la escritura en libros.

La facturación se ha empezado a realizar en medios digitales, en cumplimiento con la normativa del Ministerio de Hacienda. Finalmente, la zona de Buenos Aires es un cantón de la provincia de Puntarenas que se encuentra alejado de los círculos urbanos.

Alcance

La realización del Sistema de Gestión de Energía (SGEN) se plantea realizar un proceso productivo más significativo de la empresa, que involucra el modelo de negocio de la PYME, por lo que, en este caso particular se establece para la producción de artículos a base de harina de trigo.

Así mismo, por ser prácticamente el único proceso productivo de organización se toma toda la planta de la organización al momento de realizar este informe. Las fuentes de energía no pueden ser separadas, porque existen equipos que usan mezclas de fuentes. Se tiene en cuenta el proceso de preparación previa, fermentación, horneado y empaque posterior, cuando aplica.

El proceso de desarrollo del modelo conlleva una serie de visitas a la empresa para poder evidenciar las actividades; realizar mediciones; establecer tiempos de uso y recuperar información física o de los colaboradores de la organización.

Se tiene información de las fuentes de energía, tiempos de uso y cantidad de combustible que usan los equipos. Hay una limitación con la información pues, no se tiene información de años atrás, por lo que la referencia histórica anterior no está.

La empresa cuenta con un sistema rudimentario de inventario y de producción que podría afectar la precisión de las mediciones del desempeño energético, por lo que, se hacen las recomendaciones pertinentes y se establecen en los objetivos.

Alcance	Toda la organización.
Limite	Producción de Artículos a base harina de trigo.

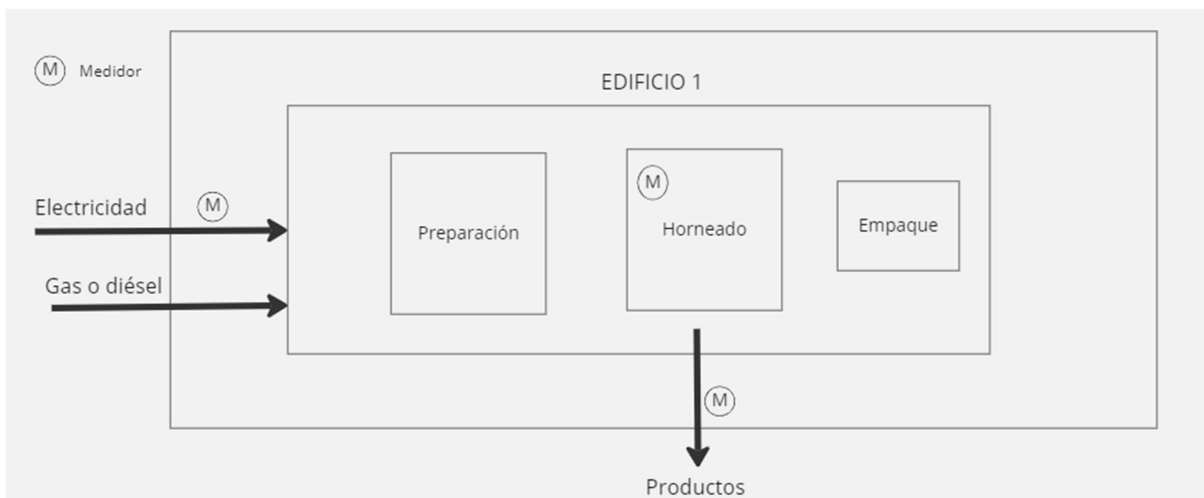


Figura 17. Diagrama de bloques para la organización.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

Requisitos legales

Los requisitos legales son parte fundamental del sistema de gestión de energía, pues aparte de las necesidades internas de la empresa que motivan la operación y

funcionamiento de este, se tienen una serie de leyes que hacen que la empresa se comprometa a cumplir con dicho modelo, por lo que se deben de hacer revisiones periódicas a estos documentos.

El Plan Nacional de Desarrollo (2015-2030) tienen como eje fundamental, el uso de combustibles más limpios, este punto es importante al asociarlo con el uso de combustibles fósiles (diésel y gas LP) por parte de la empresa.

El Plan Nacional de Descarbonización (2018-20150) sostiene que, las empresas presentan una carga considerable en la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que sugiere, transformar los usos energéticos viables o buscar nuevos combustibles; el camino que se escoge y que menos impacto puede producir es la reducción del uso de combustibles fósiles.

La Estrategia de Transformación Digital hacia la Costa Rica del Bicentenario 4.0 (2018-2022) sugiere el uso de las tecnologías 4.0 en las industrias donde la información producida en el proceso es usada para mejorar estos.

Alta Dirección

Como parte del desarrollo de la política energética de la empresa, más específicamente su alta dirección, esta debe tener claro los objetivos y metas establecidas por la alta dirección para ser llevados a cabo mediante SGEN.

La alta dirección (en adelante A.D) de la PYME se compone de aquellos miembros fundadores y que actualmente, se desempeñan en el negocio y que cuentan con el interés de desarrollar el SGEN.

La A.D tiene el compromiso de tomar las decisiones necesarias y factibles para lograr que el SGEN se lleve a cabo; del mismo modo, establecer los objetivos y metas que impactan el negocio en materia de energía; la participación de la A.D es importante para que el SGEN se mantenga y se mejore el desempeño energético en las instancias donde se pueda mejorar.

Política energética

- La **empresa PYME, DeliPan** se compromete a realizar un uso racional de la energía utilizada en el proceso productivo y un uso de la energía empleada en general en la organización, de manera responsable con el conocimiento de que el uso indebido de los recursos naturales no renovables produce un impacto negativo sobre el medio ambiente.
- La **empresa** acepta establecer objetivos y metas, en aras de mejorar el desempeño energético y las consecuencias positivas que dicha mejora suponga para la organización y la reducción de emisiones por uso de combustibles fósiles.
- La **empresa** se compromete a realizar las acciones necesarias para **la mejora continua** que se encuentren en las posibilidades de la organización y determinar las pautas a seguir para aquellas que no se puedan llevar a cabo.
- La **empresa** establecerá lineamientos relacionados con el desempeño energético según el USO, CONSUMO y EFICIENCIA de la energía y lo utilizará como una métrica en el funcionamiento del negocio para potencialmente, mejorar su competitividad.

- La **empresa** acepta el compromiso de sensibilizar a los colaboradores acerca del uso de los equipos y combustibles, de acuerdo con lo que menciona en esta política.
- La **empresa** acepta seguir funcionando en el marco de la legalidad y acepta someterse a los regulaciones y reglamentos nacionales relacionados con el uso racional de la energía y los combustibles fósiles.
- La **empresa** se compromete a que todos los miembros presentes y futuros de la organización seguirán esta política y las mejoras que se le realicen a la misma.

Por lo tanto,

Lo organización hará uso de sus capacidades, apegadas a la legalidad, para lograr que se cumplan los compromisos mediante incentivos, reprimendas, orientaciones o todas aquellas formas, que la empresa considera necesarias en el presente y en el futuro.

De acuerdo,

Firma

Balance Energético

Visualizar el flujo de la energía dentro el proceso productivo, brinda información valiosa, pues se observan aquellas áreas donde se pueden implementar mejoras, así como aquellas áreas donde es más relevante, expandir o invertir eventualmente.

Determinación del Desempeño Energético

El desempeño energético mide cómo es el comportamiento de la energía que entra al proceso u organización, dependiendo de los límites que se hayan establecido con anterioridad, se debe establecer el uso de la energía, la eficiencia y el consumo.

Para poder determinar los usos de energía, primero se tienen que registrar los equipos que consumen energía, el tipo de energía, el tiempo de usos, entre otros. Con lo que se pueden evaluar las contribuciones de consumo de los equipos al consumo total, según los límites de la medición.

La lista de los equipos se puede observar en la Tabla 3. Los hornos utilizan una mezcla de energía entre Diesel o Gas LP, dependiendo del horno, ambos equipos utilizan electricidad para poder movilizar el carrito y para el funcionamiento del ventilador que se usa para la convección forzada. Sin embargo, el consumo mayor de energía es por la combustión.

La empresa cuenta con una acometida monofásica 120/240 V, por lo que algunos de los equipos trifásicos han sido “modificados”, para poder ser conectados a la red eléctrica disponible.

La estimación de los usos de los equipos se realiza mediante un análisis empírico del consumo de energía que ha tenido la empresa históricamente, además se realizó una medición del horario de los tiempos que utilizó el equipo durante cada día de la semana; el horario del proceso se divide en dos cada día, la primera parte inicia a las 3:00 a.m. y

Nro.	Equipo	Modelo	Voltaje (V)	Fase	Combustible	Potencia térmica (kW)	Potencia Eléctrica (kW)	Uso Sem (h)	Energía (kWh)
1	Horno Rotativo	HR 45-65/12D	220	1Φ	Diesel	30.005	2.000	66	528.000
2	Horno Rotativo	HF 45-65/15	220	3Φ	Gas LP	38.030	2.000	40	320.000
3	Panificadora	-	220	1Φ	Electricidad	-	1.500	14	84.000
4	Pasadora	FV1991	220	1Φ	Electricidad	-	2.200	18	158.400
5	Batidora	HL-11012	120	1Φ	Electricidad	-	0.373	19	28.348
6	Batidora	HL-17020K	220	3Φ	Electricidad	-	2.238	18	161.136
7	Motor	-	220	3Φ	Electricidad	-	3.080	18	221.760
8	Camara 1	RFD-246	120	1Φ	Electricidad	-	0.430		2.242
9	Camara 2	RFC-2470	120	1Φ	Electricidad	-	0.500		1.569
10	Camara 3	-	120	1Φ	Electricidad	-	0.400		2.242
11	Bomba Agua Potable	TF40	120	1Φ	Electricidad	-	0.746	38	113.392
12	Selladora	PFS-400DD	120	1Φ	Electricidad	-	0.400	17	27.200
13	Extractor	-	220	1Φ	Electricidad	-	0.187	64	47.744

Tabla 3. Lista de equipos en la organización

Fuente: Elaboración Propia (2022).

termina alrededor de las 10:00 a.m.; la segunda tanda se da en la tarde iniciando a la 2:00 p.m. hasta las 5:00 p.m., en esta segunda tanda normalmente, se preparan los productos que necesitan dejarse creciendo y se hornean otros que se dejaron creciendo durante la mañana.

Los volúmenes de elaboración de los productos varían entre los días de la semana, siendo el lunes y el martes, los días que se producen más artículos y los domingos, el día que menos se hace; el volumen de producción puede variar, dependiendo de la demanda, disponibilidad de ingredientes, entre otros.

Equipos con Uso Significativo de Energía

Con los datos horarios se realiza una estimación del consumo energético eléctrico, de acuerdo con los equipos que se usan en el proceso productivo, teniendo un total promedio de 1.552 kWh.

Se hace especial énfasis en el consumo de electricidad, pues solo los hornos utilizan combustibles fósiles además de electricidad, para tener una idea del consumo total de energía de la organización, es necesario convertir todas las unidades a una común.

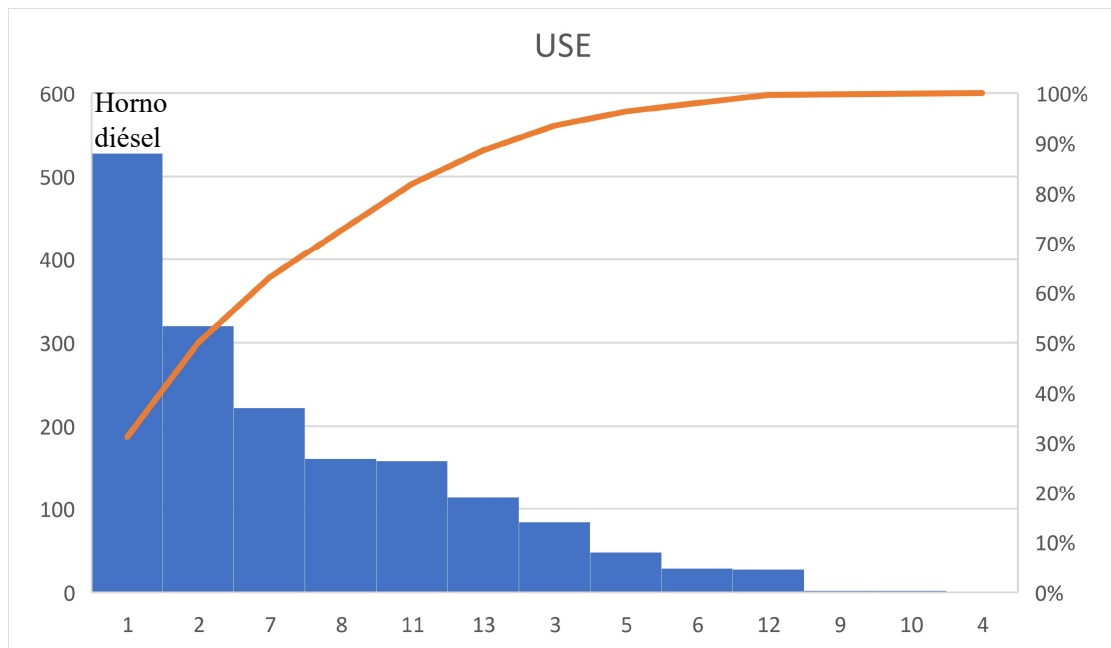


Figura 18. Diagrama de Pareto del consumo en kWh de los equipos de la empresa.

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la figura se puede observar que, los equipos que más consumen energía eléctrica son los hornos, estos además son el eje fundamental de la producción de los productos para el modelo de negocios.

La norma ISO 50001:2018 menciona los usos significativos de energía, que son aquellos altos consumos durante el proceso que se analiza y también, son aquellos procesos que tienen altas oportunidades de mejora.

En comparación con los otros equipos, los hornos son los que más energía consumen; primeramente, por la potencia de los motores y, en segundo lugar, por el tiempo que permanecen en funcionamiento al día.

Por el modelo de negocios que tiene la PYME es clave notar que los hornos no solamente son los equipos que representan USE, según la norma ISO, sino que además son los equipos más críticos para la operación de la empresa.

Periodo de estudio

Es importante establecer un periodo en el que se realiza el estudio y otro, para determinar las líneas base. Como parte de los datos históricos, se tiene la facturación eléctrica del último año, donde se indica que la empresa no contaba con los datos más antiguos, por lo que, a pesar de tener información de las otras fuentes, el límite lo determina la electricidad.

En la tabla 4 se observan los consumos históricos de electricidad, a saber:

Mes	Consumo (kWh)	Costo
Aug-21	1536	€ 181,670.00
Sep-21	1666	€ 197,045.00
Oct-21	1640	€ 197,940.00
Nov-21	1673	€ 190,615.00
Dec-21	1726	€ 196,655.00
Jan-22	1750	€ 205,890.00
Feb-22	1798	€ 245,375.00
Mar-22	1632	€ 224,550.00
Apr-22	1860	€ 255,315.00
May-22	1740	€ 237,695.00
Jun-22	1831	€ 249,960.00
Jul-22	1586	€ 214,235.00
Aug-22	1983	€ 255,300.00

Tabla 4. Resúmenes de consumos vs costo de la tarifa eléctrica en un periodo de un año.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

De forma gráfica, se pueden observar los datos de la tabla anterior en la figura 19.

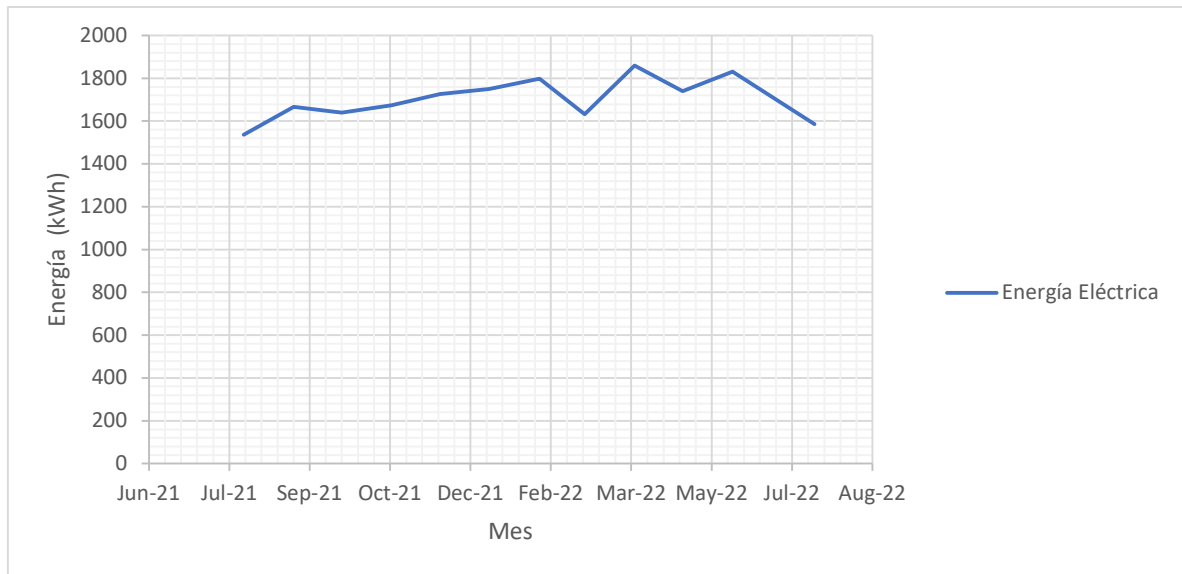


Figura 19. Gráfico de la energía eléctrica facturada por mes en la empresa.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

El valor promedio de la energía consumida durante el periodo establecido es 1725 kWh. Analizando el equipo instalado y las horas de funcionamiento se tiene una diferencia respecto del promedio de aproximadamente 150 kWh, que puede deberse a la iluminación, ya que permanecen encendidas durante las noches.

También, un factor que se debe considerar es la variación de la producción de mes a mes, pues no se contempla del todo las mermas o pérdidas que se tiene del producto cuando sale del proceso de horneado. La medición de la energía se realiza mediante el medidor provisto por la compañía que suministra la energía eléctrica que puede ser visto en la figura 17.

El equipo usado por la compañía proveedora tiene la capacidad de realizar mediciones muy precisas en el orden 0.01 %.

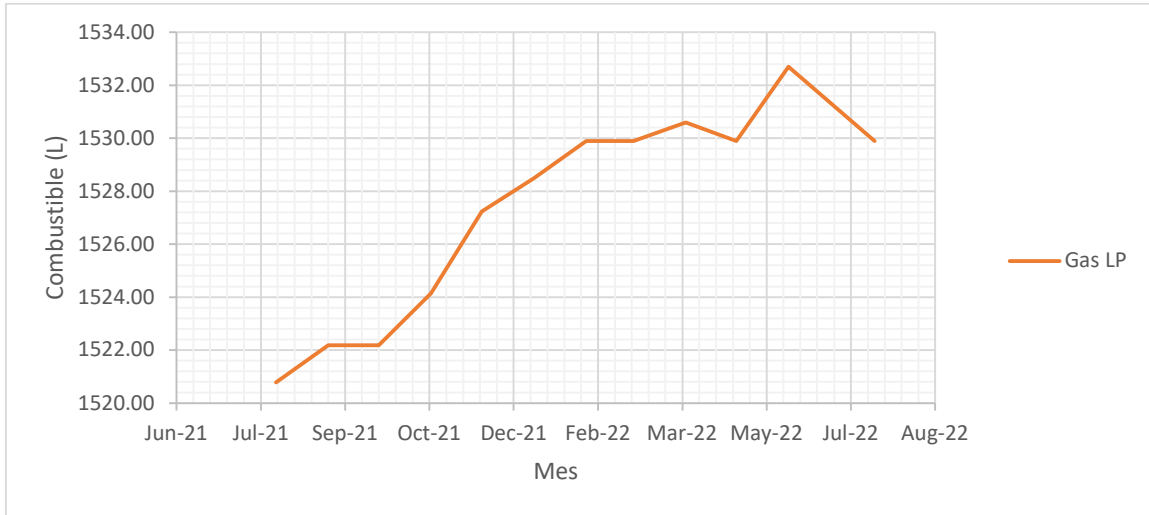


Figura 20. Consumo de Gas LP durante el periodo de estudio.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

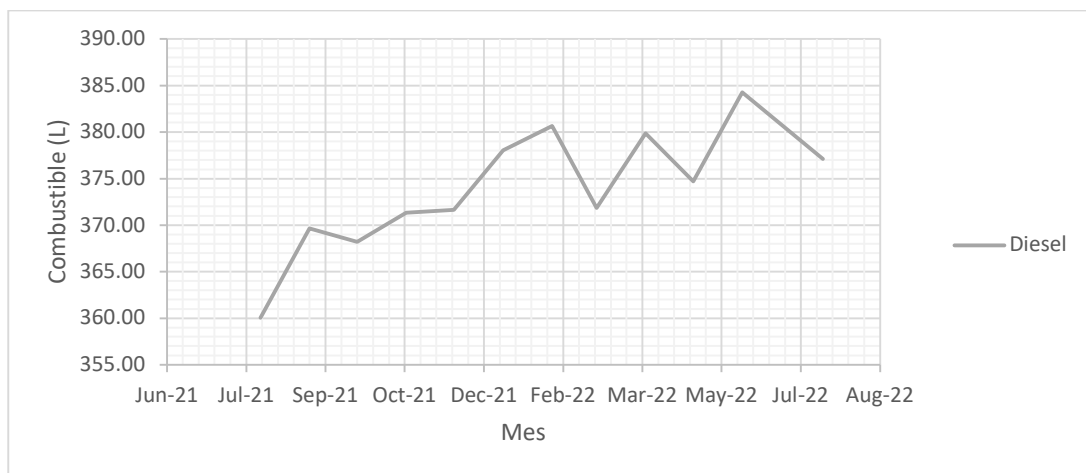


Figura 21. Consumo de diésel durante el periodo de estudio.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

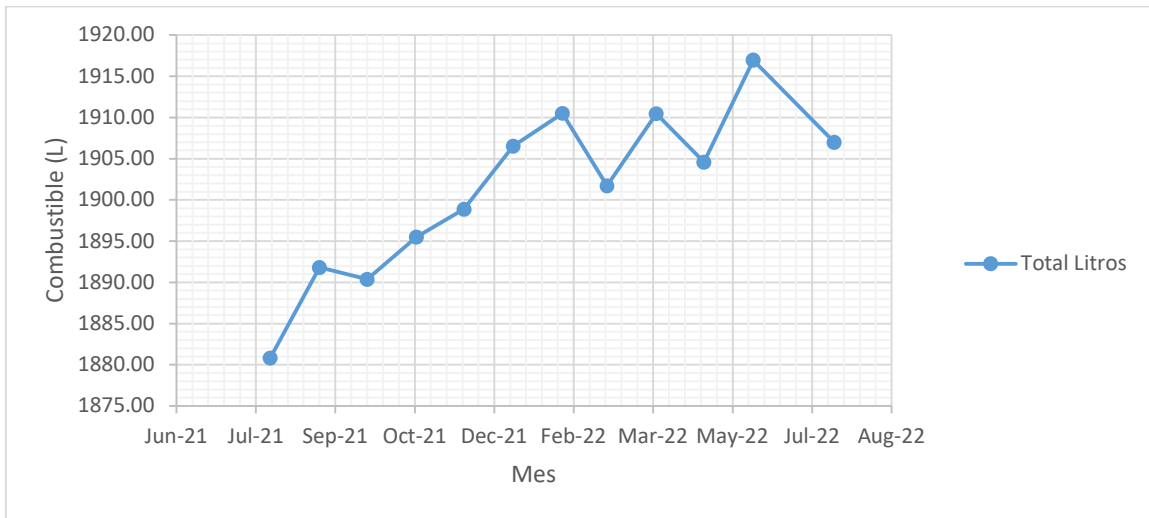


Figura 22. Consumo de combustible total durante el periodo establecido

Fuente: Elaboración Propia (2022).

La PYME tiene un tanque instalado de 454 L, en la figura 23 se puede observar la cantidad de litros de diésel y de gas LP que se compran mensualmente. La unidad de litros se utiliza como indicador energético; sin embargo, con la finalidad de sumar la energía de varias fuentes se convierte a kWh, lo cual se observa en la figura 21.

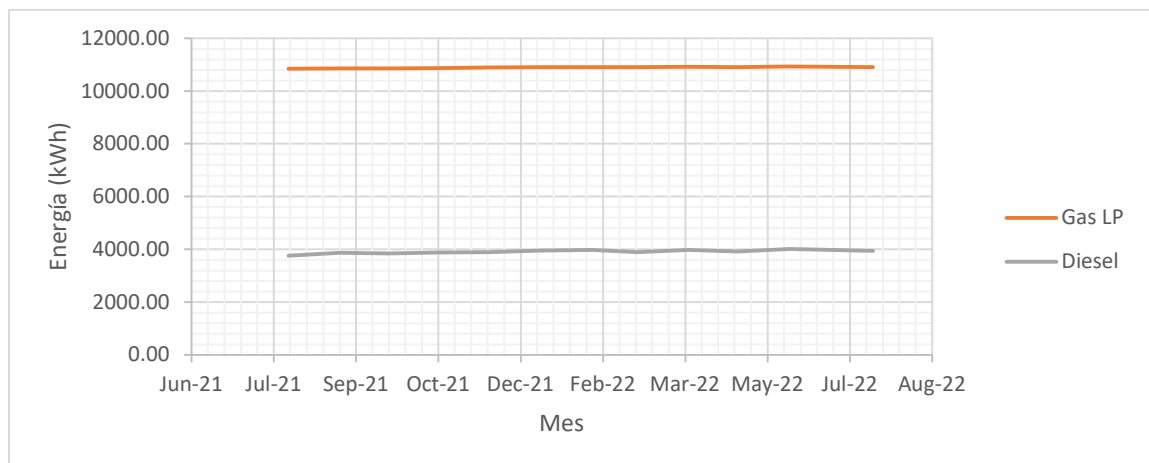


Figura 23. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

Se muestra el comportamiento del precio del gas LP y del Diesel en los meses del periodo de estudio, donde se visibiliza la inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles.

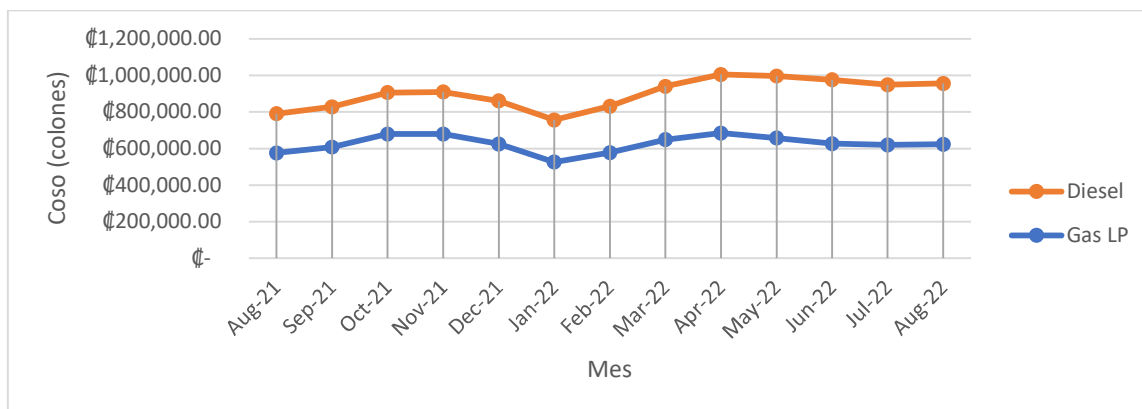


Figura 24. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Una vez que se tienen los datos de los insumos energéticos y de los gastos por parte de proceso productivo, se hace una suma de las energías eléctricas y de la proveniente de los combustibles fósiles, este comportamiento del uso de la energía puede ser visualizado en la figura 22.

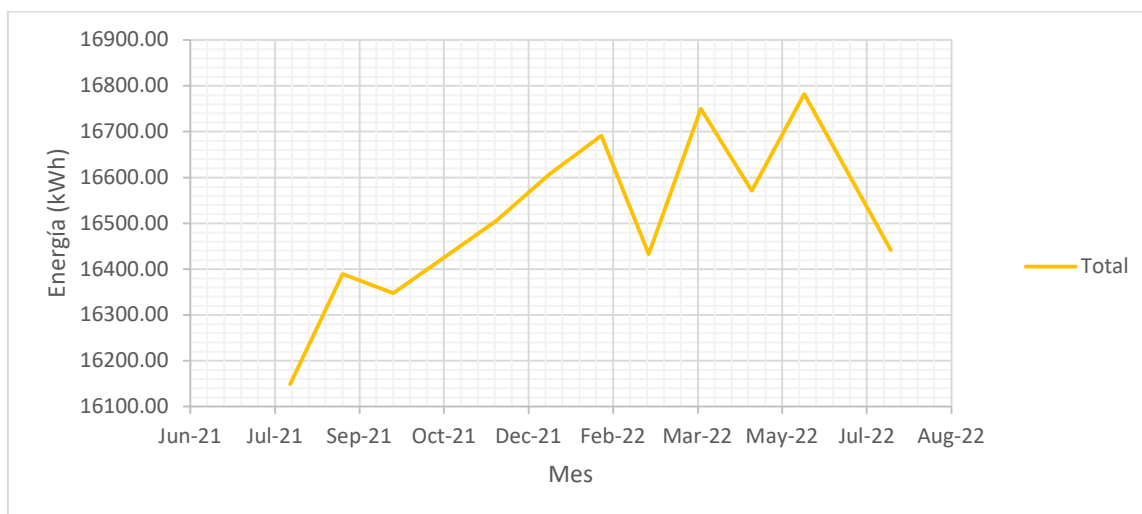


Figura 25. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Indicadores de Desempeño energético

De acuerdo con lo que menciona la norma ISO 50001, los indicadores se escogen de modo que brinden información importante acerca del comportamiento de la energía en el negocio.

La organización cuenta con un manejo rudimentario de la información, pero que es bastante útil para llevar el control del volumen de producción, es claro que los estimados en ventas no representan del todo, el volumen que se tiene en producción, porque estas no toman en consideración, las pérdidas de producto que no llegan a ser vendidas o las que tienen un reprocesamiento para convertirlo en otro artículo.

Por lo que, en este caso no se toman los datos directamente facturados en la caja, sino más bien, los datos que se tienen antes de ser horneado; del mismo modo puede existir una variación entre lo que se anota y lo que realmente llega al horno, ya sea por error del individuo que lleva el control o por algún accidente en el trayecto.

A pesar de eso, la norma no exige demasiada precisión y tomando este posible error asociado, se convierte en un buen estimado del volumen de producción que tiene la PYME. Se puede aún mejor, tomar esto como una oportunidad para mejorar el sistema de recolección de datos que a futuro son de beneficio para la organización.

Los indicadores de desempeño energético pueden ser evaluados individualmente; sin embargo, es recomendable establecer una línea base para cada indicador que se escoja, definiendo para tal efecto, un periodo de línea base y un periodo de reporte, en este último, se miden los indicadores de desempeño energético.

Para esta organización en particular es de especial importancia, la cantidad de unidades que se venden, pues es mediante esto que la organización genera ingresos; pero como se mencionó anteriormente, las ventas no dan una visión completa del consumo energético en la fabricación de los productos.

Por lo tanto, se usan las unidades producidas en lugar de las vendidas, esto por unidad de energía. El primer indicador es la energía eléctrica usada por las unidades producidas. Otro indicador son los litros de diésel y gas LPG por unidades horneadas, donde se toman las unidades horneadas como las producidas, descartando cualquier unidad que se pierda en el trayecto.

Es importante notar que los hornos trabajan en proporciones diferentes y dado que la organización no contempla la distinción entre las unidades procesadas por un horno o el otro, se toman como una sola cifra. Por otro lado, también se escoge el indicador energético de la energía total que brinda información del comportamiento del consumo de energía del negocio como un todo.

Finalmente, un indicador que muestra el volumen de producción de unidades por horas de funcionamiento de los hornos.

Indicador	Detalle
L/Unidades	Permite conocer la cantidad de unidades elaborados por litro de combustible utilizado.
kWh/Unidades (total)	Este indicador brinda la perspectiva de la energía total que se emplea en elaborar una unidad en la cadena de producción.
kWh/h	Permite visualizar la cantidad de energía que se emplea por horas de horneado por tipo de combustible, este indicador se empieza a monitorear con el prototipo.
kWh/Unidades (eléctrica)	Este indicador brinda información de la cantidad de energía eléctrica por número de unidades producidas.

Tabla 5. Detalle de los indicadores de desempeño energético.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Los valores de los indicadores calculados para el mes de agosto de 2022 se muestran en la tabla 6 resumidos:

Indicador	Valor
L/Unidades	0,1893
kWh/Unidades (total)	1,6717
kWh/Unidades (eléctrica)	0,1957

Tabla 6. Medición de los indicadores de desempeño energético en la empresa.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Líneas Base

De acuerdo con lo que menciona la norma ISO 50006:2015 sobre la cuantificación del desempeño energético, donde se indica que se debe tener un periodo base contra el cual se contrastan los valores medidos durante el periodo de estudio.

Se obtiene una línea base por cada indicador que la organización haya establecido como relevante y que afecta el desempeño energético. Los indicadores y las líneas base deben contener un nivel de significancia, en cuanto a la descripción del proceso que se mide; sin embargo, existen ocasiones en los que los factores externos pueden afectar donde, por ejemplo, un aumento del consumo de combustible no se debe a un aumento de la producción, sino más bien a una fuga de este.

En la figura 24 se describe el consumo energético total de la organización en kWh durante el periodo, en este caso, se convirtió el valor de litros de combustible (gas o diésel) en una sola unidad con la intención de poder ser medidas. Por lo que, se muestra un creciente consumo energético.

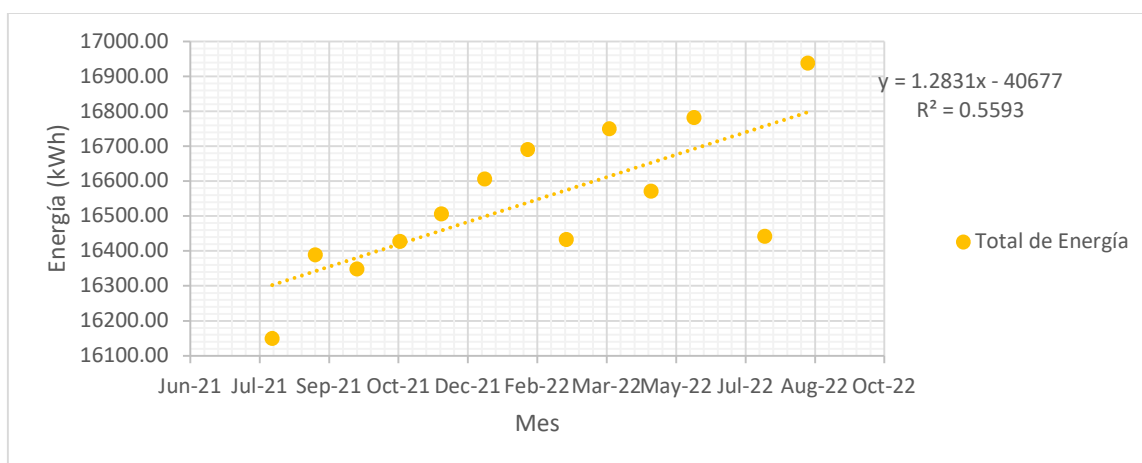


Figura 26. Línea base 1. Energía total consumida por la organización

Fuente: Elaboración propia (2022).

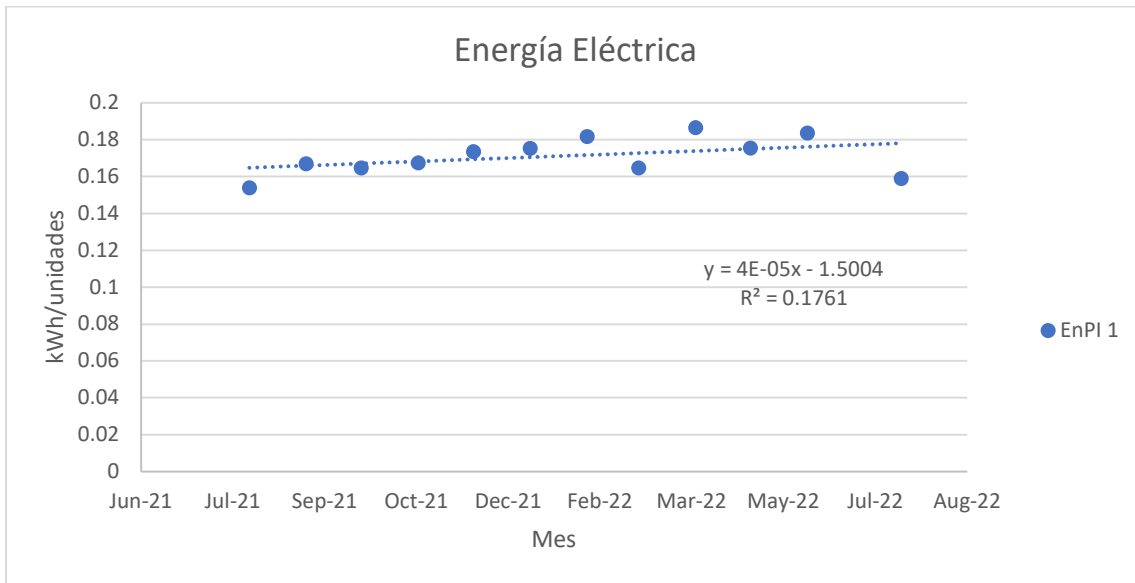


Figura 27. Línea base 2. Energía Eléctrica consumida por unidades producidas en la organización.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Por otra parte, se observa en la figura 26, el consumo de energía eléctrica por unidades producidas. Este indicador es importante, pues contempla todos los demás equipos que se utilizan en el proceso productivo o en el proceso de empaque para distribución.

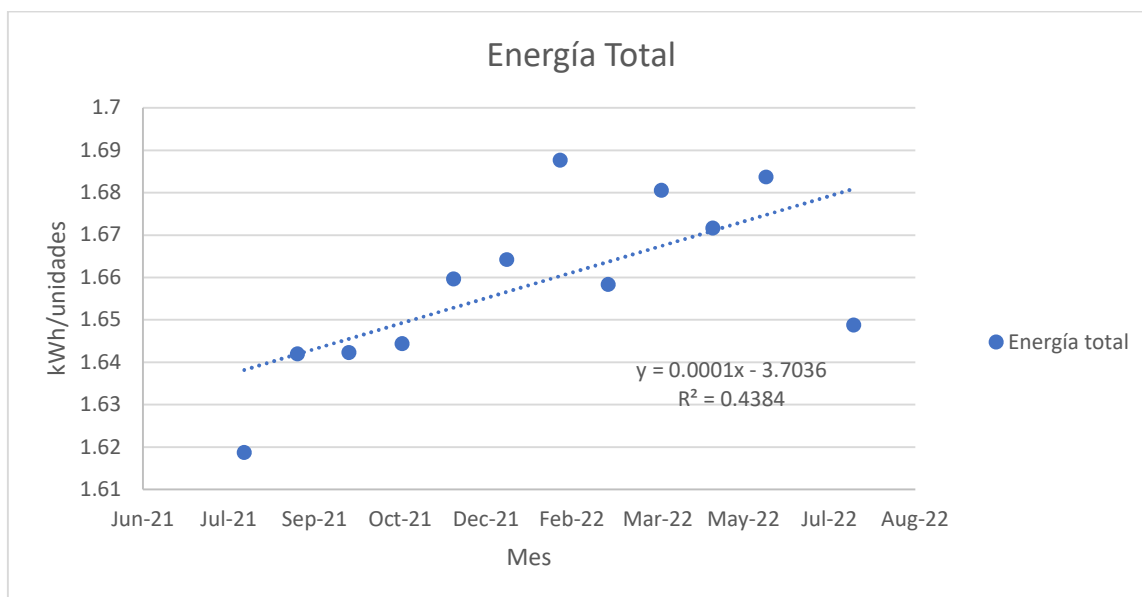


Figura 28. Línea base 3. Energía consumida por unidades producidas en la organización.

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la figura 24 se muestra un indicador muy similar al de la figura 26, en este caso el indicador esta dado por unidades producidas. Este indicador contempla toda la energía empleada en el proceso productivo, ya sea por facturación eléctrica o por combustibles fósiles.

El indicador descrito en la figura 27 hace referencia a los litros de combustible fósil diésel y gas sumados por unidades producidas. Esta elección se hace, debido a que no existe un control de cuáles ni cuántas unidades se procesan en un horno o el otro, únicamente se conocen las unidades que se llevan a los hornos, por lo que para que el indicador tenga validez, se tiene que tomar como una única cifra.

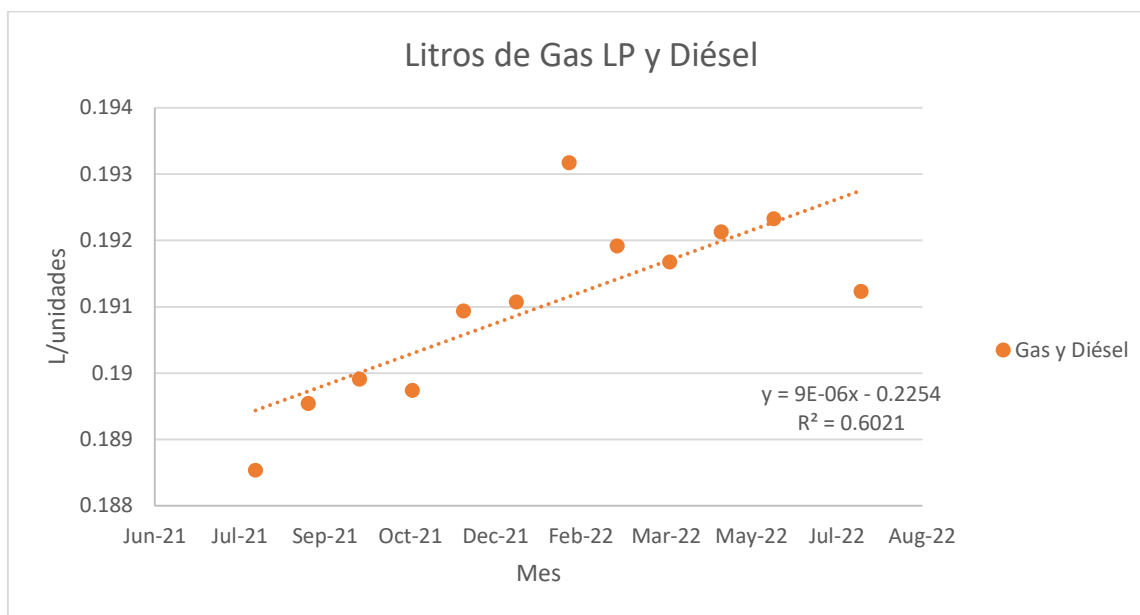


Figura 29. Línea base 2. Energía Eléctrica consumida por unidades producidas en la organización

Fuente: Elaboración propia (2022).

Otro indicador factible que se puede considerar, son los litros de combustible empleado en la producción por horas de funcionamiento de los equipos, dando una perspectiva del rendimiento del equipo, sin menospreciar las posibles variaciones en el volumen de producción. En este caso, se toma una línea base por cada tipo de combustible. Esta es una recomendación que se realiza más adelante.

Oportunidades de mejora

Las oportunidades de mejora que se identifican en la organización tienen gran importancia, pues son estas las que hacen que se dé la mejora del desempeño, de acuerdo con el proceso de mejora continua.

Oportunidad 1.

Al hacer una evaluación de las instalaciones y teniendo en cuenta los lineamientos de la norma ISO 50015, en cuanto al establecimiento de objetivos y metas energéticas, se encuentra una oportunidad de mejora sumamente importante.

Se determinó que en la organización se utilizan equipos que están diseñados para operar a distintas tensiones nominales. La red instalada en la organización es monofásica 120/240 V; sin embargo, hay dos equipos que deberían de estar conectados a una red trifásica 120/208 V.

Los equipos son utilizados diariamente en la empresa, por un lado, el horno que funciona con Gas LP se ha “convertido” para ser conectado a la red mediante el uso de capacitores de arranque y de trabajo. Este tipo de conexión hace que se dé un uso de energía que es cuantificado como parte del sistema, pero que se convierte en pérdidas de energía y consecuentemente, en oportunidades de mejora para el negocio.

También, la batidora de mayor tamaño utiliza un convertidor de fase fabricado empíricamente, de acuerdo con el artículo 455 del Código Eléctrico Nacional en la versión de 2014 lo define como “un dispositivo eléctrico que convierte un sistema eléctrico monofásico en uno trifásico”.

El análisis económico se centra en el rediseño eléctrico y por otro lado, en el rediseño y en el mantenimiento del convertidor de fase, siendo la principal forma de alimentar la batidora, que es pilar de la producción.

Efectivamente, habría un impacto económico al intentar hacer un cambio de tensión, pues la gran mayoría de los equipos que se encuentran en la actualidad son monofásicos, por lo que habría que reemplazar estos equipos también.

Para el nuevo diseño se usará una serie de capacitores adecuados para el arranque del convertidor y para el mantenimiento de la tensión en un valor estable. Se debe utilizar un temporizador que desactive el capacitor de arranque después de que la tensión se estabilice, esta característica en la actualidad no funciona.

En el caso de crear la fase fantasma, la cual se encuentra en malas condiciones, se recomienda hacerle un mantenimiento preventivo si se desea seguir utilizando. Además de eso, al ser un motor tan grande y ser arrancado varias veces al día, se tiene un alto consumo cada vez que se arranca.

Esta oportunidad de mejora no contempla mayores ahorros económicos, más aún se concentra en mantener la disponibilidad del equipo de mezclado.

En la tabla 7 se contemplan los gastos fijos e intangibles que se incurrirían al realizar este proyecto. Se plantea utilizar el motor que se presenta actualmente en las instalaciones, el cual es un equipo de 7.5 HP necesario para suministrar potencia a un equipo que demanda aproximadamente 3 HP. Se tiene que realizar una sobredimensión siempre, debido a que hay bastantes pérdidas asociadas a este diseño.

Uno de los principales objetivos al hacer el rediseño de este equipo, es que actualmente cuenta con un mal balanceo de las fases, por lo que se pueden dar aumentos de temperatura en los bobinados y causar que la vida útil del equipo se vea reducida

significativamente, del mismo modo causa que el equipo conectado se vea forzado a consumir más corriente de línea, por ese mismo efecto.

Detalle	Cantidad	Precio
Capacitores de arranque 161 μ F 240 VAC.	1	¢19.100
Capacitores de trabajo 124 μ F 240 VAC.	1	¢9.600
Gabinete 50x50x20.	1	¢86.000
Bornes de conexiones.	1	¢3.000
Relay con retraso a la conexión.	1	¢13.600
Contactores Trifásico 25 A 240 V.	2	¢13.900
Luz Piloto.	1	¢2.000
Disyuntor 3P 25A.	1	¢10.600
Disyuntor 2P 25A.	1	¢9.500
Botonera tipo manigueta dos posiciones.	1	¢4.800
Consumibles.	N/A	¢11.000
Total		¢194.300

Tabla 7. Materiales necesarios para implementar la Oportunidad de mejora I.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tomando en consideración los materiales que se emplean en la labor, se tiene que considerar la mano de obra técnica, el estudio previo y la revisión post-ejecución, esta información se presenta en la tabla 8.

Detalle	Cantidad	Costo
Estudio previo.	N/A	¢78.000
Mano de Obra técnica capacitada.	N/A	¢48.000
Supervisión.	N/A	¢56.000
Mantenimiento anual.	N/A	Contenido dentro de mantenimiento general
Total		¢182.000

Tabla 8. Consumo de combustible total durante el periodo establecido.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

La justificación para realizar esta mejora, parte de un escenario donde el equipo falla, actualmente este equipo por ser el de mayor tamaño es el que lleva mayor volumen de trabajo, sosteniendo la carga de aproximadamente 70 % de la producción. Por lo que, un solo día en el que el equipo falle o no se pueda usar representa aproximadamente 165.000 colones de pérdida diarios.

Las condiciones actuales del convertidor son bastante malas, por lo que, se sugiere que sea una de las primeras mejoras que se hagan. No solo por la criticidad del equipo al cual alimenta, sino por el inminente riesgo eléctrico que representa.

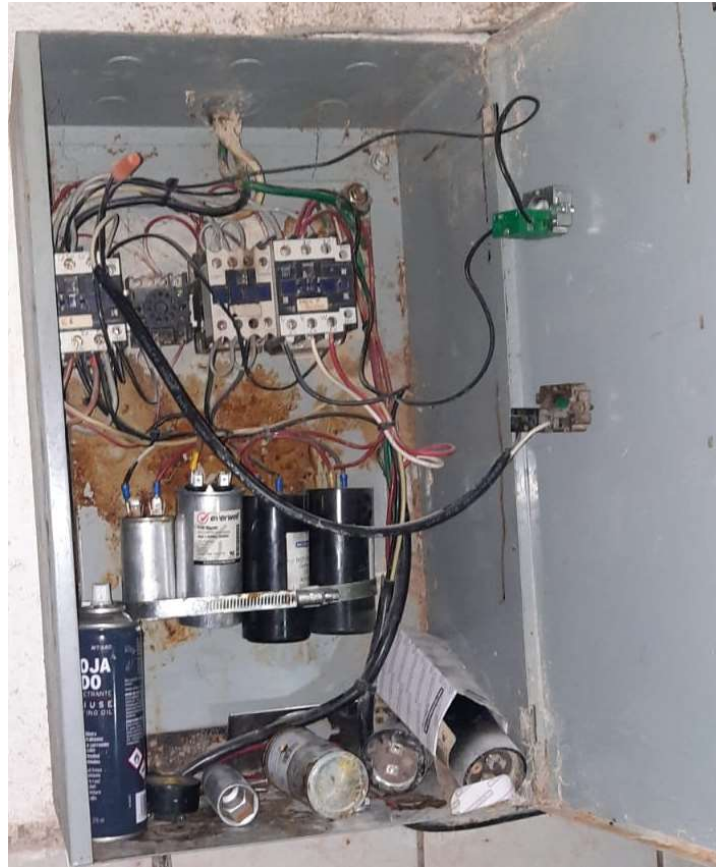


Figura 30. Tablero de control actual del convertidor de fase actualmente.

Fuente: Elaboración propia (2022).

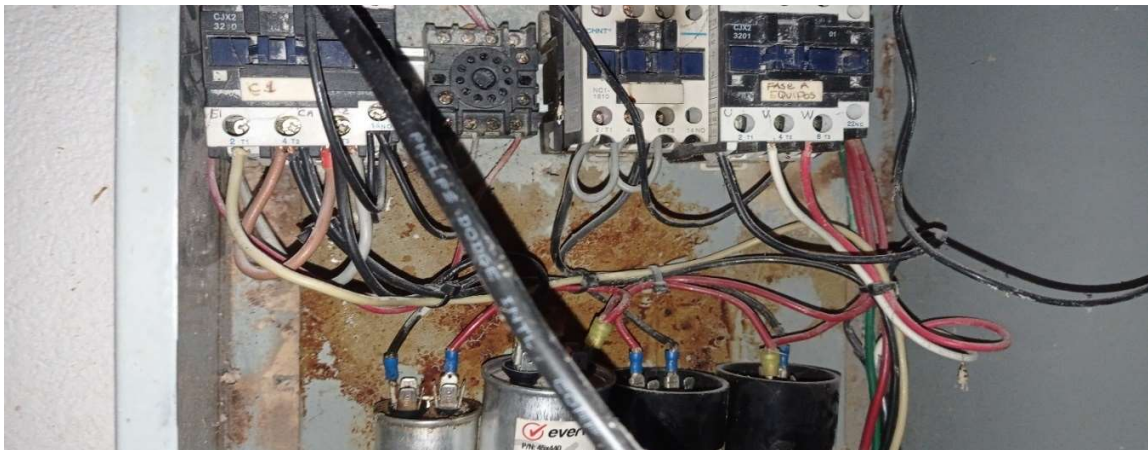


Figura 31. Panel de contactores y capacitores de convertidor de fase actual.

Fuente: Elaboración propia (2022).



Figura 32. Motor Trifásico bobinado 230 V, 5,5 kW. Utilizado para generar fase fantasma, con eje descubierto.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Es importante señalar que, los equipos llamados “convertidores de fase” deben seguir una serie de estipulaciones de seguridad, una de ellas es condenar el eje, para que no exista riesgo de atrapamiento y se pueda causar un accidente.

Oportunidad 2.

Mantenimiento del horno Gas LP

Se ha determinado que el uso de los hornos es desigual y se usa con mayor frecuencia, el horno Diésel para la mayoría de las producciones de artículos pequeños; cuando se producen mayores volúmenes se usan ambos hornos.

Se ha encontrado que hay cierta preferencia al usar el equipo Diesel, pues los colaboradores han señalado que el uso en mayor medida se da porque este equipo los deja en un punto de cocción mejor, que el equipo de gas.

Para subsanar esta oportunidad de mejora se busca realizar un mantenimiento preventivo al equipo de Gas, asimismo un ajuste al motor regulador y al termostato. La proporción de uso del equipo Diésel es mayor que la de su contraparte en Gas, por lo que se estima que, si la mayor carga de trabajo la lleva el equipo de Gas se esperarían ahorros significativos, pues este es de mayor tamaño, aumentando la cantidad de artículos producidos y reduciendo el costo por litro de combustible empleado en el proceso productivo.

Se aplica un mantenimiento al equipo gas LP, mediante una revisión y ajuste de la bomba de combustible y el motor regulador. El costo de mantenimiento supone un costo menor al de la recuperación y si la empresa empieza a utilizar más el horno, se empezará a generar un ahorro.

La etapa de mantenimiento también contempla la reparación de la chimenea del equipo que hace que haya una recirculación de aire caliente, cuando se usa el horno hacia el interior del recinto, por lo que, cuando se utiliza se debe mantener energizado un ventilador.

Como parte de las recomendaciones, se debería además a mediano plazo, realizar el reemplazo del equipo Diésel, pues supone un costo energético mayor y el análisis económico se hace, suponiendo una producción igual en ambos hornos.

Para percibir las ganancias mediante el uso del horno de gas se da utilizando la mayor cantidad de horas, comparativamente con el horno de Diesel, la recuperación se dará por el ahorro en la compra de combustibles; actualmente, en la semana se tiene un uso de aproximadamente 66 h y 40 h del horno de gas.

Por lo que, se sugiere utilizar el horno que funciona a gas LP las 66 h tomando el caudal de trabajo normal y suponiendo que las pérdidas son despreciables de esa manera, se tendría un ahorro estimado de 26h de uso semanales del horno Diesel, así mismo al horno de gas le cabe aproximadamente 25% más producto que el horno de diésel.

Combustible	Horas Mensuales	Costo Mensual	Litros
Gas	173	¢380.000	928
Diesel	286	¢604.000	820
Total		¢984.000	

Tabla 9. Resumen uso de horas de uso de los equipos y costos actuales.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Combustible	Horas Mensuales	Costo Mensual	Litros
Gas	286	¢625.000	1520
Diesel	138	¢275.000	375
Total		¢900.000	

Tabla 10. Detalle de uso, si se usara el horno Gas LP con mayor frecuencia.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Obteniendo un ahorro mensual aproximado de 84 000 colones mensuales solo con darle mayor uso al equipo, además se toma un 10% de porcentaje de error obteniendo un ahorro aproximado final de 75 000 colones por mes. En esta oportunidad de mejora se sugiere darles mantenimiento a los hornos, unas dos veces por año; sin embargo, este costo no se toma en consideración, pues se sale del alcance de este proyecto.

Descripción	Cantidad	Costo
Mano de Obra técnica	10h	¢65.000
Materiales y consumibles	-	¢165.000
Total	-	¢230.000

Tabla 11. Detalle de los costos de implementación de la oportunidad 1.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Mediante este modelo se tiene un ahorro de aproximadamente 900.000 colones anuales, sólo mediante la mejora de la oportunidad de mejora.

Modelo de Monitoreo

Se encontró que determinar el desempeño energético de la empresa es bastante difícil, cuando no se tiene una idea clara de los tiempos de uso de los equipos; las cantidades de insumos que se usan en la elaboración de los productos y la cantidad que se produce de los mismos.

Es por ello, por lo que surge la necesidad de crear un prototipo para poder medir algunas de las variables consecuentes al desempeño energético, específicamente, el USO y el CONSUMO de energía.

En los capítulos anteriores se determinó que, los hornos son los equipos que representa el mayor uso significativo de la energía; sin embargo, cabe señalar que la norma sugiere que los equipos que representan USE pueden ser aquellos que tengan más oportunidades de mejora.

Se determinan las variables útiles para determinar el consumo energético, específicamente, el voltaje, la corriente y la potencia real. En este caso como la PYME maneja una tarifa comercial que está por debajo de los 3000 kWh, no se contempla el factor de potencia, ni la demanda. El cálculo de la energía consumida se realiza, tomando la potencia promedio en una hora.

La medición de las variables se realiza mediante el uso del circuito integrado (CI) ACS71020 que mide las variables necesarias; cabe notar que la medición de la corriente se realiza mediante la interrupción de la fase, esto puede verse como una desventaja, porque es una forma de medir un poco más invasiva que utilizar un transformador de corriente, pero como se pretende utilizar el prototipo dentro del gabinete de contactores que controlan los modos y motores del horno y al ser un medidor que se mantendrá a largo plazo, se supera el mencionado inconveniente.

Finalmente, las variables que se miden son enviadas a una base de datos para su eventual procesamiento.

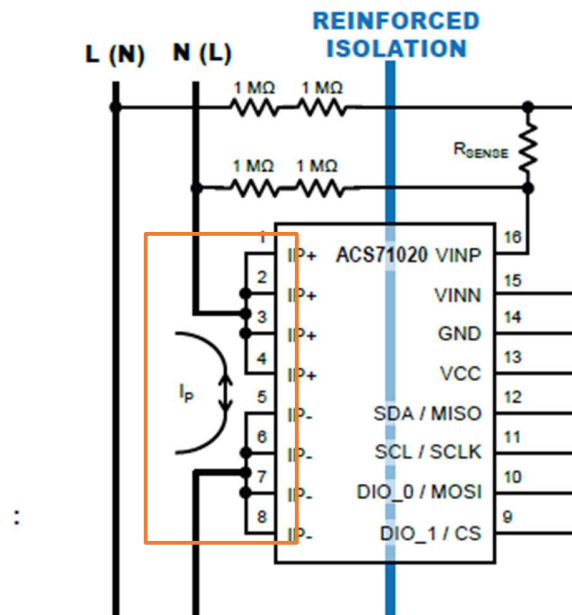


Figura 33. Diagrama de patillas del circuito ACS71020.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Prototipo

Para construir el prototipo se puede a partir de la lista de materiales de la tabla 12, dependiendo de la aplicación, se podrían hacer algunas modificaciones a estos, los precios fueron estimados a la fecha de realización.

Componente/ Equipo	Cantidad	Costo	Uso o Función
Tarjetas Impresa	2	∅5.132,75	Base para el Circuito Integrado medidor y los componentes asociados.

ESP32 Lollin	2	€4.476	Microcontrolador utilizado para enviar los datos por MQTT.
CI ACS 71020	2	€4.860	Circuito integrado medidor de corriente, voltaje y otras variables eléctricas.
Cables conectores	Varios	€1.500	Conectar los dispositivos que no pueden soldarse entre sí
Conectores	6	€800	Conexión de la fuente de energía y área de potencia.
Resistencias	16	€1.200	Reducción del voltaje o como resistencias “pull up”
Caja para conexiones	2	€2.250	Contener las conexiones y prevenir el ingreso de polvo.

Total prototipos)	(dos		€60.437,5	
--------------------------	-------------	--	-----------	--

Tabla 12. Lista de materiales para el diseño del prototipo.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Uno de los primeros pasos para la construcción es el diseño, el diagrama de las conexiones para poder comunicar el CI ACS 71020 con el ESP32 S2.

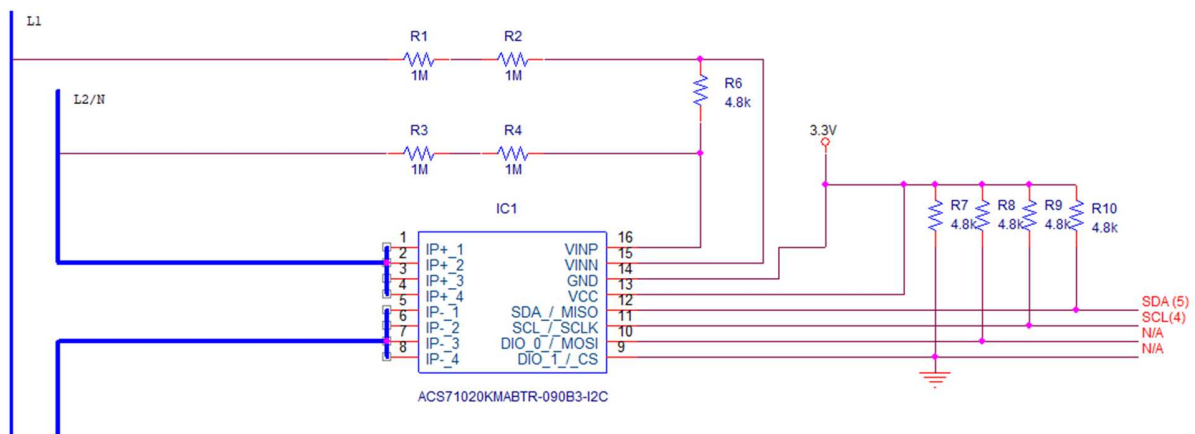


Figura 34. Diagrama de conexiones para CI ACS71020 con protocolo I2C.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Las resistencias R1-R5 se utilizan para disminuir el valor del voltaje en la entrada del CI, se puede configurar las entradas con tierra aislada o sin esta, ver anexo 3.1 y 3.2. La resistencia junto con el pin 9 (DIO_1) son puestas a tierra para asignar una dirección fija cuando se activa el CI, ver anexo 3.3. Se observa en la figura 35 que la alimentación del CI es a 3.3 V.

El Circuito Integrado de 16 patillas viene empaquetado en SOICW, por lo que, no es apto para ser montado en una “protoboard” y se tiene que diseñar un circuito, para que se pueda soldar.

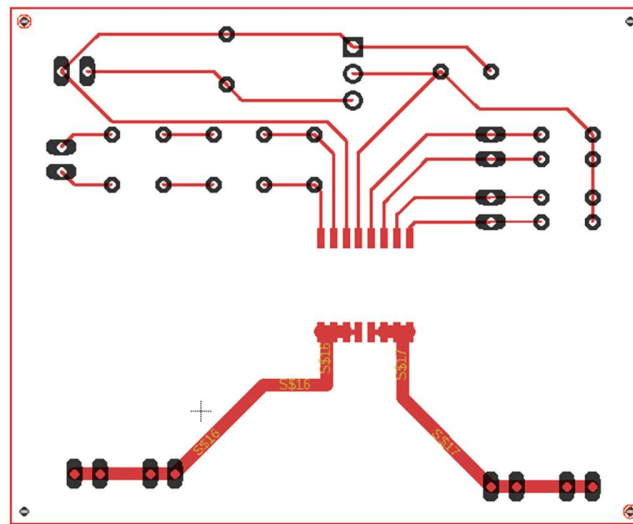


Figura 35. Diagrama de circuito para soldar ACS71020.

Fuente: Elaboración propia (2022).

El diseño de la placa se hace de manera sencilla y de una sola capa, se copia a una placa de baquelita con cobre y se elimina el exceso de cobre; este procedimiento de “imprimir” placas es un método un poco más rudimentario que los métodos modernos que existen en la actualidad, los cuales implican procesos de deposición.

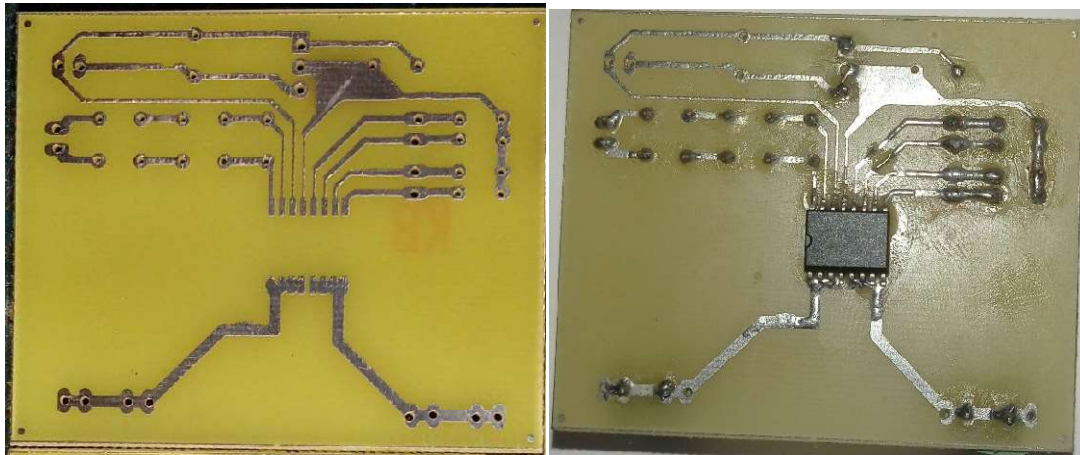


Figura 36. Detalle de Circuito impreso y CI ACS71020.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Al ser un prototipo, se utilizan cables para hacer las conexiones entre el CI y el ESP32 S2 mini, las conexiones de la fuente de voltaje y la conexión a las líneas L1 y L2/N; también se hace con estos cables, pues se transporta muy poca corriente a través de ellos. No se toman en cuenta, las caídas de tensión ni la posible interferencia en la señal que la longitud de los cables pueda introducir.

El ESP32 S2 se alimenta y configura a través de USB-C que contiene un regulador de voltaje a 3.3V que permite alimentar el CI ACS71020 directamente, utilizando únicamente una fuente externa.

Las mediciones que se hacen utilizando este prototipo, son en tensiones monofásicas, pues el equipo de medición puede medir únicamente una tensión; para medir tensiones trifásicas sería necesario tener un circuito integrado por fase y realizar un ajuste en la lógica; una limitante en ese caso también sería que el microcontrolador usado solo

puede manejar dos circuitos integrados, pues únicamente puede usar dos protocolos I2C simultáneamente.

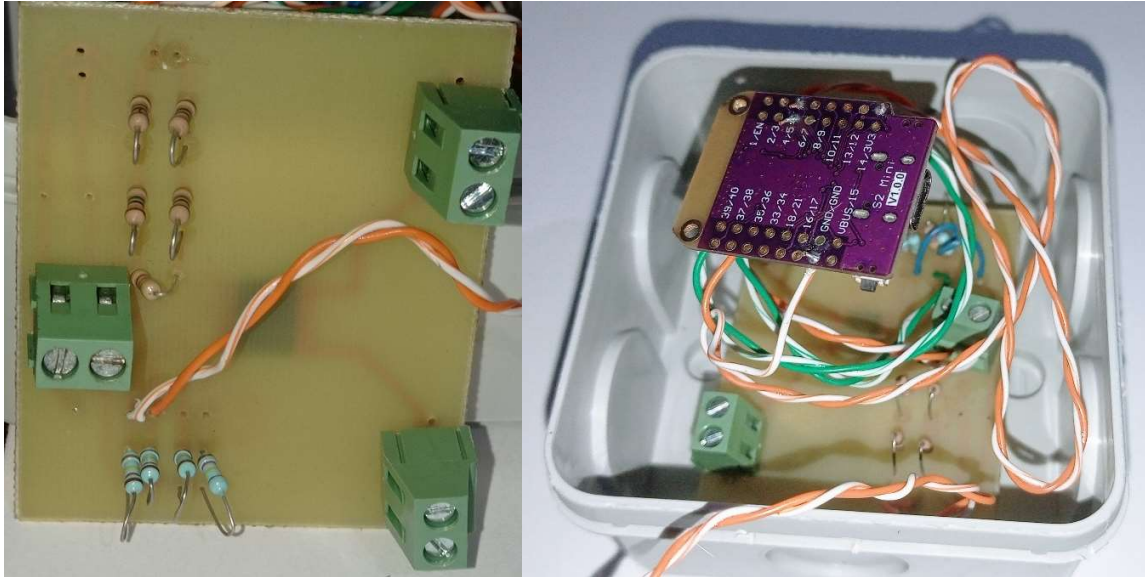


Figura 37. Detalle del prototipo de medición en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Para proteger el circuito de golpes, polvo o humedad se usa una caja de paso de plástico, además se prevé colocar el equipo en el gabinete de los contactores de control del horno, por lo que, este contará con mayor protección.

Programación

La programación del microcontrolador se realiza utilizando Micropython, que es una implementación de Python 3 de código abierto que se implementa en el hardware puro. Para poder comunicar el Microcontrolador con internet para el envío de los datos, se usa una librería openSource disponible en línea, que hace uso del protocolo MQTT.

Para el servidor MQTT se usa la versión gratuita de EMQx, que no tienen ningún límite de usuarios siempre y cuando se alojen con los recursos propios. Por otro lado, la base de datos donde se almacena la información es InfluxDB, que es una base de datos de datos seriales, comúnmente usada para guardar estadísticas y datos que varían en el tiempo, también se utiliza para guardar los datos pertinentes para el usuario.

Portal

Como parte del desarrollo del prototipo de monitoreo en tiempo real, es necesario diseñar un modo de visualizar los datos, el prototipo envía los datos a un servidor MQTT en la nube donde es posible visualizar los datos, pero donde no se pueden manipular.

Debido a que los datos que produce el circuito medidor deben de ser calibrados y procesados, se tiene que poder acceder a ellos. Se pueden procesar los datos desde el microcontrolador; sin embargo, el dispositivo tiene un límite al que se llega rápidamente, debido a la gran cantidad de variables que se muestrean, por lo que se prefiere mandar los datos lo más pulidos posibles, pero de modo que tenga el menor costo de recursos posible para el microcontrolador.

Los datos que se envían al servidor MQTT no son persistentes, es por eso que además de este servidor, se necesita emplear una base de datos; en este caso se utiliza una base de datos de series de tiempo muy comúnmente usadas en los proyectos donde hay bastantes datos, como los IoT.

El “diseño del portal” como se decide nombrar, se hace usando JavaScript, un lenguaje de programación bastante sencillo. Específicamente, se utiliza un framework llamado VUE que brinda beneficios para el desarrollo de páginas web, de manera más sencilla.

El enfoque del desarrollo del prototipo es poder realizar la medición de las variables eléctricas de aquellos equipos que tienen mayor impacto en el modelo de negocios. Se toma en consideración que, las variables eléctricas no son las únicas que intervienen en el proceso productivo; sin embargo, los equipos necesariamente funcionan utilizando electricidad por lo que, aunque su principal fuente de energía es el gas o el diésel, la electricidad es necesaria.

Con la medición de las variables eléctricas se puede realizar una serie de predicciones u obtener información relevante del proceso y del funcionamiento de los equipos.

La página web (<https://metrics.mptex.tk>) que se diseñó, permite ver los grupos de variables mostradas en la figura 38, donde cada uno de los grupos contiene variables asociadas, por ejemplo, la corriente y el voltaje tienen los valores RMS y los valores instantáneos; la potencia y contiene la potencia aparente, real, imaginaria e instantánea. Por cuestiones de facilidad, la potencia real se extrajo también, de su grupo.

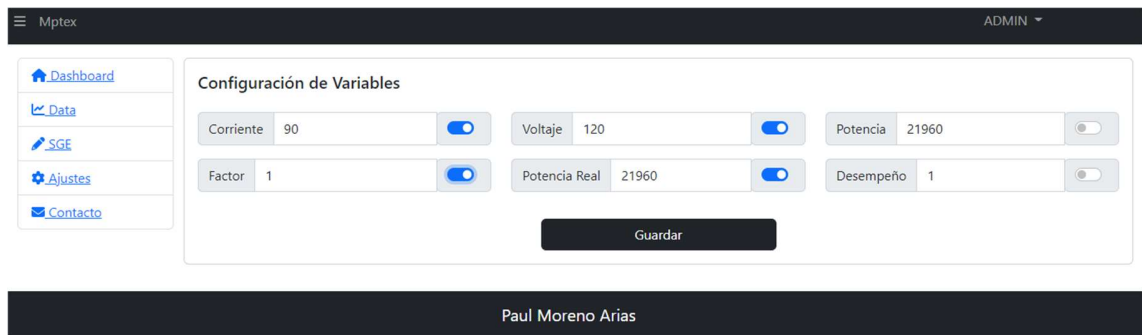


Figura 38. Cuadro de configuración de las variables eléctricas para ser visualizadas.

Fuente: Elaboración propia (2022).

En esta pantalla de configuración, también se deben establecer los valores nominales de las variables, por ejemplo, si se va a conectar a 120 V o a 240 V.

Se puede observar en la figura 39, las mediciones en tiempo real de la potencia activa, aparente e imaginaria en un mismo grafico para el equipo de prueba.



Figura 39. Visualización de las variables eléctricas.

Fuente: Elaboración propia (2022).

El sistema de visualización también permite revisar los datos en forma tabular, en caso de que se quiera ver a detalle los datos, esto puede ser observado en la figura 38.

Voltaje Instantaneo	Voltaje RMS	Time
0.3353271	0.4967346	16:07:36
-0.9102478	0.4967651	16:07:37
-0.4255219	0.4972229	16:07:38
-0.3220673	0.4963074	16:07:40
-0.6830597	0.497345	16:07:41
0.2436371	0.4986877	16:07:42
0.6402283	0.4981995	16:07:43
0.6782684	0.5062256	16:07:44
0.3816986	0.5040283	16:07:46

Figura 40. Visualización de las variables eléctricas.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Se explora, realizar el cálculo de dos datos que no son directamente provistos por el equipo de medición, pero que igualmente pueden ser obtenidos, los mismos son la energía eléctrica y las horas de funcionamiento.

La energía eléctrica empleada por el equipo se calcula usando el dato de potencia real que calcula el microcontrolador ACS71020 internamente, usando la ecuación 1, a saber:

$$P_{real} = \frac{\sum_{n=0}^{n=N-1} P_n}{N} = \frac{\sum_{n=0}^{n=N-1} (I_n \cdot V_n)}{N} [W] \quad (1)$$

Donde los valores P_n , I_n y V_n son los valores instantáneos de potencia, corriente y voltaje, respectivamente. El cálculo de la energía se realiza usando la ecuación 2,

suponiendo que cada medición de potencia dura aproximadamente, un segundo lo que permite obtener, a saber:

$$E_n = \frac{P_{real}}{1000 \cdot 3600} [kWh]$$

Para obtener los valores diarios, simplemente se debe realizar la suma algebraica durante el periodo, pues ya son dimensionalmente adecuadas. En el portal se pueden observar los datos de energía, de manera diaria o de forma mensual.

Valor	Fecha
0.74 kWh	25/9/2022, 18:00:00
0.75 kWh	26/9/2022, 18:00:00
0.65 kWh	27/9/2022, 18:00:00
0.72 kWh	28/9/2022, 18:00:00
0.66 kWh	29/9/2022, 18:00:00
0.30 kWh	30/9/2022, 18:00:00
0.33 kWh	1/10/2022, 18:00:00
0.71 kWh	2/10/2022, 18:00:00

Figura 41. Visualización de la energía de forma diaria.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Valor	Fecha
13.93 kWh	30/9/2022, 13:23:02

Figura 42. Visualización de la energía de forma mensual.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Otra variable clave que puede ser medida de forma precisa, es el tiempo de funcionamiento de los hornos, siendo el proceso de horneado, el que conlleva el mayor consumo de energía; es importante notar que el tiempo de funcionamiento no necesariamente representa el tiempo que se aplica en el proceso productivo como tal, pues existen algunas etapas previas que no se contemplan.

El tiempo de uso de los equipos pueden dar una idea de la proporción de uso del equipo comparado con las unidades producidas. Se puede observar en la figura 43, las horas de funcionamiento de manera diaria y en la figura 44, las horas de manera mensual.

Valor	Fecha
4.72 h	25/9/2022, 18:00:00
4.83 h	26/9/2022, 18:00:00
4.16 h	27/9/2022, 18:00:00
4.60 h	28/9/2022, 18:00:00
4.23 h	29/9/2022, 18:00:00
1.88 h	30/9/2022, 18:00:00
2.06 h	1/10/2022, 18:00:00
4.42 h	2/10/2022, 18:00:00
4.25 h	3/10/2022, 18:00:00

Figura 43. Visualización de las horas de forma diaria.

Fuente: Elaboración propia (2022).

La medición de estas variables es de suma importancia para poder llevar el control de los indicadores de desempeño energético claves que han sido propuestos y se alinean con los objetivos decisivos para la organización.



Figura 44. Visualización del uso en horas de manera mensual.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Etapas final

Mediante el diseño del prototipo físico se encontraron algunas oportunidades para mejorar el dispositivo a futuro; se encontró que sería mucho más sencillo, manejar la medición de la corriente utilizando un transformador de corriente, con la finalidad de no interrumpir la línea, esta posible mejora debe ser integrada con el circuito integrado medidor.

Por otro lado, también es importante reducir las distancias de los cables, ya que pueden generar ruido en el circuito o simplemente, son partes que tienden a fallar más fácilmente, debido a la manipulación; es por ello que, un mejor diseño del circuito impreso donde se puede directamente colocar el microcontrolador sería ideal.

El portal debería de tener la opción de poder sincronizar más dispositivos, en caso de que la organización, decida incrementar la cantidad de medidores en tiempo real.

Prototipo de SGEN

Al evaluar el proceso productivo de la organización surge una necesidad para poder mantener el Sistema de Gestión de la Energía, ya que mucha de la información que maneja la empresa es de manera tradicional, en cuadernos, lo que implica que se centraliza la información y es más proclive a que se pierda o se corrompa.

Es por ello por lo que, se decide diseñar dentro del portal de visualización de las variables en tiempo real, un apartado donde se puedan ingresar los datos de consumo eléctrico de la organización en general; de los consumos de gas o de diésel y por otro lado, la cantidad de artículos que se producen también, de este modo, se tiene un punto central, donde manejar la información.

En la figura 43 se observa el formulario que se usa para ingresar los datos al sistema, en el mismo se tiene que elegir la fecha que por defecto carga la actual; se elige si los datos que se van a ingresar son combustible o electricidad y en caso de ser combustible, se elige el tipo para la organización, las opciones son diésel o gas LP.

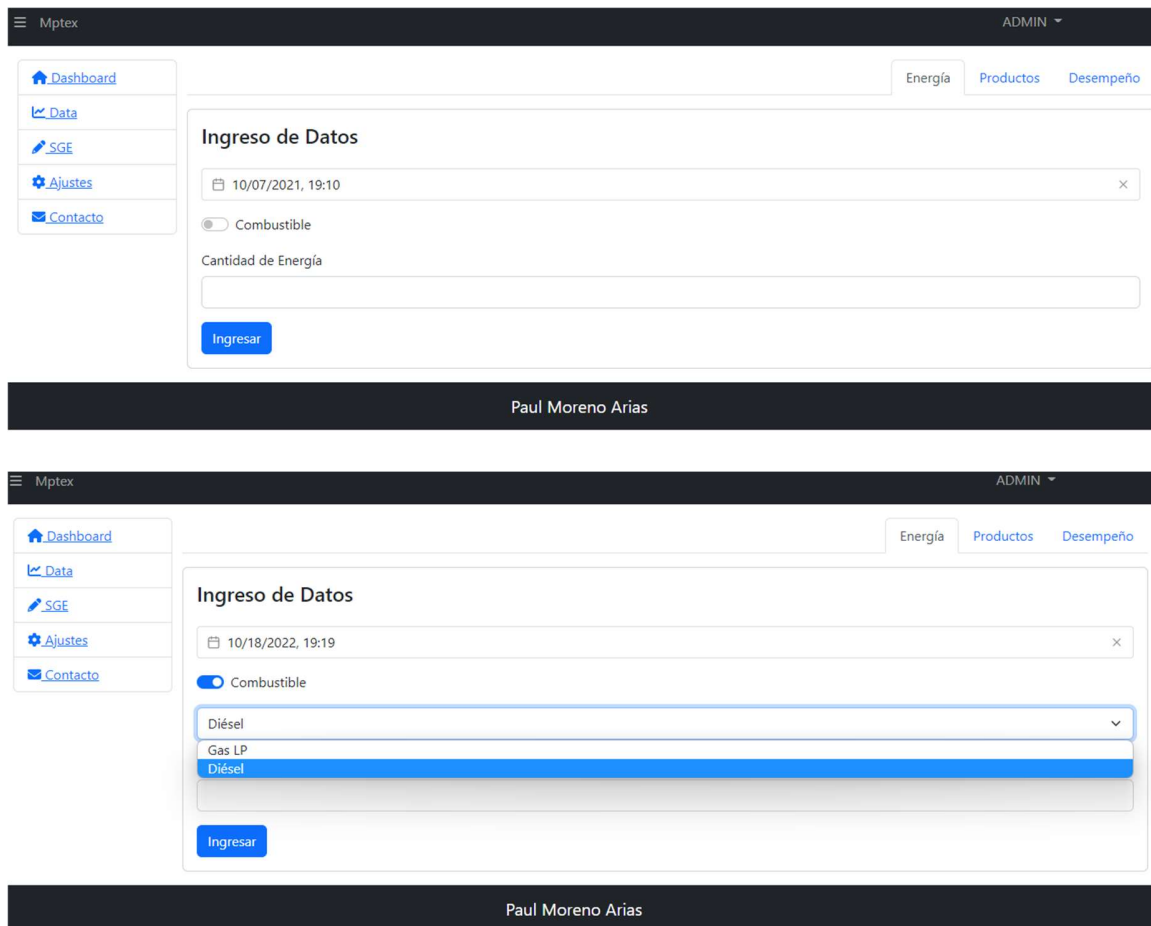


Figura 45. Formulario de ingreso cantidad de energía o combustible comprado.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Se desarrolló también, un formulario para manejar la cantidad de unidades que se producen diariamente, este puede ser visualizado en la figura 44.

El manejo de las unidades que se elaboran es crucial para conocer el desempeño de la organización, por lo que, tener un control de la producción es clave para el cálculo y monitoreo de los indicadores de desempeño energético.

The image shows a web application interface for data entry. At the top, there is a dark header with 'Mptex' on the left and 'ADMIN' on the right. Below the header is a navigation bar with three tabs: 'Energía', 'Productos', and 'Desempeño'. On the left side, there is a sidebar menu with five items: 'Dashboard', 'Data', 'SGE', 'Ajustes', and 'Contacto'. The main content area is titled 'Ingreso de Datos' and contains a form with the following fields: a date and time field showing '10/07/2021, 19:10', a dropdown menu for 'Horno' with 'Diésel' selected, and an empty text input field for 'Cantidad de Unidades'. A blue button labeled 'Ingresar' is positioned below the input fields. At the bottom of the page, there is a dark footer with the name 'Paul Moreno Arias'.

Figura 46. Formulario de ingreso de la cantidad de unidades producidas.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Como parte del formulario de ingreso de datos referente a las unidades producidas, es necesario suministrar la fecha en la que se elaboraron las unidades, por defecto se carga a la actual, también se ingresa el horno en el que se les dio el proceso.

Este dato es clave para poder determinar, cuál equipo se utiliza más o con cuál horno se producen más unidades, la información puede indicar si los objetivos en este aspecto, se están cumpliendo o no. Por último, se debe suministrar en el formulario, la cantidad de unidades.

Una vez que se rellenan regularmente, el formulario produce una tabla con información relevante a los ingresos de energía y la cantidad de unidades que se procesan, teniendo en cuenta, las fuentes de energía que se usan para dicha elaboración.

En la figura 45 se puede observar un ejemplo de cómo se muestran los datos que han sido ingresados al sistema de captación.

The screenshot shows a web interface with a dark header containing 'Mptex' and 'ADMIN'. A sidebar on the left lists navigation options: Dashboard, Data, SGE, Ajustes, and Contacto. The main content area is titled 'Listado de Datos' and contains a table with the following data:

Tipo de Producto	¿Es combustible?	Tipo de Combustible/Horneado con	Cantidad	Fecha
Energía	No	Electricidad	1600	18/10/2022, 19:19:39
Energía	Sí	Gas LP	200	18/10/2022, 19:17:43
Energía	Sí	Gas LP	100	18/10/2022, 19:17:15
Producto	No	Gas LP	1000	18/10/2022, 19:19:22
Producto	No	Diésel	870	18/10/2022, 19:19:30

At the bottom of the dashboard, the name 'Paul Moreno Arias' is displayed.

Figura 47. Detalle de los consumos y producción en formato tabular.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

Mejoras convenientes

El desarrollo de un sistema para el manejo del sistema de gestión de energía es necesario para mantener el control de los objetivos y metas energéticas, por lo que este sistema planteado tiene varias áreas de mejora y nuevas funcionalidades que se desean trabajar para lograr una mejor eficiencia de este, entre las que se puede rescatar: el desarrollo de una pantalla de visualización de los indicadores de desempeño importantes para la empresa; también, es importante que el usuario tenga la capacidad de crear nuevos indicadores basados en los datos que se tiene.

En la misma línea anterior, se puede desarrollar una pantalla para el cálculo de las líneas base de energía y establecer las líneas de tendencia importantes, del mismo poder ver las líneas base y los indicadores de desempeño, de manera gráfica y de forma tabular.

Capítulo IV. Cuadro de mando

El cuadro de mando integral se utiliza para el manejo de las metas y los objetivos que se plantean a raíz del sistema de gestión de energía. Este brinda una perspectiva de las métricas más importantes en el negocio que se relacionan con los indicadores de desempeño energético, a su vez contemplan los planes de acción que logra hacer que el MGEN se alinee con las estrategias de la empresa, siempre enfocados en el aumento del valor de la empresa, haciendo mediciones periódicas.

En este apartado se desarrolla un cuadro de mando integral relacionado con los objetivos de la empresa, en especial con la visión de esta. Es necesario que, dentro del cuadro de mando integral, los indicadores sean cuantificables.

Para desarrollar este modelo, se tienen que tomar una serie de perspectivas que son necesarias para el negocio, que giran en torno a su visión estratégica. La realización de este proceso requiere de una planeación fundamental y tener un ciclo de mejora, pues el cuadro de mando integral no es estático y requiere de modificaciones a lo largo de su implementación.

Un Cuadro de mando integral bien delimitado, distribuye las responsabilidades a los altos directivos y mediante un proceso de sensibilización, una comunicación y extensión a los demás colaboradores.

La empresa ha tenido retos significativos con las variaciones de la demanda, por lo que una de las principales nociones que se tiene al partir con el CMI, es desarrollar un análisis FODA del negocio, respecto al proyecto presentado.

Fortalezas	Oportunidades
<p>-La cantidad de empleados de la empresa permite que las decisiones de la alta dirección sean transmitidas a toda la organización.</p> <p>-El tamaño de la empresa permite que el alcance de este proyecto se pueda aplicar a toda la organización y no a un solo proceso.</p> <p>-Al haber menos procesos, pueden existir menores oportunidades de mejora.</p>	<p>-Aumento del volumen en la línea de producción estrella.</p> <p>-Promociones para atracción y retención de los clientes.</p> <p>-Ausencia de competidores en las zonas aledañas a la organización.</p> <p>-Expansión de los despachos de venta.</p> <p>-Mantenimiento de los equipos críticos en el proceso productivo para mantener una alta operabilidad.</p>
Debilidades	Amenazas
<p>-La empresa no cuenta con demasiada liquides económica.</p> <p>-Ausencia de personal técnico capacitado.</p> <p>-Equipos antiguos.</p>	<p>-El modelo tradicional bajo el que funciona la organización, puede impedir la innovación.</p> <p>-La volatilidad del precio de los combustibles fósiles.</p>

Tabla 13. Análisis FODA para el enfoque del proyecto SGEN en el modelo del negocio.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Perspectiva financiera

Esta perspectiva del negocio es crucial, ya que es por la cual, este se mantiene a flote, alineando la perspectiva económica con la visión del negocio, se tienen dos objetivos primordiales.

En esta perspectiva se desean reducir los costos asociados a la facturación por litros de combustible y aumentar el volumen de artículos producidos en el horno que funciona a gas.

Reducción del consumo de combustibles

La fluctuación del precio de los combustibles fósiles tiene un impacto sobre los costos de producción, por lo que, la reducción del consumo energético de estas fuentes, supone un alivio económico.

Para visualizar este indicador, se toman los litros de combustible (gas y diésel) de la siguiente manera:

$$rc = \frac{c_{act} - c_{pas}}{c_{act}} \cdot 100$$

Los límites propuestos para este indicador, mensualmente mínimo de 2% y máximo un 5% de reducción del combustible fósil, más allá de eso, podría generar un impacto sobre la producción, es por eso por lo que, este indicador no se puede tomar solo, sino que debe ser analizado con indicadores de producción.

Aumento de artículos producidos en horno Gas LP

El mayor volumen que permite producir de artículos este equipo, significa un aumento de los productos que pueden ser vendidos, aumentando el volumen de ingreso de dinero potencial; un aumento de la cantidad de productos hechos usando este equipo, puede suponer un aumento del tiempo de uso, por lo que también, se considera la proporción de

uso entre los equipos de gas y diésel para garantizar que el combustible que concentra la mayor carga de trabajo, sea el Gas LP, esto por su diferencia de precio-volumen.

$$aa = \frac{Productos_{act} - Productos_{pas}}{Productos_{act}} \cdot 100$$

Los límites establecidos para la cantidad de productos producidos en el horno de gas, deben de tener una tendencia positiva cada mes, por lo que se debería aumentar la cantidad y porcentualmente, se puede tener un rango entre un 10% y un 20% hasta que se alcance su máximo valor.

$$hu = \frac{Horas_{gas} - Horas_{diesel}}{Horas_{gas}} \cdot 100$$

Las horas de uso de los hornos debe reflejar la mayor carga hacia el horno de gas, pero eso se debe hacer progresivamente, hasta alcanzar el máximo; los límites que se pueden tener mensualmente, son mínimo de un 10% y hasta un 45%.

Reducción de los productos devueltos

Como parte del modelo de negocio, la empresa provee a vendedores de la zona de los artículos producidos por la empresa; en ocasiones cuando los artículos no son vendidos o se descomponen antes de lo esperado, son devueltos a la empresa.

Este hecho supone una pérdida o ausencia de dinero que se deja de percibir, por lo que, es necesario que se reduzca al mínimo, estableciendo las estrategias que se consideren convenientes, visualizando esto a través de un indicador.

$$PD = \frac{Productos_e - Productos_{reto}}{Productos_e} \cdot 100$$

El límite de los productos devueltos debe ser el menor posible, por lo que mensualmente, este debe ser menor que el del mes anterior, por lo que se espera un mínimo de 10% y un máximo de un 25%.

Perspectiva del Cliente

Los clientes son la base piramidal del negocio, por lo tanto, es necesario mantener una estrecha relación con los clientes de modo que, se puedan cumplir las necesidades que estos puedan presentar y generar ideas innovadoras que causen que nuevos clientes, se acerquen y conozcan el negocio.

La cantidad de productos disponibles en urnas y en bodega debe ser suficiente, para que el cliente tenga la variedad para elegir y que estos mantengan la calidad que los clientes esperan.

Unidades producto disponibles

Los clientes frecuentan el establecimiento en la organización destinado para la venta de productos, debido a que desean adquirir un artículo; en muchas ocasiones el cliente no

tiene una idea muy clara de cuál es el producto que desea adquirir, por lo que una mayor variedad y mayor volumen ayudará a que los clientes se vayan satisfechos.

Los productos disponibles deben ser aquellos que los consumidores más buscan, por lo que como parte del indicador, se tiene un peso para determinar la prioridad de disponibilidad de ese artículo.

$$UD = \frac{\text{Unidades Urnas}}{\text{Unidades Max}} \cdot 100$$

Para el manejo de las unidades disponibles, se guarda una parte en urnas o en bodega de producto empacado para tener disponible; además se tiene que estar verificando la cantidad de producto para saber si se tiene que fabricar más. Estos valores deben de mantenerse entre 25% y 100%.

Perspectiva interna

Dentro de la organización existen dinámicas que se deben considerar para garantizar el correcto funcionamiento de los planes y estrategias claras de la alta dirección que se desee establecer.

El mantenimiento de los equipos es clave para lograr que la productividad se mantenga, ya que los tiempos de baja en los equipos, afectan todos los aspectos de la empresa.

Tiempo de Mantenimiento

El funcionamiento de los equipos, depende de muchas variables, entre ellas: la cantidad de horas de uso y las horas de mantenimiento que se destinen. El enfoque del mantenimiento en la perspectiva interna hace referencia al enfoque de la organización, de mantener los equipos funcionando adecuadamente y con altas disponibilidades.

La empresa no ha establecido como prioritario, destinar tiempo para el mantenimiento es por eso que, este indicador es clave para la continuidad de la operación y producción.

$$TMp \geq 16 h \text{ (anuales)}$$

Por el modelo de negocio que tiene la organización se producen muchos residuos que pueden causar que, a largo plazo, los equipos se vayan deteriorando. Se estima que al menos es necesario dedicar 16 horas al año para darle mantenimiento preventivo a los equipos.

A pesar de que los equipos con los que cuenta la organización son de segunda mano o son antiguos y no es posible establecer la vida útil remanente, es importante darles mantenimiento para evitar los fallos inesperados.

Con el modelo de monitoreo en tiempo real que se planteó, también se puede extender la arista del mantenimiento, pues se puede llevar un control mucho más preciso de los tiempos de uso de estos equipos clave y poder establecer tiempos adecuados de mantenimientos, basados en la carga de trabajo que tenga el equipo.

Eficiencia del proceso

Para la empresa es esencial que el proceso productivo sea lo más eficiente posible y esto incluye que no se desperdicien los materiales, ni que los tiempos de preparación sean excesivos, siempre tomando en cuenta que hay artículos que se necesitan dejar crecer para que tengan el volumen adecuado. La eficiencia del proceso entonces, se tiene como indicador de modo que:

$$eP = \frac{\text{Horas de Producción}}{\text{Unidades producidas}} \cdot 100$$

Este indicador se debe encontrar entre 2.5% y 3.5%.

Aprendizaje e innovación

Los colaboradores de la empresa en la gran mayoría, son familia, por lo que existe un grado de confianza que hace que las acciones y procesos funcionen de mejor manera; sin embargo, es importante que los encargados de la organización se enfoquen y comuniquen las ideas importantes, los objetivos y las acciones que se necesitan tomar para obtener los resultados deseados.

Es necesario destinar tiempos, para que los colaboradores aprendan y sean capacitados en los nuevos procesos y pueden visibilizar las oportunidades; así mismo que puedan proveer retroalimentación de sus perspectivas en la empresa.

Tiempo de Capacitación

En el tiempo de capacitación es importante que el colaborador aprenda y entienda los objetivos y metas que plantea la alta dirección; el tiempo que deben de tomar en las capacitaciones, depende de que también conozcan el proceso o cuántas horas al día pasen trabajando para la organización.

$$T_c = \frac{\textit{Tiempo laborado} - T_{\textit{capacitacion}}}{\textit{Tiempo laborado}} \cdot 100$$

Los tiempos de capacitación pueden variar, pero como mínimo se debe destinar 10% del tiempo que se labora, para las capacitaciones.

En la tabla 14 se observan los indicadores para los objetivos según la perspectiva, este cuadro de mando integral debe ser ajustado, según las necesidades del negocio y las variaciones del mercado.

Perspectiva	Objetivo	Indicador	Detalle	Unidades	Tipo de medición	Óptimo	Tolerable	Deficiente	Responsable
Financiera	Reducir los costos asociados a la producción y pérdidas de producto.	Reducción del Consumo de Combustible.	Reducción de consumo sin impactar la producción.	Porcentaje	Mensual	5%	2.5%	1%	Alta Dirección
		Aumento de la Cantidad de producción	Aumento de la producción en el horno de gas.	Porcentaje	Mensual	20%	10%	<10%	Alta Dirección
		Cantidad de horas de uso.	Uso del horno de gas comparado al e diésel.	Porcentaje	Mensual	50%	10%	<10%	Alta Dirección
		Cantidad de productos devueltos.	Productos devueltos por revendedores, no vendidos o dañados.	Porcentaje	Mensual	10%	25%	>25%	Alta Dirección
Cliente	Mejorar la satisfacción de los clientes.	Disponibilidad de unidades.	Unidades disponibles para ser vendidas.	Porcentaje	Mensual	50%	2.5%	<2.5%	Alta Dirección
Interna	Optimizar los procesos y evitar fallas inesperadas.	Tiempo de mantenimiento.	Mantenimiento preventivo de los equipos.	Horas	Anual	16h	10h	8h	Alta Dirección
		Eficiencia del proceso.	Horas empleadas por cantidad de unidades producidas.	Porcentaje	Mensual	3.5%	2.5%	<2.5%	Alta Dirección
Aprendizaje e innovación	Lograr que los colaboradores impulsen los	Tiempo de capacitaciones.	Capacitaciones para comunicar lo objetivos e implementar nuevas medidas de ahorro o nuevos procesos.	Porcentaje	Mensual	>10%	10%	<10%	Todos los colaboradores.

	objetivos energéticos.								
--	---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 14. Cuadro de mando integral propuesto.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Capítulo V. Análisis económico del Proyecto

En este apartado se analizan los costos que supone realizar este proyecto en la organización, al ser esta una PYME se supone un poder adquisitivo menor, por lo que, los costos deben ir en función de las capacidades de la empresa; los ahorros esperados se dan por las oportunidades de conservación de la energía propuestas con anterioridad.

Para realizar este proyecto se debieron consultar dos normas técnicas que pueden ser adquiridas a través del INTECO.

Detalle	Costo
Norma INTE/ISO 50001:2018	¢ 35,730.60
Norma INTE/ISO 50006:2021	¢ 35,730.60
Total	¢ 71,461.20

Tabla 15. Detalle de los costos de las normas usadas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Por concepto de las oportunidades de mejora se tienen los siguientes gastos:

Detalle	Costo
Oportunidad de mejora 1	¢ 230 000
Oportunidad de mejora 2	¢ 376 300
Total	¢ 597 300

Tabla 16. Detalle de los costos relacionados con las oportunidades de mejora halladas.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Además, se toman los gastos asociados por el desarrollo del prototipo, para el monitoreo en tiempo real que tiene un valor estimado de ¢60437.5, se tienen algunos costos

asociados que no se han tomado en consideración, como el desarrollo de la página de visualización, porque es un prototipo inicialmente; sin embargo, como se desea el desarrollo de la página de manera más profesional, los costos podrían ser más elevados.

Para el desarrollo de este proyecto, además se tienen los costos asociados por tiempo invertido de profesional en la elaboración del proyecto, estos montos contemplan los precios del transporte, ya que la empresa se encuentra en otra provincia

Detalle	Duración (h)	Costo
Estudiante de Ingeniería	62	¢ 196.000
Ingeniero tutor	6	¢ 192.000
Total		¢ 388.000

Tabla 17. Costos asociados a profesionales por realización de este proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Las horas estimadas en la realización del trabajo se suponen en las horas que se contemplan realizando las visitas en la empresa, así como las horas que tomo la elaboración del prototipo, pues como la empresa es una PYME se tiene la intención de reducir los costos asociados con el proyecto en lo menor posible; los costos que actualmente se tienen como parte de la elaboración del proyecto podrían verse reducidos, cuando ya se tenga más consolidada la base del proyecto.

Análisis del flujo de efectivo

Se establece una tasa de 15% según los estándares y objetivos de la empresa, esta no puede ser mayor, pues la empresa no tiene altos flujos de efectivo. Se establece una

ganancia con la realización del proyecto de **€478.100** al cabo de 5 años, además se consideran los costos variables del combustible con un costo intangible, a través del periodo de recuperación que como se mencionó es de 5 años.

Por otro lado, se estima un costo fijo anual destinado al mantenimiento de los equipos. Se calcula que la recuperación de la inversión se dará en el segundo año, posterior a la implementación del proyecto, asumiendo que ambas propuestas de mejora se llevan a cabo. Se tiene un valor de VAN positivo para el proyecto, lo que indica que el proyecto es rentable, además se tiene una tasa de retorno del 54%.

Como parte de la estrategia de venta de este proyecto y tomando en consideración que la empresa es una PYME, se reducen los costos operacionales al mínimo posible, con la finalidad de que ante mayor cantidad de empresas adopten este modelo, algunos de los costos podrán ser compartidos entre todas.

El tiempo que se dedicó en el desarrollo del portal de visualización de los datos y el prototipo de ingreso de datos no genera costos inicialmente, pues se desarrolla durante el tiempo del proyecto; sin embargo, como un futuro desarrollo se pretende generar un modelo de cobro de suscripción por las costas, que pueden generar por el mantenimiento de la página web y por el pago de los servidores en la nube, una vez que el proyecto se encuentra en la etapa de producción.

Concepto	Periodo ANUAL					
	0	1	2	3	4	5
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorros por oportunidades de mejora		₡ 900.000	₡ 900.000	₡ 900.000	₡ 900.000	₡ 900.000
Fijas						
Intangibles		-₡ 60.000	-₡ 70.000	-₡ 80.000	-₡ 90.000	-₡ 100.000
Costos Totales						
Costos de Mantenimiento		-₡ 121000	-₡ 121000	-₡ 121000	-₡ 121000	-₡ 121.000
Costos de Servicios	-₡ 12.000	-₡ 12.000	-₡ 12.000	-₡ 12.000	-₡ 12.000	-₡ 12.000
Gastos proyecto						
Normas	-₡ 71.461,2					
OCE 1	-₡ 376.300					
OCE 2	-₡ 230.000					
Prototipo	-₡ 60.437,5					
Costos de Profesional	-₡ 388.000					
Antes de Impuesto	-₡ 1.138.198,7					
Impuesto						
Después de Impuesto	-₡ 1.138.198,7					
Flujo Neto	-₡ 1.138.198,70	₡ 707.000,00	₡ 697.000,00	₡ 687.000,00	₡ 677.000,00	₡ 667.000,00
Flujo Neto Actualizado		₡ 614.782,61	₡ 527.032,14	₡ 451.713,65	₡ 387.076,95	₡ 331.616,88
Periodo de recuperación		-₡ 523.416,09	₡ 3.616,04			
TREMA	15%					
VAN Flujo	₡ 1.616.299,34					
Van Proyecto	₡ 478.100,64					
TIR	54%					

Tabla 18. Flujo de efectivo propuesto para el proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presentan las conclusiones recabadas mediante la realización de este proyecto, así mismo se presentan algunas recomendaciones para trabajos futuros.

Conclusiones

- Los hornos son los equipos primordiales para la empresa y además son los que más consumen energía.
- Los indicadores de desempeño energético se escogieron en función del modelo de negocio de la empresa y fueron significativos. Las oportunidades de mejora que se encontraron suponen ahorros significativos que inclusive, son capaces de pagar por este proyecto.
- El indicador de desempeño energético es 1.67 kWh/unidades.
- Mediante un flujo de efectivo se determinó que, sí se realiza el proyecto se puede obtener una recuperación de la inversión en el segundo año posterior a la inversión, además se tiene una tasa de retorno de 54%.
- Se encontró que mediante la inversión del uso del horno que funciona con gas y el que funciona con diésel, se obtiene un ahorro aproximado de **¢ 75.000** mensuales.
- Las oportunidades de mejora encontradas son capaces generar los recursos para costear el proyecto.
- El prototipo de monitoreo de las variables eléctricas en los hornos brindaría información específica de los tiempos de uso y de la energía consumida por estos equipos.

- El prototipo de Sistema de Gestión de la energía tiene el potencial de centralizar la información de producción y consumo, para mantener un control de los indicadores de desempeño.
- Con este proyecto se tiene una tasa de retorno de inversión de 54% y Valor actual Neto del proyecto de 478.100 colones.

Recomendaciones

- Aplicar las oportunidades de mejora encontradas, a pesar de que la oportunidad de mejora al reconstruir el convertidor de fase, no generará ahorros inmediatos, es importante para que no haya fallos inesperados.
- Establecer un modelo de mantenimiento preventivo más frecuente.
- Realizar mejoras al sistema eléctrico actual, ya que es bastante antiguo y se encuentra en condiciones muy poco óptimas.
- Realizar un estudio para priorizar el cambio de algunos equipos usados en el proceso productivo, ya que algunos de los usados en la actualidad, ya están prontos a cumplir, si no es que ya cumplieron su vida útil.
- Llevar un control del inventario de los productos utilizados en el proceso productivo, esto podría hacer que tengan una mejor visibilidad de los costos por unidades producidas.
- Mejorar el sistema de ventilación en el recinto de trabajo, debido a que cuando se está horneando, muchos de los aires de la chimenea son recirculados al interior, aumentando la sensación térmica y siento poco placentero para los empleados.

- Utilizar el sistema digital para ingresar los productos que diariamente se hornean, los que se pierden y los que se venden para poder generar mejores estadísticas sobre los indicadores energéticos.
- Visibilizar el enfoque del Sistema de Gestión de Energía cada año, para poder realizar las mejoras necesarias y que siempre se mantenga relevante para la empresa.

Referencias bibliográficas

Allegro Microsystems. (2021). *ACS71020 Single Phase, Isolated, AC Power Monitoring IC with Voltage Zero Crossing and Overcurrent Detection, Datasheet.*

<https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/acs71020-datasheet.pdf>

CENSE (Centro Nacional de Control de Energía). (2022). *Informe de atención de demanda u producción de energía con fuentes renovables, 2021.*

<https://apps.grupoice.com/CenceWeb/documentos/3/3008/14/INFORME%20GENE RACION%20RENOVABLE%202021.pdf>

Chapman, S. J. & Ortega, S. S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. McGraw-Hill.

Chen, M., Sinha, A., Hu, K. & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on Energy Efficiency in Industry 4.0 ERA: Moderation of Shadow Economy in Sustainable Development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164, 120521. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120521>

Çengel Yunus A. & Boles, M. A. (2016). *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill Education.

Crowell, B. (2016). *Light and Matter*. Fullerton, California.

Elsisi, M., Tran, M.-Q., Mahmoud, K., Lehtonen, M. & Darwish, M. M. (2021). Use learning-based industry 4.0 and internet of things towards effective energy management for Smart Buildings. *Sensors*, 21(4), 1038.

<https://doi.org/10.3390/s21041038>

Espressif Systems. (2021). *ESP32-S2 Family Datasheet*. Versión 1.3.

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf

Gandarillas R, JM. 2016. *Prevención y control de incendios en espacios confinados*.

[Trabajo de fin de grado para obtener el Título en Ingeniería Marina]. (pp. 16-18).

Escuela Técnica Superior de Náutica. Universidad de Cantabria.

Gobierno de Costa Rica, (2018). Plan Nacional de Descarbonización (2018 -2050).

<https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>

Guzhov, S. y Krolin, A. (2018). Use of Big Data Technologies for the implementation of energy-saving measures and renewable energy sources in buildings. *Renewable Energies, Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE)*.

<https://doi.org/10.1109/repsgie.2018.8488861>

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). (2015). Tarifas del ICE. Alcance N° 73, *La Gaceta N°187*.

ISO 50006. (2014). *Norma ISO: Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso*.

ISO 50001. (2018). *Norma ISO: Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso*.

- Krishnan, P. R. y Jacob, J. (2022). An IOT based efficient energy management in smart grid using DHOCSA technique. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103727.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103727>
- Kweku, D. (2018). “Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming”, *JSRR*, 17 (6), 1-9.
- Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M. & Karlsson, M. (2019). Energy man energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences. *Energies*, 12(2), 247.
<https://doi.org/10.3390/en12020247>
- Li, B., Chen, T., Wang, X., & Giannakis, G. B. (2019). Real-time energy management in microgrids with reduced battery capacity requirements. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(2), 1928-1938. <https://doi.org/10.1109/tsg.2017.2783894>
- Lopez Cruz. A., Ruiz Corso. R., Sánchez Gómez. M. y Velázquez Sanabria. C. A. (2022). *Manual de fuego en paisajes ganaderos*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11763>
- Martinez, D. M., Ebenhack, B. W. & Wagner, T. (2019). Introductory concepts. In *Energy efficiency, Capitulo 1 y 2*. (pp. 1-65). Essay, Elsevier
- MICITT. (2018). *Estrategia de Transformación Digital hacia la Costa Rica del Bicentenario 4.0*. <https://www.micitt.go.cr/wp-content/uploads/2022/05/Estrategia-de-Transformacion-Digital.pdf>

Nepal, R., Musibau, H. O. & Jamasb, T. (2021). Energy consumption as an indicator of energy efficiency and emissions in the European Union: A GMM based quantile regression approach. *Energy Policy*, 158, 112572.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112572>

ONU. (s.f). *Desafíos globales, Cambio Climático*. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

Papageorgiou, G., Efstathiades, A., Nicolaou, N. & Maimaris, A. (2018). Energy Management in the hotel industry of Cyprus. *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*. <https://doi.org/10.1109/energycon.2018.8398763>

Rosas, R. (2018). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el contexto centroamericano*. México. (GIZ).

SEPSE, (2021). Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes (ENREI) 2021-2031.

<https://sepse.go.cr/wp-content/uploads/2021/08/ENREI-FINAL.pdf>

Swiatek, M. & Imbault, F. (2017). Better Energy Management by implementing an energy measurement and monitoring plan. *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*.

<https://doi.org/10.1109/eeeic.2017.7977612>

Terroso-Sáenz, F., González-Vidal, A., Ramallo-González, A. P. & Skarmeta, A. F. (2019).

An open IOT platform for the management and analysis of Energy Data. *Future*

Generation Computer Systems, 92, 1066-1079.

<https://doi.org/10.1016/j.future.2017.08.046>

Valdez, J. y Becker, J. (2015). *Understanding the I2C Bus, Application Report*. Texas Instruments.

https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1668622675771&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252Fdf

Wemos. (2021). *S2 mini*. Documentación. https://www.wemos.cc/en/latest/s2/s2_mini.html

Yayan, S., Fibi E. P. y Taufik, H. (2022). Energy effectiveness and conservation of pipeline construction industry using Iso 50001 energy management system. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 108-114.

<https://doi:10.22105/jarie.2021.307055.1384>

Young, H. D. & Freedman, R. A. (2009). *Física Universitaria, Con física moderna*. volumen 2 (12 ed.). Pearson Educación.

Zárate, M. D. y García, R. R. (2016). *Matriz Energética de Costa Rica. Renovabilidad de las fuentes y reversibilidad de los usos de energía. Análisis N°4*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/12979.pdf>

Anexos 0. Orientación para operación del SGEN

Modelo de Gestión Energética

Alcance

El modelo de gestión de energía se extiende a todas las áreas de la PYME “DeliPan” con un enfoque importante al proceso productivo, se extiende a todos los colaboradores presentes y futuros.

Al momento de la realización se limita al establecimiento único de la empresa, pero se puede extender en caso de que la empresa abra nuevas ubicaciones o tenga extensiones para generar mayor producción.

Responsables

Poder realizar el modelo de gestión de energía, implica el compromiso de la alta dirección de la empresa, así como el de los colaboradores. Se deben determinar los roles de las personas que se encargan de tomar las decisiones necesarias para poder cumplir con los objetivos y metas, así como las soluciones de aquellas oportunidades de mejora que tenga la empresa. La alta dirección establece al encargado, la revisión de los indicadores energéticos y de aquellos que son importantes para las metas y objetivos propuestos.

Política energética y compromiso

La empresa debe generar un compromiso con la política energética, de modo que el modelo de gestión sea exitoso; se tiene que cumplir con las inspecciones de indicadores y revisiones de procesos para la determinación de las oportunidades de mejora.

Política energética

- La **empresa PYME, DeliPan** se compromete a realizar un uso racional de la energía utilizada en el proceso productivo y uso de la energía empleada en general, en la organización de manera responsable, con el conocimiento de que el uso indebido de los recursos naturales no renovables, produce un impacto negativo sobre el medio ambiente.
- La **empresa** acepta establecer objetivos y metas, en aras de mejorar el desempeño energético y las consecuencias positivas que dicha mejora suponga para la organización y la reducción de emisiones por uso de combustibles fósiles.
- La **empresa** se compromete a realizar las acciones necesarias para **la mejora continua** que se encuentren en las posibilidades de la organización y determinar las pautas a seguir, para aquellas que no se puedan llevar a cabo.
- La **empresa** establecerá lineamientos relacionados con el desempeño energético según el USO, CONSUMO y EFICIENCIA de la energía y lo utilizará como una métrica en el funcionamiento del negocio para potencialmente, mejorar su competitividad.

- La **empresa** acepta el compromiso de sensibilizar a los colaboradores acerca del uso de los equipos y combustibles, de acuerdo con lo que menciona en esta política.
- La **empresa** acepta seguir funcionando en el marco de la legalidad y acepta someterse a las regulaciones y reglamentos nacionales relacionados con el uso racional de la energía y los combustibles fósiles.
- La **empresa** se compromete a que todos los miembros presentes y futuros de la organización, seguirán esta política y las mejoras que se le realicen a la misma.

Por lo tanto,

La organización hará uso de sus capacidades, apegadas a la legalidad, para lograr que se cumplan los compromisos mediante incentivos, reprimendas, orientaciones o todas aquellas formas que la empresa considera necesarias en el presente y en el futuro.

De acuerdo,

Firma

Metas y Objetivos

El establecimiento de los objetivos se realiza mediante el cuadro de mando integral, teniendo en cuenta, las perspectivas financieras, clientes, internas y la eficiencia del proceso.

Los objetivos y metas que se proponen aquí, pueden ser variados, dependiendo de las necesidades del negocio o según, se considere necesario en el futuro, pero siempre

deben ir de la mano con la política energética con la que se cuenta en la actualidad, que cabe mencionar, también puede ser modificada a discreción de la alta directiva.

Siempre se deben centrar los objetivos en las perspectivas mencionadas, pues son las más relevantes para el negocio, son de algún modo, los ejes fundamentales de este.

Perspectiva financiera

Comprende la disminución del uso combustible y el aumento de la producción.

Reducción del consumo de combustibles

$$rc = \frac{c_{act} - c_{pas}}{c_{act}} \cdot 100$$

Donde rc es la reducción del consumo; c_{act} es el consumo de combustible del presente mes y c_{pas} es el consumo del mes anterior.

Aumento de artículos producidos en horno Gas LP

$$aa = \frac{Productos_{act} - Productos_{pas}}{Productos_{act}} \cdot 100$$

Donde aa es la proporción de los artículos elaborados; $Productos_{act}$ es la cantidad de productos elaborados este mes y $Productos_{pas}$ es la cantidad de productos elaborados el mes anterior.

$$hu = \frac{Horas_{gas} - Horas_{diesel}}{Horas_{gas}} \cdot 100$$

Donde hu es la proporción de las horas empleadas en producir artículos; $Horas_{gas}$ es la cantidad de horas que se usó el horno cuyo combustible es el gas y $Horas_{diesel}$ es la cantidad de horas que se usa el horno cuyo combustible es el diésel.

- ***Reducción de los productos devueltos***

$$PD = \frac{Productos_e - Productos_{reto}}{Productos_e} \cdot 100$$

Donde PD es la proporción de productos que son devueltos, porque no se lograron vender; $Productos_e$ son los productos entregados a los puntos de venta y $Productos_{reto}$ son los productos devueltos.

Perspectiva cliente

Los clientes son la esencia del negocio y se debe mantener una cantidad de productos, de modo que tengan siempre productos disponibles.

Unidades producto disponibles

$$UD = \frac{Unidades Urnas}{Unidades Max} \cdot 100$$

Donde UD es la proporción de unidades que se halla en urnas de la producción total diaria o semanal y $Unidades\ Max$ la cantidad de unidades producidas por día o por semana.

Perspectiva interna

Mediante esta visión se tiene un control de las variables que afectan directamente, el proceso.

Tiempo de Mantenimiento

$$TMp \geq 16\ h\ (anuales)$$

Donde TMp es el tiempo de mantenimiento preventivo en horas.

Eficiencia del proceso

$$eP = \frac{Horas\ de\ Producción}{Unidades\ producidas} \cdot 100$$

Donde eP es la eficiencia del proceso.

Perspectiva Aprendizaje e innovación

Es esencial que los colaboradores estén capacitados y sean sensibilizados en los procesos de mejora del SGEN.

Tiempo de Capacitación

$$T_c = \frac{\text{Tiempo laborado} - T_{\text{capacitacion}}}{\text{Tiempo laborado}} \cdot 100$$

Donde T_c es el tiempo de capacitación que se da a los colaboradores, respecto del tiempo que tienen laborando.

Desempeño energético

El desempeño energético da una noción de cómo se comporta el consumo, uso y eficiencia energética en el proceso productivo, para lo cual se determinan los indicadores de desempeño energéticos que dan una perspectiva del desempeño.

Se tiene que llevar un control de los indicadores de desempeño de manera mensual, para saber si ha dado una mejora. Los indicadores se miden respecto de las líneas base que se calculan para un periodo de medición, se deben de estar calculando las líneas base regularmente, para saber si el indicador es relevante.

Se muestra en la tabla siguiente los indicadores seleccionados para la empresa, así como las mediciones para el primer mes:

Indicador	Detalle
L/Unidades	Permite conocer la cantidad de unidades elaboradas por litro de combustible utilizado.
kWh/Unidades (total)	Este indicador brinda la perspectiva de la energía total que se emplea en elaborar una unidad en la cadena de producción.

kWh/h	Permite visualizar la cantidad de energía que se emplea por horas de horneado y por tipo de combustible, este indicador se empieza a monitorear con el prototipo.
kWh/Unidades (eléctrica)	Este indicador brinda información de la cantidad de energía eléctrica por número de unidades producidas.

Tabla 19. Detalle de los indicadores de desempeño energético.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Para el mes de agosto se calcularon los indicadores:

Indicador	Valor
L/Unidades	0.0369
kWh/Unidades (total)	0.5423
kWh/Unidades (eléctrica)	0.1957

Tabla 20. Medición de los indicadores de desempeño energético en la empresa.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Líneas base

Las líneas base deben ser constantemente actualizadas, con el fin de tener una idea clara de si los indicadores que se establecieron siguen siendo relevantes para la organización y para el proceso productivo de la misma, por lo que solo deben de agregar los datos de desempeño del mes actual al histórico de los datos.

Oportunidades de mejora

De acuerdo con la norma ISO 50001:2018 son todas aquellas oportunidades donde se puede dar una disminución del consumo de la energía, estas pueden ser actividades, maquinaria, partes del proceso, etc. Estas oportunidades presentan no conformidad y por lo tanto, se debe desarrollar un plan de mejora para intentar subsanarla.

La solución de una oportunidad de conservación de la energía es de sumo valor para la empresa, pues implica un grado de consumo y de gasto monetario.

Las oportunidades de mejora siempre existen y llevan a la mejora continua, pues es necesario una constante evaluación del proceso productivo.

Documentación

Los documentos emitidos o recuperados del modelo de gestión de energía pueden ser digitales o impresos, los mismos deben ser las últimas versiones cada vez que se realiza algún cambio o se encuentra una inconformidad y se debe garantizar que la documentación sea legible y útil para el modelo.

Verificación del SGen

Seguimiento y medición

Para poder mantener el SGen relevante para la organización se tiene que realizar un análisis en intervalos establecidos. Dentro de las características a las que se les tiene que

dar seguimiento se tienen: los usos significativos de energía que inicialmente se calculó, con la finalidad de determinar si existe alguna variación.

Se pueden medir las variables eléctricas asociadas dentro del modelo de monitoreo, así como la cantidad de horas de funcionamiento, entre otras. Se le debe dar seguimiento a los indicadores de desempeño energético, a los objetivos planteados junto con sus indicadores y a las proyecciones de consumo que se tienen con respecto a lo que realmente se consumió.

Auditorías internas

La PYME debe realizar periódicamente auditorías, para poder determinar el cumplimiento de las metas planteadas, si se están llevando a cabo las acciones planteadas para la corrección de inconformidades y el posible surgimiento de nuevas oportunidades de mejora. Además, se debe realizar una auditoría interna al menos una vez al año.

No conformidades y acciones correctivas

Se deben tomar en cuenta, tanto las no conformidades reales como las que solamente son potenciales, para lo que se tienen que considerar rutas para corregir o prevenir que ocurran.

Se tienen que evaluar las acciones que se deben tomar, para que las no conformidades no ocurran de nuevo. Se debe asegurar que se dé el mantenimiento necesario y revisar que las acciones que se toman sean las más eficaces.

Si se encuentran no conformidades en las partes del proceso productivo para el cual se extiende el modelo, se debe desarrollar una estrategia correctiva, que se pueda ejecutar en el tiempo y donde la alta dirección destine los recursos monetarios y de personal para que sea corregida.

Monitoreo y plataforma

El desarrollo de una plataforma donde se pueda gestionar el control de las variables eléctricas; los flujos de entrada y salida de energía y las cantidades de unidades que se producen de manera mensual o diaria, se debe de facilitar el control de las variables desde un solo lugar y evitar la pérdida de documentación.

Del mismo modo, el monitoreo en tiempo real basado en IoT presenta la ventaja de generar información sobre el proceso de manera continua, sin tener que dedicar recursos económicos o de personal para la medición de variables eléctricas.

La página será actualizada constantemente, para que cada vez tenga las funcionalidades más relevantes para poder manejar el sistema de gestión de energía desde este mismo lugar; sin embargo, también se deja a discreción de la Alta dirección, la preferencia de la documentación.

Anexos 1. Facturas de Compra



ELECTRO MAZ LTDA

Sucursal Tibas
3-102-186909
75M ESTE DE PLYWOOD PARK
40002997
info@mazcr.com




Cotización No.00090054

Cliente: PAUL MORENO	Vendedor: WILLIAM VILLALTA
Teléfono: -	Correo: wvillalta@mazcr.com
Contacto: PAUL/62565871	Teléfono: WhatsApp 6196 1311
Dirección:	Moneda: Local
Email:	Tipo Pago: Contado
Fecha: 12-10-2022	T. Entrega: INMEDIATO

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	04-59-032	4621300009900	GABINETE METALICO 50 X 50 X 25	1.00	84,300.00	84,300.00
2	04-14-043	4621203009900	BREAKER NB1 2 POLOS-32A UL	2.00	9,500.00	19,000.00
3	04-05-091	4621204000200	CONTACTOR NEXT 22AMP AC4 BOBINA 240V 3P+1NA+1NC	2.00	13,900.00	27,800.00

Anexo 1.1. Cotización de implementos eléctricos necesarios para la elaboración de las oportunidades de mejora

Fuente: ElectroMAZ (2022).

 Factura Electrónica Original Construplaza S.A. Cédula Jurídica: 3-101-289562 Tel: +506 2588-8888 Escazú, 800 metros Oeste de Multiplaza Alajuela, 300 metros Oeste de Perimeteros	 Factura: 00200053010000037133		 Cliente: 122807							
	Cliente: PAUL ALEXANDER MORENO ARIAS Cédula: 117070368 Pedido: 122807 Cuenta: 122807 Fecha de Emisión: 22/7/2022 17:03:45 Fecha de Vencimiento: 23/7/2022 17:03:45 (Plazo: Contado) Orden de Compra: 1 Vendedor: Ventas Web (SA)									
Dirección de Envío: Recoge en Cajas Cajas Pedido Web #1492834 Peso: 2,78 kg										
Línea	Descripción	Código	Bodega	Cantidad	Precio sin IV	IV	Monto sin IV	Recibe	Devuelve	Razón para devolver
1	Tape eléctrico 3/4" x 20 metros Super 33 3M	02676	005	*1,00 UND	3,729.20	13%	3,729.20			
2	Tester multímetro digital de gancho 600mV-1000V / 600mV-750V Truper MUT-202	38796	005	*1,00 UND	19,946.90	13%	19,946.90			
3	Caja plexo con entradas 80 x 80 x 50 mm 7 entradas Eagle 220-A	23285	005	*2,00 UND	1,127.43	13%	2,254.87			
4	Placa sencilla para tomacorriente blanco Eagle 2131-W	29323	005	*2,00 UND	260.18	13%	520.35			
5	Tomacorriente sencillo 15A 110V Eagle 817	43659	005	*2,00 UND	1,040.71	13%	2,081.42			
6	Alicate punta larga 6" (160 mm) Entrop EPLRL0611	64423	005	*1,00 UND	2,428.32	13%	2,428.32			
7	Caja rectangular para canalta universal LG89394 Legrand	59786	005	*2,00 UND	1,474.34	13%	2,948.67			

Anexo 1.2. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.

Fuente: Construplaza (2022).




Electrónica Steren de Costa Rica S.A. | Cédula Jurídica: 3101787226
 SAN JOSE, ESCAZU, CONTIGUO AL RESTAURANTE KFC, C.C. EL ANGEL.
 SAN RAFAEL CR 0
 Tel: 2228-9129 | Email: escazu@steren.cr

Factura Electrónica		CLAVE	
00100001010000029883		5062207220031017872260010000010000029883188880000	
DOC INTERNO	TIPO	PLAZO	VENCE
29954	Pedido	0	22/07/2022
CLIENTE NO	PEDIDO NO	ORD COMPRA	VENDEDOR
7965	29954		Ines Gonzalez
LUGAR Y FECHA DE EXPEDICIÓN			
0 viernes, 22 de julio de 2022 04:05 p.m.			

FACTURAR A		ENVIAR A		TRANSPORTE:	
PAUL MORENO ARIAS 117070368 01 CR		PAUL MORENO ARIAS 01 CR		Cliente Recoge	
CANTIDAD	MODELO	DESCRIPCIÓN	P UNITARIO	DESCUENTO	IMPORTE
2	405	PLACA FENOLICA 7X5 CMS. P/PROTOTIPOS VAR	615,06	0,00	1.230,11
3	PC-SX5	PLACA FENOLICA UNA CARA 5X5 CMS	132,75	0,00	398,26
24	TRTG-02	TERMINAL C/2 TORNELOS P/C. IMPRESO GRAN	176,11	0,00	4.226,55
2	SOL-025	PASTA PARA SOLDAR 25 GR	743,37	0,00	1.486,73
1	SOL60-020	TUBO DE 20 GRS DE SOLDADURA ALEA 60/40 1	1.946,90	0,00	1.946,90
1	CAU-115	CAUTIN ECONOMICO TIPO LAHZ 35W	3.707,97	0,00	3.707,97
20	R10K 1/2	RESISTENCIA DE CARBON 1/2 WATT 5% TOLERA	16,82	0,00	336,46
5	R4K7 1/2	RESISTENCIA DE CARBON 1/2 WATT 5% TOLERA	16,82	0,00	84,12
3	NE555V	CIRCUITO INTEGRADO LINEAL TEMPORIZADOR	261,07	0,00	783,21
5	E1-63R	CAP ELECTROLITICO RADIAL DE 1MF A 63V	66,38	0,00	331,90
3	LED-5RGB	LED ESTANDAR 5MM RGB	159,30	0,00	477,90
20	R330 1/2	RESISTENCIA DE CARBON 1/2 WATT 5% TOLERA	16,82	0,00	336,46
10	ESJAMB-C	LED 5 MM ECONOMICO AMBAR CLARO	61,07	0,00	610,71
1	CAU-202	S ARNESES DE CAIMANES MEDIANOS 5 AMP 43M	1.495,58	0,00	1.495,58

Anexo 1.3. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto

Fuente: Steren CR (2022)

Factura Electrónica N° 0010000101000000126		Fecha de Emisión: 27/07/2022 11:27 a.m																					
Ver. 4.3		Clave Numérica 50627072200310175553200100001010000000126115301292																					
		ELECTRO ALFA HAL S.A. Teléfono: +(506) 8383-9715 Fax: +(506) 0 Correo: electroalfasa@yahoo.com																					
ELECTRO ALFA Ident. Jurídica: 3-101-755532		Dirección: Costado este de la Iglesia de Coronado.																					
Receptor: Paul Alexander Moreno Arias																							
Ident. Física: 1-1707-0368 Teléfono: +(506) 6256-5871 Correo: paulmoreno596@gmail.com		Condición de Venta: Contado Medio de Pago: Efectivo																					
Líneas de Detalle																							
Código	Cantidad	Unidad Medida	Descripción del Producto/Servicio	Precio Unitario	Descuento	Naturaliza del Descuento.	SubTotal	Monto Impuestos															
471300000000	3.00	Unid	Tarjetas de Circuito Impreso	5,132.75	0.00		15,398.25	2,001.77															
Notas:				<table border="1"> <tr> <td>Subtotal Neto:</td> <td>¢</td> <td>15,398.25</td> </tr> <tr> <td>Total IVA:</td> <td>¢</td> <td>2,001.77</td> </tr> <tr> <td>Total Otros Imp:</td> <td>¢</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Total Exonerado:</td> <td>¢</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Total Factura:</td> <td>¢</td> <td>17,400.02</td> </tr> </table>					Subtotal Neto:	¢	15,398.25	Total IVA:	¢	2,001.77	Total Otros Imp:	¢	0.00	Total Exonerado:	¢	0.00	Total Factura:	¢	17,400.02
Subtotal Neto:	¢	15,398.25																					
Total IVA:	¢	2,001.77																					
Total Otros Imp:	¢	0.00																					
Total Exonerado:	¢	0.00																					
Total Factura:	¢	17,400.02																					
DIECISIETE MIL CUATROCIENTOS COLONES CON 02/100																							

Anexo 1.4. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.

Fuente: Electro Alfa Hal S.A (2022).

Shipped on July 5, 2022

Items Ordered
 1 of: HiLetgo 3pcs ESP32 S2 Mini WiFi Board Based ESP32-S2FN4R2 ESP32-S2 4MB Flash Type-C Connect \$17.69
 Sold by: HiLetgo ([seller profile](#))
 Condition: New

Shipping Address:
 Paul Moreno Arias CR129X33113N
 9990 NW 14TH ST STE 110
 DORAL, FL 33192-2702
 United States

Shipping Speed:
 Two-Day Shipping

Payment information

Payment Method:
 MasterCard | Last digits: 1022


Billing address
 Paul Moreno Arias CR129X33113N
 9990 NW 14TH ST STE 110
 DORAL, FL 33192-2702
 United States

Credit Card transactions
 MasterCard ending in 1022: July 5, 2022: \$18.93

Item(s) Subtotal: USD 17.69
 Shipping & Handling: USD 0.00
 Total before tax: USD 17.69
 Estimated tax to be collected: USD 1.24
Grand Total: USD 18.93
Payment Grand Total: CRC 13.430,99

Anexo 1.5. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto

Fuente: Amazon (2022).



MOUSER ELECTRONICS
 1000 North Main Street, Mansfield, TX 76063
 Customer Service Rep: Internet Customer Service
 Customer Service: 800-346-6873
 Credit: 800-333-9924
 Federal ID# 61-1520598

Invoice - Credit Card Receipt

Invoice No. 68624167	Invoice Date 27-JUN-22	Page No. 1 of 1
Purchase Order No. 25941590	Master Tracker No. 127759450311137107	
Buyer Name PAUL MORENO	Ship Via UPS GROUND SERVICE	Customer No. 60D1BEF
		Terms MC 1022
		Order Date 25-JUN-22

Bill To

MORENO, PAUL
 ATTN: 9990 NW 14TH STREET
 9990 NW 14TH STREET
 STE 110 CR129X33113N
 DORAL, FLORIDA 33192
 UNITED STATES

Ship To

PAUL MORENO
 ATTN: 9990 NW 14TH STREET
 9990 NW 14TH STREET
 STE 110 CR129X33113N
 DORAL, FLORIDA 33192
 UNITED STATES

Line No.	Mouser Part Number Customer/MFG Part No. Description	Quantity Ordered	Quantity Shipped	Quantity Pending	Unit Price (USD)	Extended Price (USD)
1	250-71020KMAB90B3I2C MFG Part No: ACS71020KMABTR-090B3-I2C Allegro MicroSystems GALVANICALLY ISOLATE / US HTS:8542390001 ECCN:EAR99 COO:MX	3	3	0	5.180	15.54

Anexo 1.6. Factura de compra de implementos necesarios para el presente proyecto.

Fuente: Mouser Electronics (2022).

Anexos 2. Programación del prototipo

```
1  from time import sleep_ms
2  import machine
3  from simple import MQTTClient
4  import network
5  import ubinascii
6
7
8  ssid = 'La red'
9  password = 'La contraseña'
10 mqtt_server = 'el servidor'
11 i2c = machine.SoftI2C(scl=machine.Pin(5), sda=machine.Pin(4), freq=400000)
12 client_id = str(ubinascii.hexlify(machine.unique_id()))
13
14
15 topic1 = b"voltajeRMS"
16 topic2 = b"corrienteRMS"
17 topic3 = b"potenciaReal"
18 topic4 = b"voltajeInstantaneo"
19 topic5 = b"corrienteInstantanea"
20 topic6 = b"potenciaAparente"
21 topic7 = b"potenciaImaginaria"
22 topic8 = b"factor"
23 topic9 = b"potenciaInst"
24
25 def do_connect():
26     wlan = network.WLAN(network.STA_IF)
27     wlan.active(False)
28     wlan.active(True)
29     if not wlan.isconnected():
30         print('connecting to network...')
31         wlan.connect(ssid, password)
32         while not wlan.isconnected():
```

Anexo 2.1. Extracto del código desarrollado para programar el microcontrolador. Se observa la conexión que se realiza a la conexión con la red.

Fuente: Elaboración propia (2022).

```
62 def rep(topic1, topic2, topic3, topic4, topic5, topic6, topic7, topic8, topic9):
63     try:
64         while True:
65
66             Corriente_VoltajeRMS = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x20, 4)
67             PotenciaActiva = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x21, 4)
68             PotenciaAparente = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x22, 4)
69             PotenciaImaginaria = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x23, 4)
70             PotenciaInstantanea = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x2C, 4)
71             Factor = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x24, 4)
72             VoltajeInstantaneo = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x2A, 4)
73             CorrienteInstantanea = i2c.readfrom_mem(0x6c, 0x2B, 4)
74
75
76             vrms1 = Corriente_VoltajeRMS[1]
77             vrms2 = Corriente_VoltajeRMS[0]
78             vrms1 = vrms1 << 8
79             vrms = vrms1 | vrms2
80             vrms = vrms & 0b1111111111111111
81
```

Anexo 2.2. Extracto del código implementado donde se observa la lectura de la memoria del ACS71020.

Fuente: Elaboración propia (2022).


```

180     Irms = e + irms*(2**(-14))
181     Vrms = vrms*(2**(-15))
182     Vins = vinst*(2**(-16))
183     Iins = i + iinst*(2**(-15))
184     Potact = d + potact*(2**(-15))
185     Potapar = pa + potapar*(2**(-15))
186     Potimag = pi + potimag*(2**(-15))
187     FactorPot = e1 + Fp*(2**(-9))
188     PotenciaIns = pp + Poteins*2**(-29)
189
190
191
192     client.publish(topic1, b"{}".format(Vrms))
193     client.publish(topic2, b"{}".format(Irms))
194     client.publish(topic3, b"{}".format(Potact))
195     client.publish(topic4, b"{}".format(Vins))
196     client.publish(topic5, b"{}".format(Iins))
197     client.publish(topic6, b"{}".format(Potapar))
198     client.publish(topic7, b"{}".format(Potimag))
199     client.publish(topic8, b"{}".format(FactorPot))
200     client.publish(topic9, b"{}".format(PotenciaIns))
201
202     sleep_ms(1200)
203
204     except OSError as e:
205         restart_and_reconnect()
206
207 rep(topic1, topic2, topic3,topic4, topic5, topic6, topic7, topic8, topic9)

```

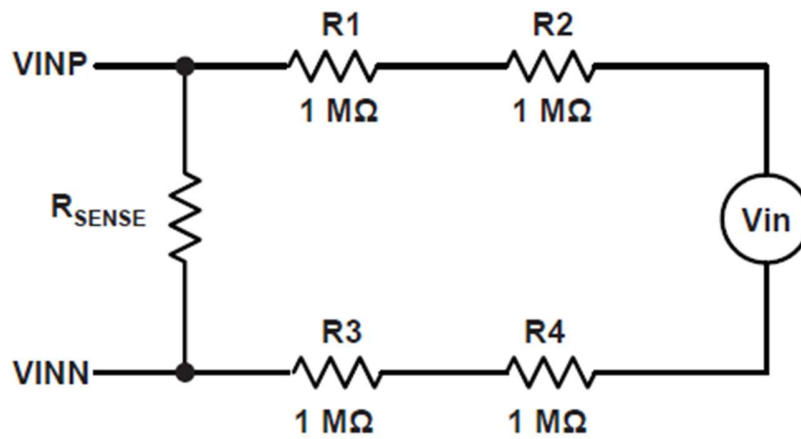
Anexo 2.3. Extracto del código implementado donde se observa la publicación de las lecturas al servidor de MQTT.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Este código es el que se sube a la memoria del microcontrolador y es el encargado de enviar la información al servidor. El código completo puede ser accesado a través de la página de GitHub.

Anexos 3. Conexiones recomendadas

Cuando se utiliza el circuito integrado ACS71020 se pueden realizar dos configuraciones, según como se conecte la fuente de alimentación del circuito; en las siguientes figuras se muestra la configuración para una fuente aislada, donde la tierra no se conecta en la etapa de medición y cuando no es aislado, la fuente del lado de alimentación del circuito integrado.



Anexo 3.1. Disposición de resistencia recomendada si se utiliza fuente aislada.

Fuente: El Allegro Electronics (2022).