



**Desarrollo de una herramienta de monitoreo de la eficiencia energética para las principales máquinas de producción de la empresa Alico S.A.S BIC**

Antonio José Aristizábal García

Informe final presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Modalidad de Práctica Semestre de Industria

Asesor interno

Hernán Felipe García Arias, PhD.

Asesor externo

David Pineda Velásquez, Coordinador de gestión energética.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

---

<b>Cita</b>	(Aristizábal García, 2024)
<b>Referencia</b>	Aristizábal García. A. J. (2024). <i>Desarrollo de una herramienta de monitoreo de la eficiencia energética para las principales máquinas de producción de la empresa Alico S.A.S BIC</i> [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Cespedes.

**Decano:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Eduard Emiro Rodríguez Ramírez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

---

## Resumen

El presente proyecto se enfocó en el desarrollo de una herramienta de monitoreo de la eficiencia energética para las máquinas de producción de la empresa Alico S.A.S BIC, reconociendo la necesidad de adoptar prácticas energéticas sostenibles que permitan identificar mejoras en la productividad y mitigar la huella de carbono, en un entorno industrial en el que la eficiencia es crucial para mantener la competitividad y cumplir con normativas energéticas y ambientales cada vez más exigentes.

Se analizaron datos de analizadores de redes con el fin de determinar las máquinas de mayor consumo energético en la empresa, y, a partir de esto, se implementó un algoritmo mediante la arquitectura ION en el software Power Monitoring Expert de Schneider Electric para automatizar el cálculo del indicador de Consumo Específico de Energía en cada máquina. Además, se creó una interfaz de usuario para mejorar la accesibilidad y agilizar el análisis en tiempo real. A su vez, se agregó un sistema de alarmas para alertar acerca de desviaciones en la eficiencia energética, constituyendo así un sistema de monitoreo completo y robusto.

---

## **Dedicatoria**

*A mis padres, Antonio y Laura, por su amor y por dármele todo.*

*A mis hermanos, José y Laura, por su apoyo y amistad.*

*A mis mascotas, por su fiel compañía.*

*A la Universidad de Antioquia, mi alma mater.*

*A todos quienes me acompañaron durante estos años, muchas gracias.*

---

## Introducción

Los recientes desafíos y crisis globales han contribuido a que la eficiencia energética se convierta en un recurso valioso que va más allá de la gestión de energía. Los avances en eficiencia energética han brindado grandes aportes para mitigar estas crisis, tal y como destaca Gajdzik et al. (2024) al señalar que estos desarrollos no solo reducen las emisiones de dióxido de carbono, sino que también fortalecen la fiabilidad del suministro eléctrico (p. 9), ofreciendo beneficios no solo en materia económica sino también sociales.

En el panorama actual, la gestión responsable de la energía se ha posicionado como un factor importante para el éxito de las organizaciones. Tanto así que, para Alico S.A.S BIC “la comprensión del impacto del uso de la energía en los contextos ambientales, económicos y sociales, está consiguiendo que las organizaciones a nivel global se enfrenten a la necesidad de adoptar prácticas que les permitan no solo potenciar su productividad y rentabilidad, sino que también mitiguen su huella ambiental y contribuyan a la lucha contra el cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)” (Alico, 2022. p. 5).

En este contexto, y, bajo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana, NTC:ISO 50001:2019, la cual especifica los requisitos de las prácticas de gestión y políticas que son importantes para obtener un mejor desempeño energético, la empresa Alico S.A.S BIC, ha decidido adoptar medidas dirigidas a la gestión energética en sus procesos, convirtiendo así a la eficiencia energética en uno de los temas primordiales del pilar estratégico de desarrollo sostenible.

Actualmente, la empresa cuenta con un Centro de Monitoreo de Energía (CME), el cual dispone del software especializado y a la vanguardia en materia de medición de energía, Power Monitoring Expert (PME), en el cual se visualiza, analiza y gestiona el comportamiento del consumo energético en la compañía. Si bien, el software permite monitorear las variables eléctricas (tensiones, corrientes, potencias, consumos, etc) de la mayoría de los equipos en la empresa, este no cuenta con una medida que permita conocer la eficiencia energética de estos, privando así de una de las grandes ventajas de la implementación de software: “El software juega un rol multifacético en el ámbito de la eficiencia energética, ofreciendo soluciones innovadoras a través

---

de varios sectores ... Desde monitoreo y análisis a mantenimientos predictivos y optimización” (Anthomy, 2024).

De este modo, surge la necesidad de identificar la eficiencia de las principales máquinas de la empresa, de tal forma que se puedan determinar oportunidades de optimización y corrección que permitan aumentar esta eficiencia y reducir la emisión de GEI. Por tanto, se requerirá llevar a cabo el desarrollo e implementación de una herramienta que permita calcular y monitorear fácilmente la eficiencia energética de las principales máquinas de producción (extrusoras, flexográficas y selladoras).

Este desarrollo implica varias etapas independientes, pero que se unifican al final. Inicialmente, se realiza la integración entre bases de datos de energía y producción, de tal manera que se puedan relacionar para obtener el indicador de Consumo Específico de Energía (CEE) de cada máquina, luego, se diseña un método analítico para seleccionar las máquinas más consumidoras de energía, a las cuales se les implementa un algoritmo para el cálculo automatizado del indicador de eficiencia, así como una interfaz de usuario con diagramas y alarmas para informar de desviaciones importantes en la eficiencia diaria.

---

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	1
Dedicatoria .....	2
Introducción .....	3
Tabla de contenido .....	5
Lista de figuras .....	7
Lista de tablas .....	9
Siglas, acrónimos y abreviaturas .....	10
1. Objetivos .....	11
1.1. Objetivo General .....	11
1.2. Objetivos Específicos .....	11
2. Marco Teórico.....	12
2.1. Unidades de negocio en Alico.....	12
2.2. Máquinas de producción principales en Alico .....	13
2.3. Eficiencia Energética.....	13
2.4. Consumo Específico de Energía (CEE) .....	14
2.5. Power Monitoring Expert (PME).....	15
2.6. Alarmas .....	16
2.7. Diagramas isométricos .....	16
2.8. Application Programming Interface (API).....	17
2.9. JavaScript Object Notation (JSON) .....	18
3. Metodología .....	19
3.1. Integración de bases de datos .....	19
3.2. Diseño y cálculo de indicadores de eficiencia energética .....	23

---

3.3.	Diseño de diagramas y plantillas.....	27
3.3.1.	Identificación de diagramas .....	27
3.3.2.	Diseño de diagramas isométricos .....	29
3.3.3.	Diseño de plantillas .....	30
3.4.	Caracterización y diseño de alarmas .....	33
3.4.1.	Algoritmo para la automatización de correos .....	35
3.4.2.	Alarmas en WebApplications del PME .....	37
4.	Resultados y análisis .....	38
4.1.	API intermediaria e integración de datos de producción en el PME .....	38
4.2.	Algoritmo para el cálculo de indicadores de eficiencia energética .....	40
4.3.	Interfaz de usuario en el PME .....	43
4.4.	Sistema de alarmas en el PME .....	47
5.	Conclusiones .....	49
6.	Poster.....	51
7.	Referencias Bibliográficas .....	52



## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Interfaz de alarmas en el PME.....	16
<b>Figura 2.</b> Diagrama isométrico de una subestación. ....	17
<b>Figura 3.</b> Flujo de información de una API. Adaptado de ¿Qué es una API y cómo funciona?, Red Hat, 2023, <a href="https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces">https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces</a> ..	18
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de la estructura y sintaxis de un archivo en formato JSON. Adaptado de Formato JSON (JavaScript Object Notation), IBM, 2022, <a href="https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format..">https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format..</a>	18
<b>Figura 5.</b> Flujo de datos entre bases de datos y la API. ....	20
<b>Figura 6.</b> Especificación de fecha para consumir información en la API.....	20
<b>Figura 7.</b> Petición al servidor de Epicor con la base de datos de producción.....	21
<b>Figura 8.</b> Archivo en formato JSON con la petición al servidor.....	22
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Pareto para máquinas USE.....	25
<b>Figura 10.</b> Diagramas isométricos para extrusoras de empaques EX12, EX13 Varex I y EX14 Varex II. ....	27
<b>Figura 11.</b> Diagramas isométricos para extrusoras de fundas BO03 y BO04.....	28
<b>Figura 12.</b> Diagramas isométricos para flexográficas de empaques FL15, FL16, FL18 y FL21 (todas Miraflex idénticas) y flexográfica de fundas FL19 Soma. ....	28
<b>Figura 13.</b> Diagramas isométricos para flexográficas de fundas FL13 Nikelman I y FL17 Nikelman II. ....	28
<b>Figura 14.</b> Diagrama isométrico para la Termoformadora.....	29
<b>Figura 15.</b> Selladora Totani.....	30
<b>Figura 16.</b> Plantilla para las máquinas del proceso de extrusión. ....	31
<b>Figura 17.</b> Plantilla para las máquinas del proceso de impresión. ....	31
<b>Figura 18.</b> Plantilla para las máquinas de los procesos de sellado y termoformado.....	32
<b>Figura 19.</b> Plantilla individual genérica para las diferentes máquinas.....	33
<b>Figura 20.</b> Framework en Designer para el envío de correos automáticos de baja eficiencia. ....	36
<b>Figura 21.</b> Configuración del Email Module de Designer. ....	37
<b>Figura 22.</b> Menú de configuración de alarmas en WebApplications del PME.....	37
<b>Figura 23.</b> Framework para realizar la extracción de datos. ....	39

---

<b>Figura 24.</b> Configuración de la conexión con el servidor en el módulo de base de datos. ....	39
<b>Figura 25.</b> Configuración de la petición SQL en el módulo de base de datos. ....	40
<b>Figura 26.</b> Lectura de la producción y desperdicio de Epicor en el PME. ....	40
<b>Figura 27.</b> Cálculo de la energía consumida cada día por máquina. ....	41
<b>Figura 28.</b> Cálculo del indicador de Consumo Especifico de Energía. ....	42
<b>Figura 29.</b> CEE para las impresoras de la unidad de negocio Empaques. ....	43
<b>Figura 30.</b> CEE para las extrusoras de la unidad de negocio Empaques. ....	43
<b>Figura 31.</b> Plantilla para el proceso de extrusión con cálculos y variables eléctricas. ....	44
<b>Figura 32.</b> Plantilla para el proceso de impresión con cálculos y variables eléctricas. ....	44
<b>Figura 33.</b> Plantilla para los procesos de sellado y termoformado con cálculos y variables eléctricas. ....	45
<b>Figura 34.</b> Plantilla individual con variables eléctricas para la máquina FL16. ....	46
<b>Figura 35.</b> Plantilla individual con variables eléctricas para la máquina EX12. ....	46
<b>Figura 36.</b> Zoom a la información detallada de la máquina. ....	47
<b>Figura 37.</b> Correo automático de desviación de eficiencia energética. ....	47
<b>Figura 38.</b> Alarma de desviación de eficiencia en WebApplications. ....	48
<b>Figura 39.</b> Interfaz detallada para las alarmas. ....	48

---

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Estructura de datos del archivo tipo JSON.....	21
<b>Tabla 2.</b> Censo de carga de máquinas USE en Alico para el 2023. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Diseño de Indicadores de Consumo Especifico de Energía. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Caracterización de rangos para la máquina EX14 Varex II. ....	34
<b>Tabla 5.</b> Rangos de umbral para los indicadores de cada máquina. ....	35

---

### **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>BO</b>	Extrusora de fundas
<b>CEE</b>	Consumo Especifico de Energía
<b>CME</b>	Centro de Monitoreo de Energía
<b>EE</b>	Eficiencia Energética
<b>ERP</b>	Planificación de Recursos Empresariales
<b>EX</b>	Extrusora de empaques
<b>FL</b>	Flexográfica
<b>ICONTEC</b>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
<b>JSON</b>	JavaScript Object Notation
<b>PME</b>	Power Monitoring Expert
<b>SE</b>	Selladora
<b>TI</b>	Tecnología de la Información
<b>USE</b>	Uso Significativo de la Energía

---

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo General

Desarrollar una herramienta de monitoreo en el software Power Monitoring Expert (PME) para evaluar la eficiencia energética de las máquinas de producción con mayor consumo eléctrico en Alico. Esta herramienta utilizará el indicador de Consumo Específico de Energía (CEE) para proporcionar evaluaciones diarias y generar alertas mediante diagramas y sistemas de alarma sobre la eficiencia operativa.

### 1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y validar un método analítico para procesar y analizar datos energéticos registrados en el PME, con el propósito de identificar las máquinas de producción que presentan los mayores niveles de consumo energético en Alico. Este método debe ser capaz de clasificar las máquinas según su relevancia energética para una intervención prioritaria.
- Implementar un algoritmo específico dentro del software PME que permita el cálculo automatizado del CEE para cada una de las máquinas previamente identificadas como de alto consumo. Este algoritmo debe ser robusto, eficiente y capaz de adaptarse a diferentes patrones de consumo energético.
- Construir una interfaz de usuario en el PME que mejore la accesibilidad y comprensión de la información relacionada con la eficiencia energética a través de indicadores visuales, como diagramas y gráficos. Esta interfaz debe ser intuitiva, permitiendo a los usuarios realizar seguimientos efectivos de las tendencias de consumo y eficiencia.
- Integrar un sistema de alarmas en el PME que notifique a los usuarios sobre desviaciones significativas en la eficiencia energética de las máquinas, basándose en umbrales predefinidos de rendimiento del CEE. Este sistema debe permitir una rápida respuesta para poder realizar ajustes operativos que optimicen el consumo energético.

---

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Unidades de negocio en Alico

Alico S.A.S. BIC es una empresa privada, fundada en Medellín el 10 de julio de 1981, enfocada al sector de “conversión y transformación de empaques” (Alico, 2023, p. 6). La empresa se dedica a la producción y comercialización de empaques flexibles y termoformados, además, fabrica estructuras plásticas simples y complejas con aplicación específica. A continuación, se describen las cuatro unidades de negocio en las que ofrece servicios:

- **Unidad Fundas:** centrada en la producción y comercialización de fundas sintéticas y colágeno comestible para embutidos, aplicables en los sectores cárnico, lácteo, panadería, pulpas y productos industriales.
- **Unidad Empaques Iniciales:** produce bolsas y láminas con diferentes especificaciones de barrera que contribuyen a la preservación y aumento de la vida útil del producto, selles que dan diferentes formas al empaque e impresiones de hasta diez tintas con tecnologías aplicadas que permiten imprimir excelentes fotografías.
- **Unidad Sellado y Procesos Finales:** centrada en la confección de empaques flexibles y laminados, aplicables en algunos sectores como lo son: alimentos, agro, cosméticos, textiles y productos industriales. La confección del material se realiza mediante procesos productivos como sellado y postura de aditamentos en los procesos finales.
- **Unidad Termoformado:** en esta se encuentra una amplia gama de empaques semirrígidos, tanto genéricos como exclusivos, dirigidos a todos los sectores de la industria; posee la tecnología para fabricar empaques con la forma que los productos y el mercado requiera.

---

## 2.2. Máquinas de producción principales en Alico

Alico, al tener cuatro unidades de negocio, debe contar con una alta capacidad para atender la demanda de cada uno de los procesos operativos, y, para eso, se requieren muchas máquinas. Entre las principales, energética y productivamente hablando, se encuentran los siguientes tipos:

- **Extrusora:** esta máquina, mediante el empuje y presión de módulos extrusores (husillo y resistencias), funde y moldea materiales plásticos y polímeros que confluyen en varias capas en un cabezal, luego, con refrigeración y soplado de aire dan lugar a una película tubular que se aplana y estira hasta llegar a un bobinador (WINDMÖLLER & HÖLSCHER, 2017).
- **Flexográfica:** una impresora flexográfica utiliza planchas por cada color base, las cuales en su proceso se superponen para reproducir el diseño deseado, luego, “la plancha moldeada se coloca sobre el cilindro, que se introduce en el interior de la máquina impresora. En el interior entra en contacto con el rodillo anilox ... donde se aloja la tinta que, al girar, entra en contacto directo con las zonas que están con relieve en la plancha impresora ... generando la impresión por la transferencia de tinta al soporte final” (Esagraf, s.f).
- **Selladora:** una selladora es una máquina utilizada para envasar empaques o bolsas. Pueden ser utilizadas para envasar gran variedad de productos, desde alimentos y cosméticos hasta productos farmacéuticos. Estas máquinas utilizan diferentes métodos de sellado, ya sea mediante un sellado térmico, un sellado ultrasónico o un sellado adhesivo (Liu, L. 2022).
- **Termoformadora:** una termoformadora realiza un proceso de manufacturado de plástico que implica el calentamiento de una lámina de plástico, la cual, mediante succión por aire comprimido o por vacío adopta una forma a partir de un molde. La lámina formada se enfría y recorta para dar como resultado una unidad terminada (Formlabs, s.f).

## 2.3. Eficiencia Energética

La NTC ISO 50001:2019 indica que, dentro de los sistemas de gestión de energía, “la eficiencia energética es la proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, productos, materias primas, o de energía y una entrada de energía” (Instituto Colombiano

---

de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2019, p. 6). Es decir, la eficiencia energética se considera como la proporción entre un beneficio obtenido y la energía consumida para tal fin:

$$EE = \frac{\textit{Resultado Neto}}{\textit{Entrada de Energía}}$$

La mejora de la eficiencia energética se traduce en “obtener el mismo beneficio haciendo uso de una cantidad menor de energía u obtener un mayor beneficio con la misma energía utilizada” (Alico, 2022, p. 5). Por lo tanto, es fundamental entender que, ser eficientes con el uso de la energía implica maximizar su uso sin comprometer la calidad de vida del usuario final y fomentar la sostenibilidad a largo plazo.

#### **2.4. Consumo Específico de Energía (CEE)**

Según Lawrence et al. (2019), “El uso del Consumo Específico de Energía (CEE) para identificar mejoras potenciales en la eficiencia energética ha sido visto como un instrumento importante en la gestión de la energía. Frecuentemente, tanto en literatura como en estándares internacionales, el CEE es usado como un indicador de rendimiento energético para evaluar o medir el desempeño de la eficiencia energética” (p. 2). Generalmente, el CEE es calculado como el ratio de energía utilizada para producir un producto:

$$CEE = \frac{\textit{Energía Utilizada}}{\textit{Cantidad de Producto}}$$

Las unidades son elegidas arbitrariamente dependiendo de la intención del uso del CEE, por ejemplo, en Alico es posible obtener indicadores con unidades de kWh/m, kWh/kg o kWh/unidad, donde cada una representa un proceso diferente con máquinas diferentes de la empresa.

Es de recalcar que la unidad de medida puede verse expresada en kW o kWh, sin embargo, esto depende de si la medición del CEE se realiza con valores instantáneos como lo es la potencia o con valores acumulados durante un periodo de tiempo como lo es la energía.



---

Ahora, la utilidad de este indicador es que permite saber si una máquina está presentando una alta o baja eficiencia energética, por ejemplo, si una máquina extrusora de fundas presenta un CEE de 0.056 kWh/m en enero y 0.036 kWh/m en septiembre, se podría decir que en el mes de septiembre la máquina fue más eficiente, puesto que consumió una menor cantidad de energía por metro que durante el mes de enero. A partir de esto, es posible entrar a realizar análisis más profundos, los cuales permiten saber las causas de por qué durante un mes específico la máquina fue más o menos eficiente. Estas causas pueden ir desde las variaciones en el procedimiento de cada operario hasta el mal funcionamiento de una máquina.

## 2.5. Power Monitoring Expert (PME)

El software de Schneider Electric, Power Monitoring Expert (PME), “es una solución para proveedores y consumidores en la gestión de la energía. Este permite tener un manejo de la información energética de dispositivos de control y medición instalados en las instalaciones u otros lugares remotos. Además, el software ofrece la posibilidad de realizar análisis de calidad y fiabilidad de la energía, ayudando así a reducir costos relacionados con la misma” (Schneider Electric, 2022, p. 1040). El PME cuenta con diferentes componentes y herramientas, entre los que se encuentran:

- **Web Applications:** es la parte del software orientada al usuario final, en donde se puede realizar el monitoreo de la energía mediante dashboards, diagramas, tendencias, alarmas, reportes y otras configuraciones básicas del software.
- **Vista:** permite realizar otro tipo de acciones de control en los dispositivos monitoreados, como, por ejemplo, mostrar información histórica o de tiempo real en displays gráficos. También es en donde se crean los diagramas que más adelante se visualizarán en el Web Applications.
- **Designer:** permite llevar a cabo una amplia cantidad de funciones, desde la configuración de los registros de los dispositivos en la red hasta la creación de frameworks complejos mediante un sistema de módulos basados en la arquitectura ION, en donde “Cada módulo está especializado para realizar una tarea específica, ya que contiene datos e instrucciones sobre cómo gestionar esos datos. Al combinar (o vincular) varios módulos, se pueden crear funciones personalizadas para el sistema de monitoreo de energía”. (Schneider Electric ION Reference, 2023, p. 10).

## 2.6. Alarmas

Las alarmas son una de las herramientas integradas en el software PME de Schneider Electric que, como se observa en la figura 1, permiten alertar de manera visual y audible sobre situaciones o eventos importantes. El software monitorea constantemente las condiciones dadas para activar o no una alarma, por ejemplo, en una alarma de sobretensión para un dispositivo en el sistema, se monitorea si la tensión supera el umbral establecido y se activa la alarma. Cuando la tensión vuelve a estar por debajo del umbral, la alarma se desactiva, sin embargo, el software mantiene un registro con el histórico de tiempo, valores y número de ocurrencias para cada alarma.

Alarm Status – All Alarms Update in 0:07

State	Name	Type	Source	Acknowledgement	Last Occurrence
● 1 days 0 hr ago	Desbalance de corriente 3F – Current Unbalance Worst	Unbalance (Current)	Fundas_Impresión Soma	Acknowledge (79 occurrences)	2/19/2024 3:59:18.174 PM
● 1 days 4 hr ago	Potencia Activa Totalizador_ed – Active Power	Electricity	Edificio_Manel.Totalizador_ed	Acknowledge (11 occurrences)	2/19/2024 11:50:58.029 AM
● 1 days 6 hr ago	Potencia Activa Bopa_5 – Active Power	Electricity	Fundas_Extrusión Bopa_5	Acknowledge (66 occurrences)	2/19/2024 10:38:12.202 AM
● 1 days 7 hr ago	Potencia Activa Kaeser 75 – Active Power	Electricity	Compresores_Empaques Kaeser75	Acknowledge (39 occurrences)	2/19/2024 9:36:54.712 AM
● 1 days 13 hr ago	Potencia Activa Totani – Active Power	Electricity	Sellado.Totani	Acknowledge (51 occurrences)	2/19/2024 2:58:42.480 AM
● 1 days 15 hr ago	Transient	Transient	Subestaciones.SE6	Acknowledge (26 occurrences)	2/19/2024 1:34:26.614 AM

**Figura 1.** Interfaz de alarmas en el PME.

En el contexto de la eficiencia energética, las alarmas pueden utilizarse para saber cuándo una máquina o proceso está operando fuera de sus parámetros normales, ayudando así a identificar oportunidades de mejora en tiempo real.

## 2.7. Diagramas isométricos

Los diagramas isométricos son representaciones gráficas tridimensionales del sistema o proceso, en este caso, como se presenta en la figura 2, las máquinas de la empresa. Estos diagramas permiten tener una representación más clara y entendible de objetos tridimensionales en un plano bidimensional. En el contexto del proyecto, los diagramas pueden integrarse con el software PME, permitiendo así una mejor visualización de las máquinas de producción dentro del alcance del

proyecto (extrusoras, flexográficas y selladoras), las cuales van acompañadas de información relevante de la misma, tal como tensiones, corrientes, potencias, eficiencia, entre otros.

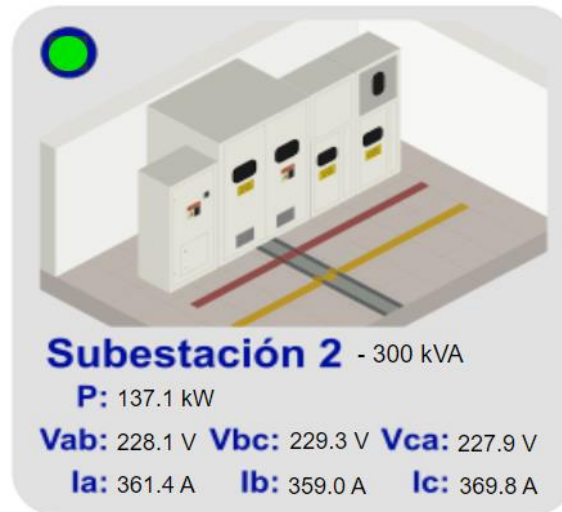
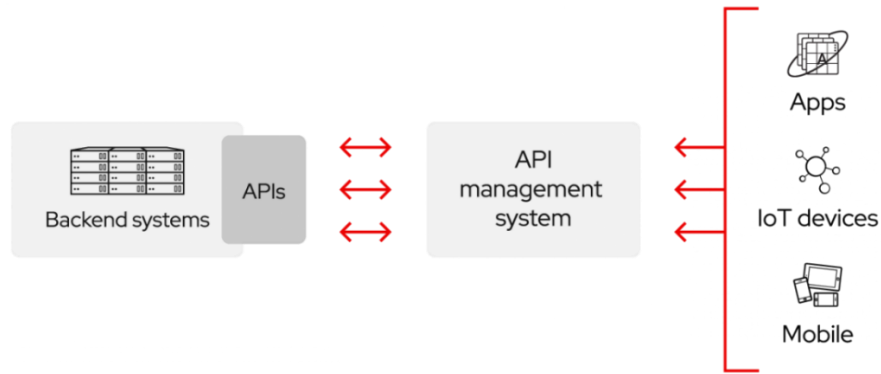


Figura 2. Diagrama isométrico de una subestación.

## 2.8. Application Programming Interface (API)

Una API es un conjunto de protocolos que se usan para integrar el software de las aplicaciones. La API actúa como intermediaria entre sistemas, permitiendo que los diferentes servicios se comuniquen con otros sin necesidad de saber cómo se encuentran implementados. “Las API se han vuelto cada vez más importantes en el desarrollo de software moderno. Permiten a los desarrolladores centrarse en crear nuevas funciones en lugar de reinventar la rueda” (Fatima, 2024, sección ¿Por qué necesitamos API?). En resumen, una API permite tener una infraestructura de transferencia de datos con mayor seguridad y control mientras habilita el acceso a los recursos a aplicaciones externas. Por ejemplo, la API puede transferir información entre un sistema back-end o de servidores y aplicaciones o dispositivos móviles, como se ve en la figura 3.



**Figura 3.** Flujo de información de una API. Adaptado de ¿Qué es una API y cómo funciona?, Red Hat, 2023, <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>.

## 2.9. JavaScript Object Notation (JSON)

JSON es un formato de texto ligero y sencillo utilizado en el intercambio de datos y que se encuentra basado en un subconjunto del lenguaje de programación JavaScript. Este formato es independiente del lenguaje, pero utiliza convenios de la familia C, por lo que ha tenido una amplia adopción debido a que funciona como alternativa al formato XML. La estructura de este formato se rige mediante objetos o conjuntos de pares propiedad/valor, en donde cada uno de estos objetos comienza con una llave de apertura (`{`) y termina con una llave de cierre (`}`), además, cada propiedad va seguida de dos puntos (`:`) y los pares van separados por coma. En la figura 4 se observa un ejemplo de la sintaxis de un archivo JSON, en el cual, se tiene un objeto del tipo cliente; las propiedades se nombran `firstName`, `lastName`, `address` y `phoneNumbers`; y cada una de estas propiedades tienen su respectivo valor separado por dos puntos.

```
1      {
2          "firstName": "John",
3          "lastName": "Smith",
4          "address": {
5              "streetAddress": "21 2nd Street",
6              "city": "New York",
7              "state": "NY",
8              "postalCode": 10021
9          },
10         "phoneNumbers": [
11             "212-732-1234",
12             "646-123-4567"
13         ]
14     }
```

**Figura 4.** Ejemplo de la estructura y sintaxis de un archivo en formato JSON. Adaptado de Formato JSON (JavaScript Object Notation), IBM, 2022, <https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format>

---

### 3. Metodología

La metodología utilizada en este proyecto consistió en 4 etapas o entregables: la integración de bases de datos, el diseño y cálculo de indicadores de eficiencia energética, el diseño de diagramas y plantillas y la caracterización y diseño de alarmas.

#### 3.1. Integración de bases de datos

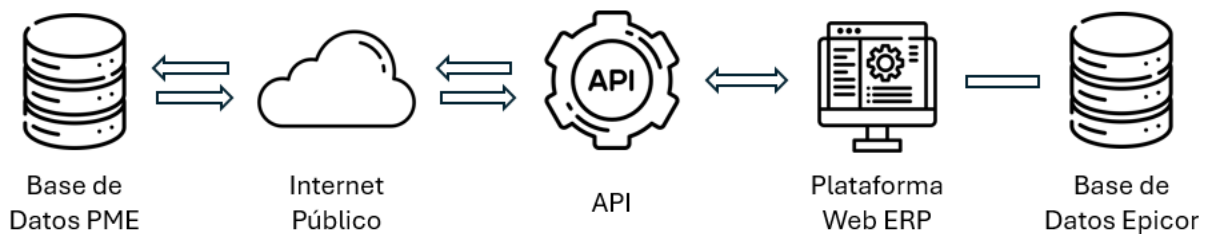
La integración de bases de datos tuvo un papel fundamental en el proyecto, ya que, para poder realizar el cálculo de indicadores de eficiencia energética, hacían falta dos datos: energía y producción. El problema con esto era que ambas variables se encontraban almacenadas en lugares diferentes, la energía en la base de datos del PME y la producción en la base de datos del ERP de Alico, Epicor. De aquí que surgió la necesidad de unificar la información en un mismo lugar, en este caso, transferir la información de la producción hasta la base de datos de la energía PME, dado que es desde allí que se trabaja con el software de gestión de la energía.

Para realizar esta tarea fue necesaria la ayuda de varias partes: del equipo de Gestión Energética para especificar el proyecto y la necesidad de integración, del equipo de TI de Alico para gestionar la transferencia de la información de forma segura y sin poner en riesgo los diferentes servicios de la empresa, y, de parte de la empresa de terceros Sollivan, quienes son aliados de Schneider Electric y expertos en el software PME. El procedimiento para esto consistió en realizar varias reuniones iniciales entre los tres equipos para brindar especificaciones del proyecto, a partir de esto, se cotizó el trabajo y se analizó con gerencia para obtener o no la aprobación del proyecto, luego, se procedió con la orden de compra y se dio inicio al trabajo conjunto, el cual se coordinó mediante reuniones y correos electrónicos para la resolución de inquietudes y verificación de avances.

En estas reuniones se decidió que la mejor forma de transferir esta información era mediante archivos con una estructura de datos basada en el formato de texto JSON y con una API que funcionara como intermediaria entre ambas bases de datos. Partiendo de esto, y, con ayuda del equipo de TI, se realizó una API, la cual permitió que diferentes aplicaciones y servicios se

pudiesen comunicar entre sí para compartir la información sin tener que acceder directamente a la base de datos.

En este caso, la API realizada por TI sirvió para leer la información de producción y desperdicios de cada máquina de la empresa a través de internet, sin tener que acceder directamente a la plataforma de Epicor y a la base de datos terminal de la empresa, consiguiendo así que Sollivan pudiera almacenar estos datos en la base de datos del PME. En la figura 5 se presenta el flujo de la información utilizando la API como intermediaria entre ambas bases de datos.



**Figura 5.** Flujo de datos entre bases de datos y la API.

La API permitió obtener la información de la producción, como se muestra en la figura 6, esta tenía un recuadro en su interfaz para especificar la fecha de consulta:

Name	Description
<b>Desde</b> * required	
string(\$date) (query)	Desde, date
	<input type="text" value="05/30/2024"/>
<b>Hasta</b> * required	
string(\$date) (query)	Hasta, date
	<input type="text" value="05/30/2024"/>

**Figura 6.** Especificación de fecha para consumir información en la API.

Una vez se ejecuta el programa con la fecha, esta arrojaba un archivo de formato JSON con el cual se realiza el intercambio de datos, además, este archivo JSON tenía una estructura de datos que especificaba el campo, la descripción, el tipo de dato y el formato que tenía la información. En la tabla 1 se observa la estructura de datos utilizada para consumir la información de Epicor.

**Tabla 1.** Estructura de datos del archivo tipo JSON.

Estructura de datos JSON			
Campo	Descripción	Tipo	Formato
Calculated_Recurso	Descripción de la máquina	nvarchar	x(10)
Calculated_Producido01	Cantidad producida	decimal	->>, >>9.99
Calculated_UDM	Unidad de medida de la parte producida	nvarchar	x(5)
Calculated_Desperdicio01	Cantidad de desperdicio producida por la máquina	decimal	->>, >>9.99
Calculated_Kilos_Producidos01	Cantidad producida en kilogramos	decimal	->>, >>9.99

Luego de ejecutar la API con una fecha específica, el script que aparecía se componía inicialmente de la descripción del comando cURL (Client URL), el cual servía como herramienta de transferencia de datos hacia o desde un servidor y es compatible con protocolos HTTP, HTTPS, FTP, SFTP y entre otros. Junto a este comando cURL, se utilizó un método de petición GET, en el que los datos que se envían del servidor se escriben en la misma dirección URL. En la figura 7 se observa la estructura de este comando cURL (se censura parte de la dirección por seguridad).

```
curl -X 'GET' \
  'https://c[REDACTED]
[REDACTED]/?Desde=05%2F30%2F2024&Hasta=05%2F30%2F2024'
  \
  -H 'accept: application/json'
```

**Figura 7.** Petición al servidor de Epicor con la base de datos de producción.

En la figura 8 se muestra parte del archivo JSON, en el que se especificaban las máquinas y los parámetros necesarios siguiendo la estructura de datos presentada en la tabla 1.

```
{
  "odata.metadata": "https://[redacted]
  DynamicQuery.QueryResults",
  "value": [
    {
      "Calculated_Recurso": "EX12",
      "Calculated_Producido01": "3158.0000
0000",
      "Calculated_UDM": "KG",
      "Calculated_Desperdicio01": "108.130
000000",
      "Calculated_Kilos_Producidos01": "31
58.00000000",
      "RowIdent": "00000001-0000-0000-0000
-000000000000"
    },
    {
      "Calculated_Recurso": "EX13",
      "Calculated_Producido01": "10391.000
00000",
      "Calculated_UDM": "KG",
      "Calculated_Desperdicio01": "305.300
000000",
      "Calculated_Kilos_Producidos01": "10
391.00000000",
      "RowIdent": "00000002-0000-0000-0000
-000000000000"
    },
    {
      "Calculated_Recurso": "EX14",
      "Calculated_Producido01": "11274.600
00000",
      "Calculated_UDM": "KG",
      "Calculated_Desperdicio01": "1956.820
000000",
      "Calculated_Kilos_Producidos01": "112
74.60000000",
      "RowIdent": "00000003-0000-0000-0000-
000000000000"
    },
    {
      "Calculated_Recurso": "TERMO",
      "Calculated_Producido01": "5992.45000
000",
      "Calculated_UDM": "KG",
      "Calculated_Desperdicio01": "1173.000
000000",
      "Calculated_Kilos_Producidos01": "599
2.45000000",
      "RowIdent": "00000004-0000-0000-0000-
000000000000"
    },
    {
      "Calculated_Recurso": "B003",
      "Calculated_Producido01": "39000.0000
0000",
      "Calculated_UDM": "M",
      "Calculated_Desperdicio01": "28598.50
000000",
      "Calculated_Kilos_Producidos01": "271
.50000000",
      "RowIdent": "00000005-0000-0000-0000-
000000000000"
    }
  ]
}
```

Figura 8. Archivo en formato JSON con la petición al servidor.

En este archivo se especificaba la ruta en la que se encontraban los metadatos, es decir, datos que describen otros datos, en este caso, los datos que describían la petición o query que se realiza al servidor. Luego, se describían las propiedades y valores del archivo JSON, por ejemplo, se observa que la primera solicitud corresponde a la máquina extrusora de empaques EX12, la cual, para el día 30 de mayo de 2024 (fecha de la petición), tuvo una cantidad de producción de 3158, con una unidad de medida de “KG”, una cantidad de desperdicio de 108.130 kg y una cantidad de kilos producidos de 3158 (el mismo valor que la cantidad de producción, debido a que utilizan la misma unidad). Otro ejemplo, en el que las unidades de medida son diferentes, es el de la extrusora de fundas B003, que tuvo una producción de 39000, con unidad de medida “M”, una cantidad de desperdicios de 28498.5 kg (los desperdicios son siempre en kilogramos), y, una cantidad equivalente de kilos producidos de 271.5 kg.



---

### **3.2. Diseño y cálculo de indicadores de eficiencia energética**

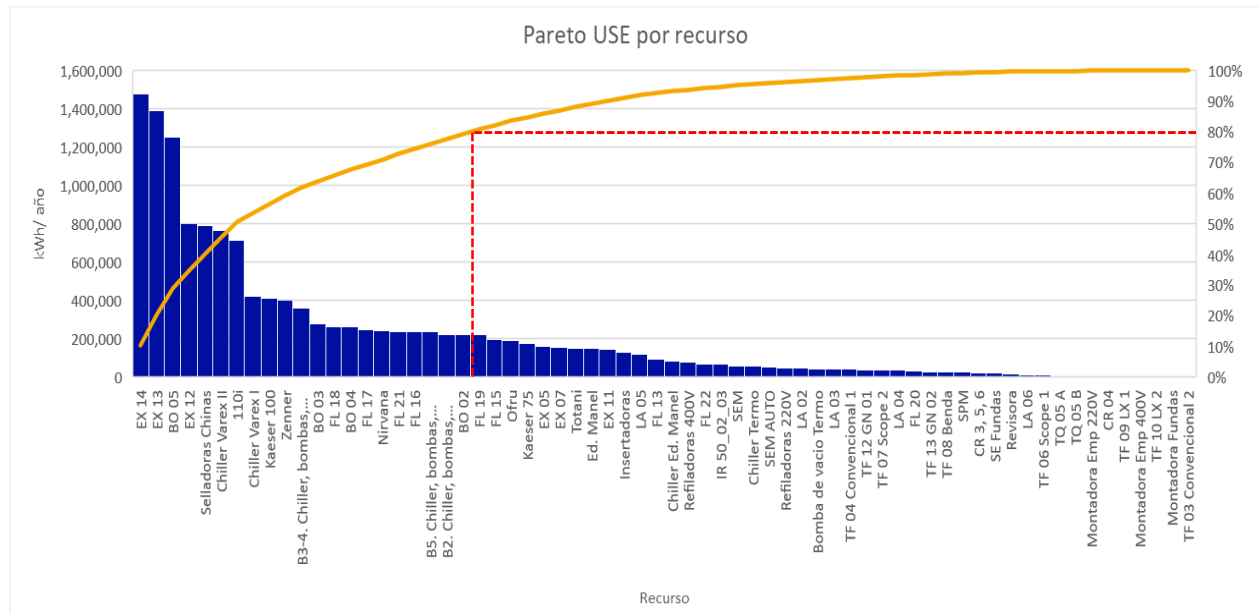
Inicialmente, para realizar los análisis era necesario conocer cuáles eran los equipos que representaban un Uso Significativo de la Energía (USE) en la empresa, es decir, los más consumidores de energía eléctrica. Para esto, se sacó provecho del censo de carga que se presenta en la tabla 2, el cual consistió en una caracterización en donde se clasificaron la gran mayoría de equipos de la empresa según su consumo de energía total durante el año 2023. Para las mediciones de este censo se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se tomó un reporte desde el CME de Alico S.A.S BIC de la energía que registraron los medidores de las máquinas para el año 2023.
2. Para máquinas que no cuentan con medidor, se realizó un seguimiento del consumo de corriente y voltaje mediante medición con pinza amperimétrica en los respectivos tableros eléctricos.
3. Con los diferentes equipos de producción de cada proceso se indagaron las horas de operación de las máquinas sin medidor durante el año 2023, tal que se pudiera calcular un valor aproximado de consumo de energía.

**Tabla 2.** Censo de carga de máquinas USE en Alico para el 2023.

USE por recurso					
Subestación	Área	Proceso	Equipo	Energía total/año [kWh]	% Total
6	Empaques	Extrusión	EX 14	1,479,462	10.43%
6	Empaques	Extrusión	EX 13	1,391,131	9.81%
1	Fundas	Extrusión	BO 05	1,252,761	8.83%
6	Empaques	Extrusión	EX 12	798,706	5.63%
3 (220V)	Empaques	Sellado	Selladoras Chinas	790,412	5.57%
6	Empaques	Agua helada	Chiller Vorex II	763,700	5.38%
3 (400 V)	Servicio auxiliar	Aire comprimido	110i	711,633	5.02%
6	Empaques	Agua helada	Chiller Vorex I	420,052	2.96%
Termoformado	Termoformado	Aire comprimido	Kaeser 100	410,724	2.90%
3 (220V)	Empaques	Sellado	Zenner	403,043	2.84%
3 (220V)	Empaques	Agua helada	B3-4. Chiller, bombas, torres	361,965	2.55%
1	Fundas	Extrusión	BO 03	276,714	1.95%
3 (400 V)	Empaques	Impresión	FL 18	264,500	1.86%
1	Fundas	Extrusión	BO 04	262,884	1.85%
3 (400 V)	Fundas	Impresión	FL 17	246,254	1.74%
3 (400 V)	Servicio auxiliar	Aire comprimido	Nirvana	242,421	1.71%
6	Empaques	Impresión	FL 21	239,496	1.69%
3 (400 V)	Empaques	Impresión	FL 16	239,186	1.69%
5	Empaques	Agua helada	B5. Chiller, bombas, torres	238,779	1.68%
2	Fundas	Agua helada	B2. Chiller, bombas, torres	224,741	1.58%
2	Fundas	Extrusión	BO 02	223,991	1.58%
3 (400 V)	Fundas	Impresión	FL 19	220,831	1.56%
3 (400 V)	Empaques	Impresión	FL 15	199,175	1.40%
3 (400 V)	Empaques	Impresión	Ofru	189,547	1.34%
3 (220V)	Servicio auxiliar	Aire comprimido	Kaeser 75	174,442	1.23%
5	Empaques	Extrusión	EX 05	160,371	1.13%
5	Empaques	Extrusión	EX 07	154,102	1.09%
3 (220V)	Empaques	Sellado	Totani	151,396	1.07%
5	Empaques	Administrativo	Ed. Manel	150,751	1.06%
5	Empaques	Extrusión	EX 11	145,577	1.03%
3 (220V)	Empaques	Insertado	Insertadoras	128,260	0.90%
3 (400 V)	Empaques	Laminación	LA 05	121,079	0.85%
3 (400 V)	Fundas	Impresión	FL 13	94,764	0.67%
6	Empaques	Administrativo	Chiller Ed. Manel	83,099	0.59%
3 (400 V)	Empaques	Refilado	Refiladoras 400V	79,351	0.56%
6	Empaques	Impresión	FL 22	70,513	0.50%
Termoformado	Termoformado	Aire comprimido	IR 50_02_03	66,906	0.47%
3 (220V)	Empaques	Procesos finales	SEM	58,383	0.41%
Termoformado	Termoformado	Agua helada	Chiller Termo	56,807	0.40%
3 (220V)	Empaques	Procesos finales	SEM AUTO	53,379	0.38%
3 (220V)	Empaques	Refilado	Refiladoras 220V	48,221	0.34%
3 (220V)	Empaques	Laminación	LA 02	48,145	0.34%
Termoformado	Termoformado	Vacio	Bomba de vacio Termo	44,082	0.31%
3 (220V)	Empaques	Laminación	LA 03	43,953	0.31%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 04 Convencional 1	41,052	0.29%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 12 GN 01	39,369	0.28%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 07 Scope 2	36,423	0.26%
3 (400 V)	Empaques	Laminación	LA 04	36,224	0.26%
6	Empaques	Impresión	FL 20	35,493	0.25%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 13 GN 02	28,483	0.20%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 08 Benda	28,208	0.20%
3 (220V)	Empaques	Reprocesos	SPM	27,245	0.19%
3 (400 V)	Fundas	Corrugado	CR 3, 5, 6	24,046	0.17%
1	Fundas	Procesos Finales	SE Fundas	20,736	0.15%
1	Fundas	Procesos Finales	Revisora	18,230	0.13%
3 (400 V)	Empaques	Laminación	LA 06	14,764	0.10%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 06 Scope 1	10,282	0.07%
Termoformado	Termoformado	Troquelado	TQ 05 A	7,781	0.05%
Termoformado	Termoformado	Troquelado	TQ 05 B	6,657	0.05%
3 (220V)	Empaques	Impresión	Montadora Emp 220V	6,097	0.04%
2	Fundas	Corrugado	CR 04	4,428	0.03%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 09 LX 1	4,306	0.03%
3 (400 V)	Empaques	Impresión	Montadora Emp 400V	4,240	0.03%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 10 LX 2	4,220	0.03%
1	Fundas	Impresión	Montadora Fundas	1,577	0.01%
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	TF 03 Convencional 2	55	0.00%

Una vez clasificados los equipos en el censo, se realizó, como se muestra en la figura 9, un diagrama de Pareto, en donde a partir del principio de Pareto se obtuvo que aproximadamente el 80% del consumo total de energía en la empresa estaba directamente relacionado a un 20% de los equipos.



**Figura 9.** Diagrama de Pareto para máquinas USE.

Los equipos que quedan a la izquierda de la línea punteada roja, y que representaban el 80% del consumo en la empresa, de mayor a menor, son: Extrusora 14 (Varex II), Extrusora 13 (Varex I), Bopa 05 (Kuhne), Extrusora 12, Selladoras Chinas, Chiller Varex II, IR 110i (Compresor), Chiller Varex I, Kaesar 100 (Compresor), Selladoras Zenner, Sistema Chiller B3-4, Bopa 03, Flexográfica 18, Bopa 04, Flexográfica 17 (Nikelman II), Nirvana (Compresor), Flexográfica 21, Flexográfica 16, Sistema Chiller B5, Sistema Chiller B2 y Bopa 02.

Sin embargo, para el alcance de este proyecto solo se tomaron equipos de producción, es decir, se descartaron los servicios auxiliares como los compresores y sistemas de enfriamiento chillers. También se tomaron solo equipos que contaban con medidores, por lo que se descartaron las selladoras Zenner y la Bopa 02. Entonces, tomando los equipos restantes y añadiendo algunos un poco más allá de la línea de Pareto que podían resultar relevantes, los equipos con los que se trabajó en este proyecto fueron:

- **Extrusoras Empaques:** EX14 (Varex II), EX13 (Varex I), EX12.
- **Extrusoras Fundas:** BO03, BO04, BO05 (Kuhne).
- **Flexográficas Empaques:** FL15, FL16, FL18, FL21.
- **Flexográficas Fundas:** FL13 (Nikelman I), FL17 (Nikelman II), FL19 (Soma).
- **Selladoras:** SE247 China, Totani.
- **Termoformado:** termoformadoras en general.

Para el diseño de indicadores de eficiencia energética se realizó la tabla 3, la cual permitió obtener un valor de referencia del CEE y las respectivas unidades utilizadas en cada una de las máquinas. Para esto, se especificó la unidad de negocio, el proceso, la máquina, la producción y la energía total en 2023 y el CEE ponderado.

**Tabla 3.** Diseño de Indicadores de Consumo Especifico de Energía.

Diseño de Indicadores CEE						
Unidad Negocio	Proceso	Máquina	Producción (kg, m o unidad)	Energía (kWh/año)	CEE Ponderado 2023	Unidad CEE
Empaques	Extrusión	EX 14 (Varex II)	2,943,782	1,452,751	0.49	kWh/kg
Empaques	Extrusión	EX 13 (Varex I)	2,283,953	1,391,131	0.61	kWh/kg
Empaques	Extrusión	EX 12	956,434	798,706	0.84	kWh/kg
Fundas	Extrusión	BO 03	151,755	276,714	1.82	kWh/kg
Fundas	Extrusión	BO 04	274,331	262,884	0.96	kWh/kg
Fundas	Extrusión	BO 05 (Kuhne)	340,909	1,252,761	3.67	kWh/kg
Empaques	Impresión	FL 15	21,439,432	199,175	0.93	kWh/100m
Empaques	Impresión	FL 16	19,596,860	239,186	1.22	kWh/100m
Empaques	Impresión	FL 18	25,348,314	264,500	1.04	kWh/100m
Empaques	Impresión	FL 21	31,995,435	239,496	0.75	kWh/100m
Fundas	Impresión	FL 19 (Soma)	23,874,210	220,831	0.92	kWh/100m
Fundas	Impresión	FL 13	11,387,619	341,018	0.95	kWh/100m
Fundas	Impresión	FL 17	24,382,716			
Sellado/P. Finales	Sellado	Totani	125,763,517	151,396	1.20	kWh/1000unidad
Sellado/P. Finales	Sellado	SE 47 China	71,159,282	41,601	0.58	kWh/1000unidad
Termoformado	Termoformado	Termoformadoras	-	-	-	kWh/kg

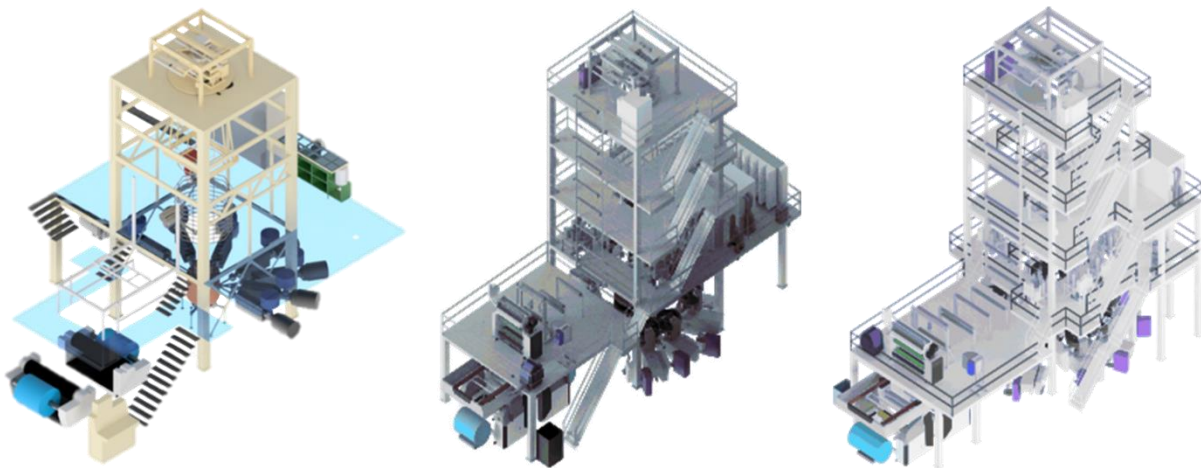
Por último, para el cálculo automatizado del CEE se realizó un algoritmo mediante un framework de programación por bloques con la herramienta Designer del PME, en el que fue necesario calcular la energía total consumida del día anterior y la producción del día anterior para cada máquina.

### 3.3. Diseño de diagramas y plantillas

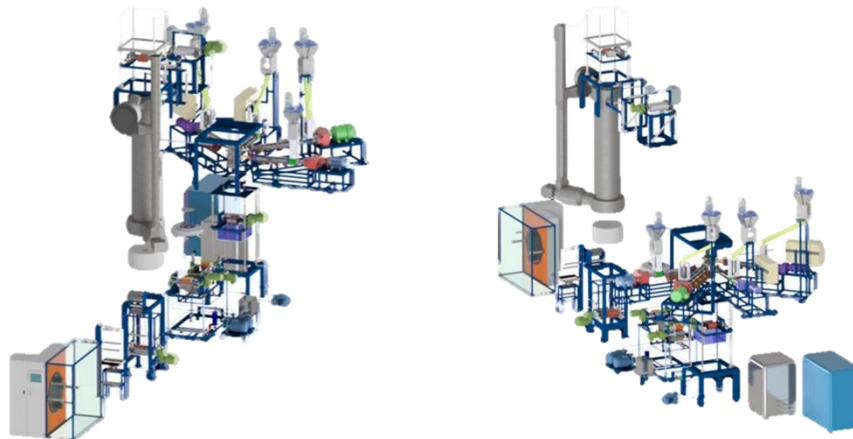
Un aspecto fundamental para este proyecto es la representación gráfica clara y accesible de los procesos operativos en cada una de las máquinas de producción. En este contexto, fue necesaria la identificación de los diagramas isométricos ya existentes, la creación de los diagramas isométricos de máquinas faltantes, la creación de plantillas y la implementación de diagramas y variables eléctricas en la herramienta Vista del PME.

#### 3.3.1. Identificación de diagramas

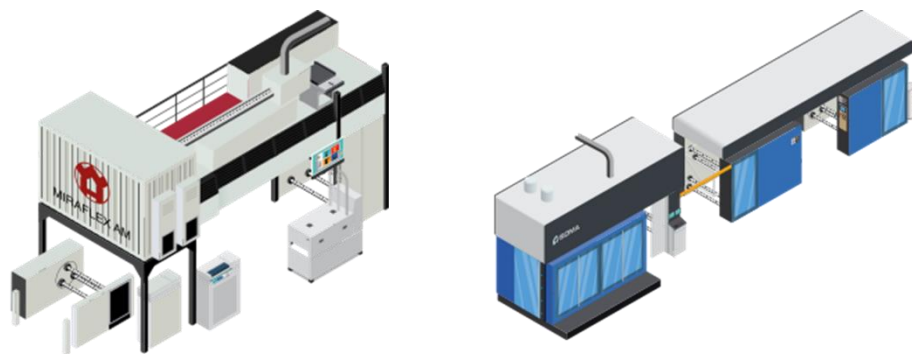
La identificación de diagramas evitó repetir trabajo ya existente puesto que permitió averiguar acerca de qué diagramas existían y cuáles realmente faltaban. Para esto, se preguntó al equipo de gestión energética, al equipo de diseño mecánico y al equipo de artes y de marca de la empresa si tenían y podían compartir de entre sus trabajos, diagramas de las máquinas que pudieran servir como insumo para la implementación en el proyecto. A partir de este rastreo, se obtuvo que ya se encontraban diagramas para las siguientes máquinas: EX12, EX13 Varex I, EX14 Varex II, BO03, BO04, FL15, FL16, FL18, FL21, FL13 Nikelman I, FL17 Nikelman II, FL19 Soma y Termoformado. Los diagramas isométricos para cada uno de estos equipos se presentan en las figuras 10, 11, 12, 13 y 14.



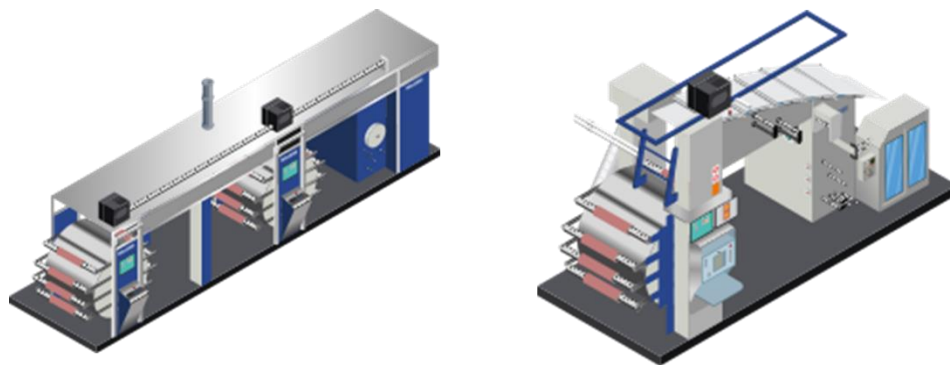
**Figura 10.** Diagramas isométricos para extrusoras de empaques EX12, EX13 Varex I y EX14 Varex II.



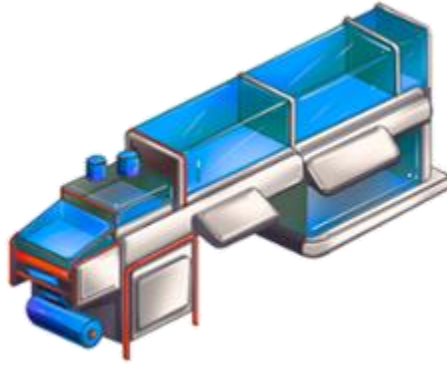
**Figura 11.** Diagramas isométricos para extrusoras de fundas BO03 y BO04.



**Figura 12.** Diagramas isométricos para flexográficas de empaques FL15, FL16, FL18 y FL21 (todas Miraflex idénticas) y flexográfica de fundas FL19 Soma.



**Figura 13.** Diagramas isométricos para flexográficas de fundas FL13 Nikelman I y FL17 Nikelman II.



**Figura 14.** Diagrama isométrico para la Termoformadora.

Gracias a esto, solo hacía falta crear 3 diagramas isométricos: uno para la máquina extrusora de fundas BO05 Kuhne, uno para la selladora Totani y uno para la selladora SE247.

### ***3.3.2. Diseño de diagramas isométricos***

El diseño de los diagramas faltantes se realizó mediante el software Inkscape, un editor de gráficos vectoriales de código libre y abierto. Este software fue de gran utilidad, puesto que para ser gratuito cuenta con las herramientas necesarias para la creación de diagramas e ilustraciones complejas, por ejemplo, tiene la opción de utilizar rejillas con perspectiva axonométrica, la cual permitió representar los elementos geométricos o volúmenes en un plano y conservando las proporciones en cada una de las tres direcciones del espacio (altura, anchura y longitud); tiene también una herramienta de pluma que permite realizar curvas de Bézier (sistema para modelar curvas más suavizadas) y líneas rectas; y, un sistema por capas que aporta mayor flexibilidad para organizar y editar objetos.

Dado que representaba la menor dificultad (a criterio propio y de otros diseñadores de ingeniería en Alico) y serviría de aprendizaje para conocer el uso del software, se decidió comenzar con la creación del diagrama para la selladora Totani, y, posteriormente continuar con la extrusora BO05 y la selladora SE247. La idea era intentar replicar en el software la máquina, dentro de lo posible, a partir de fotos y vídeos de la máquina capturados mediante visitas a la planta como se ve en la figura 15, teniendo en cuenta que, estos diagramas son una representación artística que

permite identificar cada máquina, por lo que no es exacta ni cumple con las dimensiones y medidas reales.



**Figura 15.** Selladora Totani.

### **3.3.3. *Diseño de plantillas***

Una vez que todos los diagramas isométricos fuesen creados, era necesario realizar las plantillas sobre las cuales se dispondrían estos diagramas y la información de las variables eléctricas e indicador de eficiencia en el PME. Primero, se decidió cuál sería la distribución de los diagramas en cada una de las plantillas, para esto, se dividieron según el tipo de proceso en la empresa, es decir, una plantilla para el proceso de extrusión, otra para el proceso de impresión y otra para los procesos de sellado y termoformado. De esta forma, la distribución quedó en una plantilla con seis (6) máquinas extrusoras, una plantilla con siete (7) impresoras flexográficas y una plantilla con dos (2) selladoras y una (1) termoformadora (abarca todas las termoformadoras).

Estas plantillas contienen el fondo, recuadros en los que se dispondrían los diagramas isométricos, diferentes textos para indicar nombres, variables eléctricas e indicadores de eficiencia energética de cada máquina, pilotos indicadores del estado de comunicación, el menú de desplazamiento entre páginas y los logos del departamento de ingeniería y el Centro de Monitoreo de Energía (CME) de la empresa. Además, cada una de estas plantillas tiene dimensiones de 1279 pixeles de ancho por 799 pixeles de alto (1279x799), ya que esta era la proporción que mejor se ajustó a los monitores del CME. Las plantillas para estos procesos, sin los diagramas isométricos y sin la información de variables eléctricas, se muestran en las figuras 16, 17 y 18.





## Proceso de Extrusión



Figura 16. Plantilla para las máquinas del proceso de extrusión.



## Proceso de Impresión

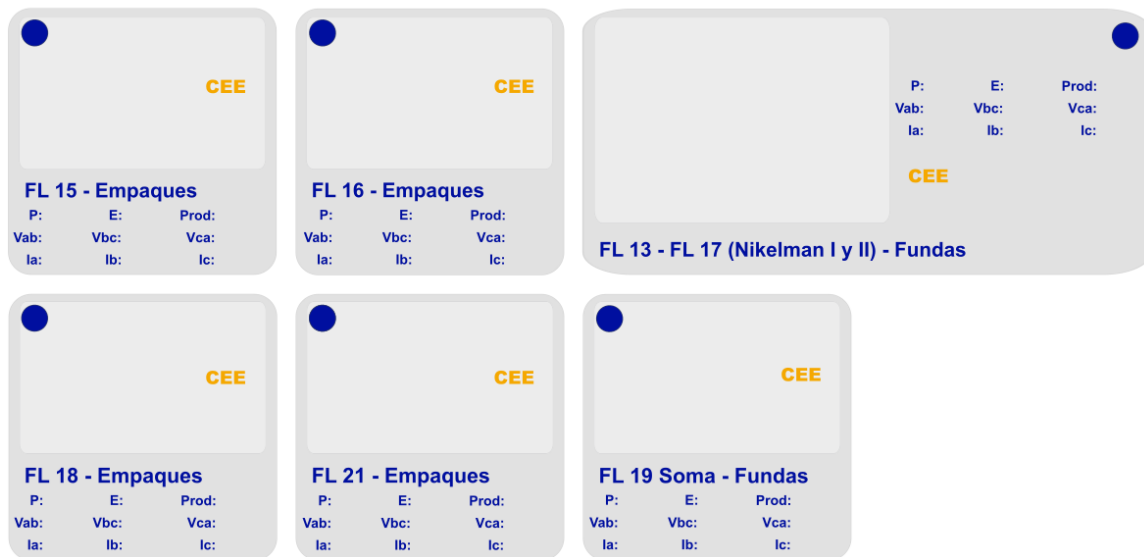


Figura 17. Plantilla para las máquinas del proceso de impresión.

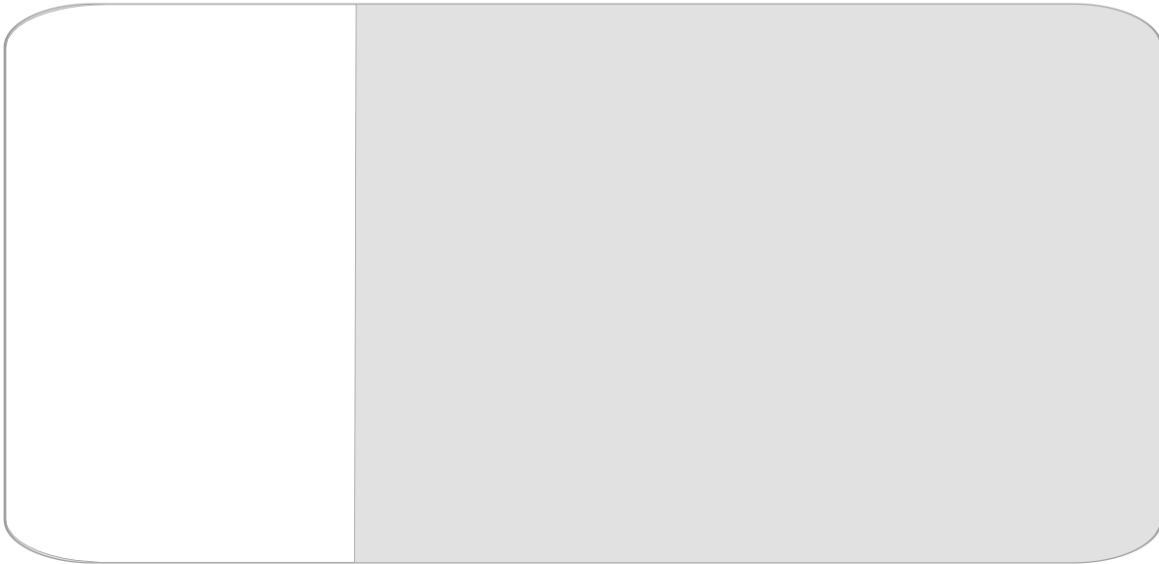


**Figura 18.** Plantilla para las máquinas de los procesos de sellado y termoformado.

Cabe aclarar que el menú en las plantillas presenta también los servicios auxiliares de la empresa como chillers, compresores o subestaciones, debido a que estos ya eran una parte existente del CME y por tanto debían permanecer enlazados al nuevo trabajo con las máquinas de producción.

Por otro lado, también se requerían plantillas para cada máquina individual, de tal forma que, al presionar clic en el diagrama de alguna de las máquinas, se accediera a estas plantillas individuales en las que se muestre una mayor cantidad de información eléctrica específica de cada una de las máquinas, de forma tal que, se pudiera conocer en mayor profundidad sus comportamientos. Las plantillas base se crearon de la misma forma que las plantillas creadas para cada proceso, además, solo fue necesario crear una plantilla genérica, como se muestra en la figura 19, puesto que era idéntica para cada una de las máquinas, a excepción del nombre y el diagrama isométrico de cada equipo, datos que podían cambiarse fácilmente más adelante.

## Selladora SE247 - Sellado



**Figura 19.** Plantilla individual genérica para las diferentes máquinas.

Estas plantillas individuales contienen el nombre de la máquina, menú de desplazamiento, logos, un espacio para el diagrama isométrico de cada máquina y un espacio gris más amplio en el que se dispusieron las variables eléctricas más detalladamente, por ejemplo, variables como potencias activas, reactivas y aparentes; promedios de tensión y corriente; desbalances de tensión; frecuencia; factor de potencia; y entre otras. A partir de esto, faltaba agregar los respectivos diagramas isométricos en los espacios designados y las variables eléctricas en tiempo real que llegaran desde los medidores en el software PME.

### 3.4. Caracterización y diseño de alarmas

Para la implementación de alarmas que permitieran alertar acerca de la eficiencia energética en las máquinas de producción, fue necesario comenzar con el diseño de estas, considerando que, el primer paso para esto era obtener los rangos de eficiencia que sirvieran de umbral para la activación de cada alarma.

La caracterización de rangos consistió en la organización de la información de producción y energía semana a semana de cada máquina durante algunos meses, de tal forma que, se pudieran calcular diversos valores estadísticos tales como la desviación estándar, el máximo, el mínimo y el CEE promedio y ponderado. La tabla 4 presenta la caracterización que se realizó específicamente para la máquina extrusora de empaques EX14 Varex II.

**Tabla 4.** Caracterización de rangos para la máquina EX14 Varex II.

Rangos Indicador CEE - EX 14 Varex II											
Año	Mes	Semana	Producción (kg)	Energía (kWh)	CEE (kWh/kg)	Desp	Desv. Estandar	Prom CEE	Max	Min	Ponderado
2023	sep	35	51097	31215	0.611	9444	0.067	0.519	0.586	0.453	0.507
2023	sep	36	50598	31271	0.618	10490					
2023	sep	37	64825	37673	0.581	11303					
2023	sep	38	83330	39327	0.472	5693					
2023	sep	39	86909	40985	0.472	6556					
2023	oct	40	59620	33706	0.565	9086					
2023	oct	41	40115	26976	0.672	5496					
2023	oct	42	67069	35209	0.525	931					
2023	oct	43	95265	44874	0.471	3331					
2023	nov	44	96795	45317	0.468	5750					
2023	nov	45	75761	40729	0.538	13557					
2023	nov	46	67259	36792	0.547	4622					
2023	nov	47	61312	36140	0.589	8239					
2023	nov	48	71357	34063	0.477	4649					
2023	dic	49	72118	39080	0.542	8357					
2023	dic	50	88530	39215	0.443	3714					
2023	dic	51	77332	41196	0.533	5849					
2024	ene	1	41124	24210	0.589	3022					
2024	ene	2	95544	42684	0.447	4414					
2024	ene	3	87703	40526	0.462	5709					
2024	ene	4	91372	40905	0.448	4785					
2024	ene	5	91571	40976	0.447	4573					
2024	feb	6	99334	44415	0.447	6544					
2024	feb	7	66159	37553	0.568	10190					
2024	feb	8	39059	17770	0.455	7962					

Al igual que para la tabla anterior, se realizó el mismo trabajo para el resto de las máquinas. En la tabla 5 se resumen los valores ponderados de CEE y los valores máximo y mínimo de CEE aceptables con los que se definieron los umbrales para cada una de las alarmas.

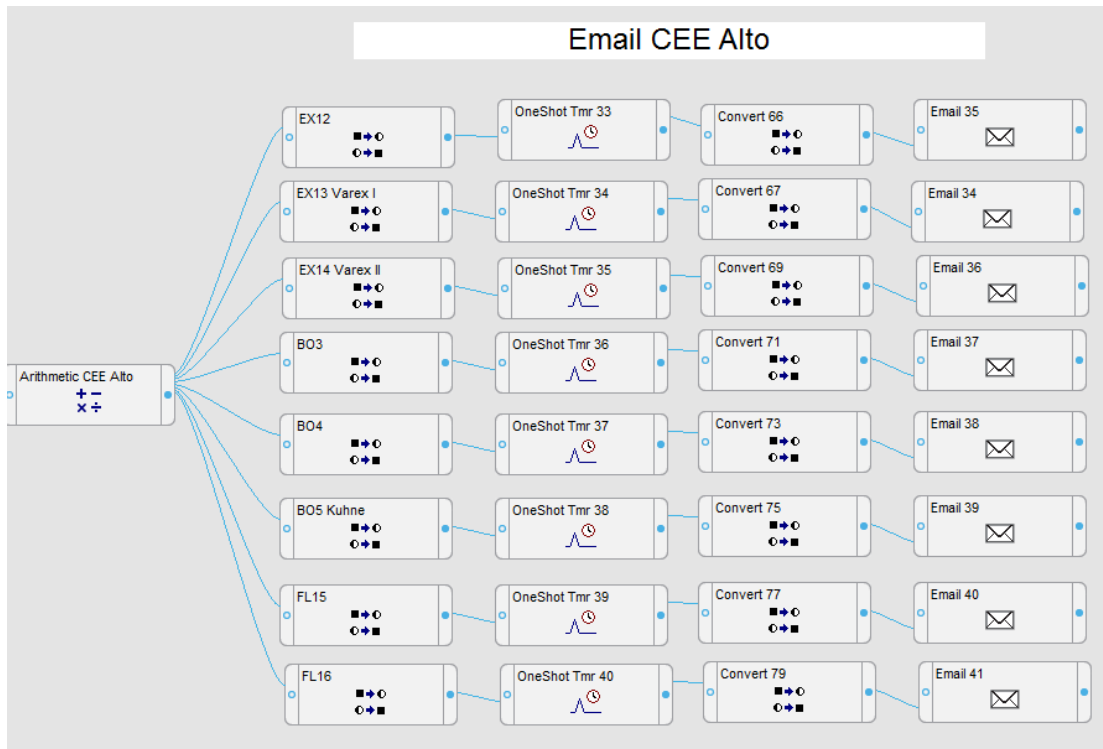
**Tabla 5.** Rangos de umbral para los indicadores de cada máquina.

<b>Rangos de Umbral para Indicadores</b>				
<b>Máquina</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor Máx</b>	<b>Valor Mín</b>	<b>Ponderado</b>
EX12	kWh/kg	0.921	0.690	0.790
EX13 (Varex I)	kWh/kg	0.722	0.535	0.610
EX14 (Varex II)	kWh/kg	0.586	0.453	0.507
BO3	kWh/100m	1.329	1.089	1.203
BO4	kWh/100m	2.207	1.301	1.621
BO5 (Kuhne)	kWh/100m	4.697	3.262	3.838
FL15	kWh/100m	1.421	0.855	0.726
FL16	kWh/100m	1.794	1.170	1.421
FL18	kWh/100m	1.317	0.925	1.085
FL21	kWh/100m	1.187	0.504	0.769
FL13 (Nikelman I)	kWh/100m	1.034	0.796	0.893
FL17 (Nikelman II)	kWh/100m	1.518	0.838	1.109
FL19 (Soma)	kWh/100m	1.507	0.697	0.996
Totani	kWh/1000unidad	1.247	0.969	1.102
SE247	kWh/1000unidad	0.807	0.411	0.543
Termoformado	kWh/kg	0.394	0.329	0.358

Adicionalmente, las alarmas no solo se crearon mediante el sistema dedicado que trae la herramienta WebApplications del PME, sino que además se decidió agregar alarmas de correos automáticos que fueron creados mediante un algoritmo en Designer.

#### **3.4.1. Algoritmo para la automatización de correos**

Conociendo los valores umbral presentados en la tabla 5, se implementa un sistema de automatizado de envío de correos para alertar sobre desviaciones en la eficiencia a las personas encargadas de mantenimiento en la empresa. Las conexiones y los bloques utilizados para este algoritmo se muestran en la figura 20.



**Figura 20.** Framework en Designer para el envío de correos automáticos de baja eficiencia.

En el bloque Arithmetic Module se especifican mediante condicionales los umbrales de CEE alto para cada una de las máquinas, de forma que, cuando se presenta un valor de CEE que cumple con la condición, se envía un valor booleano de uno (1). Al darse esta condición, se activa el bloque Email Module que realiza el envío del correo automático de baja eficiencia, además, en este bloque se realiza la respectiva configuración de credenciales de usuario, contraseña, asunto, mensaje y receptores del correo como se ve en la figura 21. Los bloques Convert Module y One-Shot Timer Module son necesarios para limitar el envío de mensajes durante un tiempo definido (3 horas en este caso) y así evitar spam innecesario.

ION Module Setup

Setup Registers:	Output Registers:
EML30 From	pgenergetica@alico-sa.com
EML30 To	pgenergetica@alico-sa.com
EML30 Cc	
EML30 Bcc	
EML30 SMTP Server Host	smtp.gmail.com
EML30 Credential User Name	oaenergetica@alico-sa.com
EML30 Credential Password	
EML30 Enable SSL	true
EML30 Subject	ADVERTENCIA - BAJA EFICIENCIA EN MÁQUINA F
EML30 Message	ADVERTENCIA ----- LA MÁQUINA FL21 TUVO UN
EML30 HTML Template File	

Modify String Register

String:

```
ADVERTENCIA
----- LA MÁQUINA FL21 TUVO UN CEE DE %V1 kWh/100m EL DÍA DE AYER -----
----- SUPERA EL UMBRAL DE BAJO NIVEL DE EFICIENCIA -----
ADVERTENCIA|
```

Figura 21. Configuración del Email Module de Designer.

### 3.4.2. Alarmas en WebApplications del PME

Para crear alarmas en el WebApplications del PME es necesario definir primero algunos parámetros, tales como el nombre de la alarma, el tipo de template, la medida, el source y el umbral de activación, ya que estos se deben especificar en el menú de configuración de alarmas como se ve en la figura 22.

Add Alarm Rule - Details

Alarm Name

Input Evaluation

Realtime Interval: 60 seconds

Active Condition

Active Condition Label: On

When Value is: Over 0

Pickup Delay [s]: 60

Inactive Condition

Inactive Condition Label: Off

When Value is: Under 0

Dropout Delay [s]: 60

Advanced

Alarm Priority [0-255]: 100 Low

Log Extreme Value

Cancel Previous Next

Figura 22. Menú de configuración de alarmas en WebApplications del PME.

La definición de la condición de activación se basa nuevamente en la tabla 5, ya que esta define los umbrales de baja eficiencia. El nombre de la alarma se define genéricamente como “Desviación Eficiencia CEE -Máquina-“, y, además, la prioridad de las alarmas de desviación se selecciona de prioridad media con color amarillo.

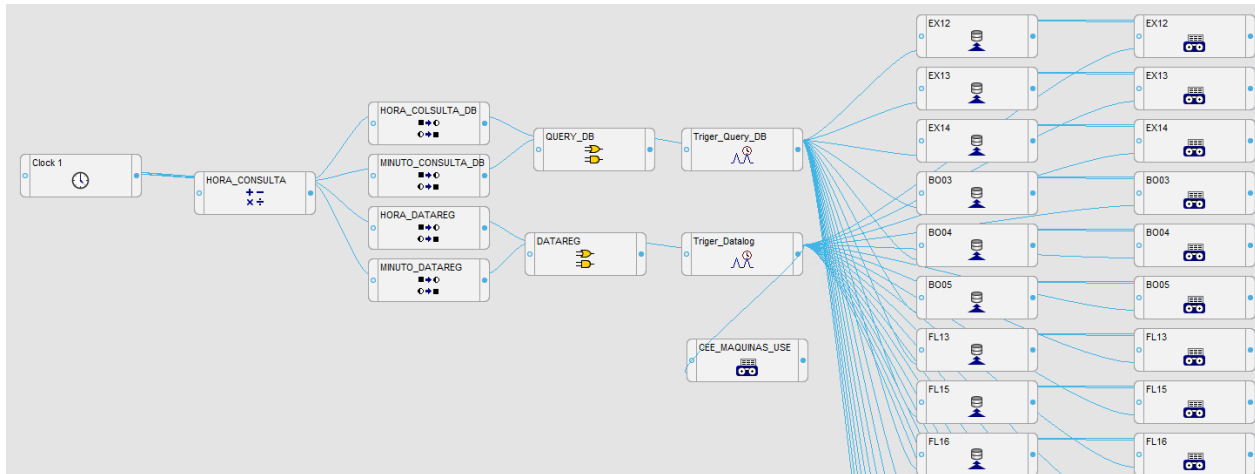
## **4. Resultados y análisis**

### **4.1. API intermediaria e integración de datos de producción en el PME**

Una vez se verifican los requisitos y el funcionamiento de la API, se crea el nuevo script para leer esta información en el servidor del PME desde la herramienta Microsoft SQL Server Management, desde allí mismo, se realizan pruebas para observar si la petición se hace correctamente y si retorna la información. Cuando esto es comprobado, se procede a realizar la petición en la herramienta Designer del PME para ver si es posible leer correctamente la información de la producción de cada máquina y realizar operaciones y cálculos con estos valores.

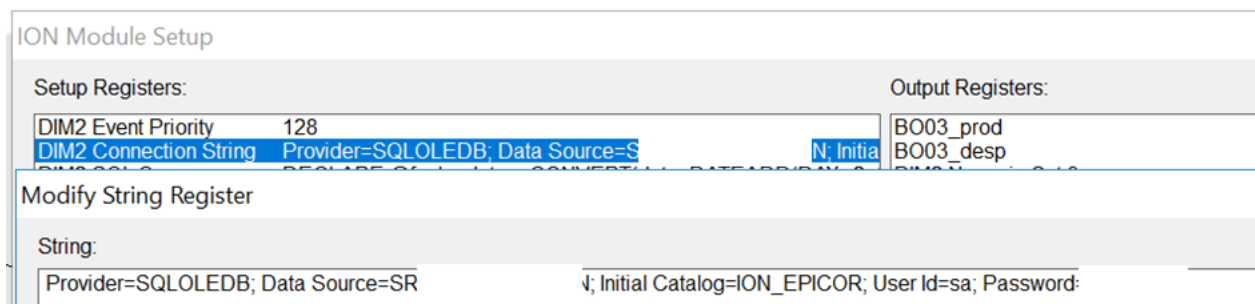
Para esto, se utiliza la configuración de bloques o framework de la figura 23, la cual provee del mecanismo de extracción de datos desde la base de datos del PME. Allí, se configura la hora a la que se realiza la lectura de la información, y, en ese momento, se da la activación del trigger para la petición a la base de datos (desde un bloque Database Import Module) y un minuto después se da la activación del trigger para guardar los datos en los bloques Data Recorder.





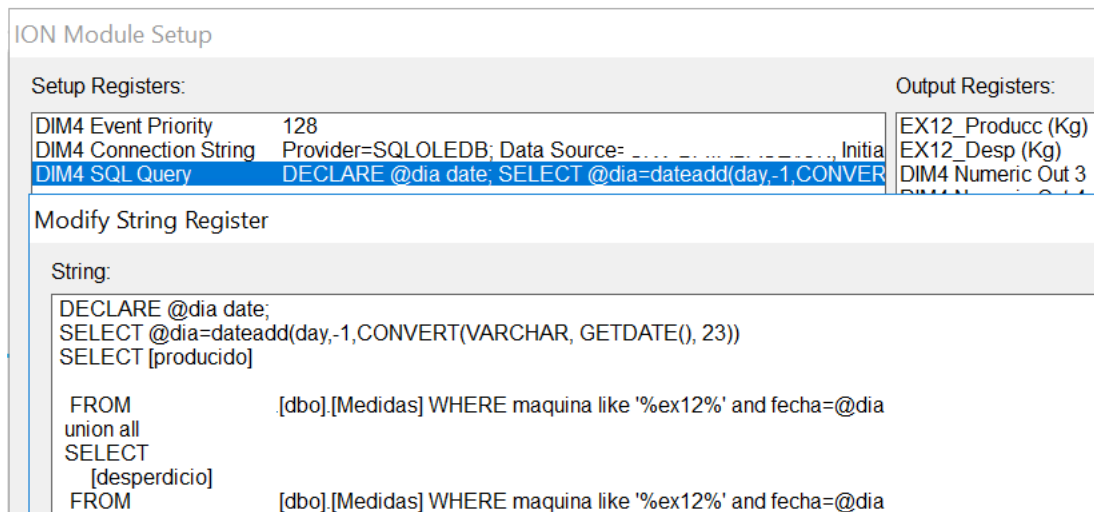
**Figura 23.** Framework para realizar la extracción de datos.

En la figura 24 se observa la configuración que contiene el bloque Database Import Module para acceder al servidor, en este caso, a la API de Epicor, allí se especifica el proveedor de la información, la fuente de datos, el catálogo inicial, el usuario y la contraseña del servidor.



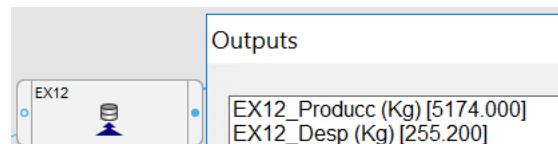
**Figura 24.** Configuración de la conexión con el servidor en el módulo de base de datos.

Después, en la figura 25, se especifica la configuración para la petición SQL, allí se declara primero la fecha de lectura para guardarla en una variable, luego, mediante la declaración SELECT se selecciona el dato de 'producido', con FROM se especifica desde dónde se lee el dato, y, mediante la declaración WHERE se filtra la máquina 'ex12' para luego especificar la respectiva fecha de consulta. De la misma forma, se realiza la petición para el valor del desperdicio registrado en Epicor para la máquina.



**Figura 25.** Configuración de la petición SQL en el módulo de base de datos.

Es mediante esta petición realizada en el Database Import Module que se obtiene el respectivo dato de producción y desperdicio con el que se trabaja para realizar los cálculos de la eficiencia energética en cada máquina, en este caso, de la extrusora EX12 como se muestra en la figura 26.



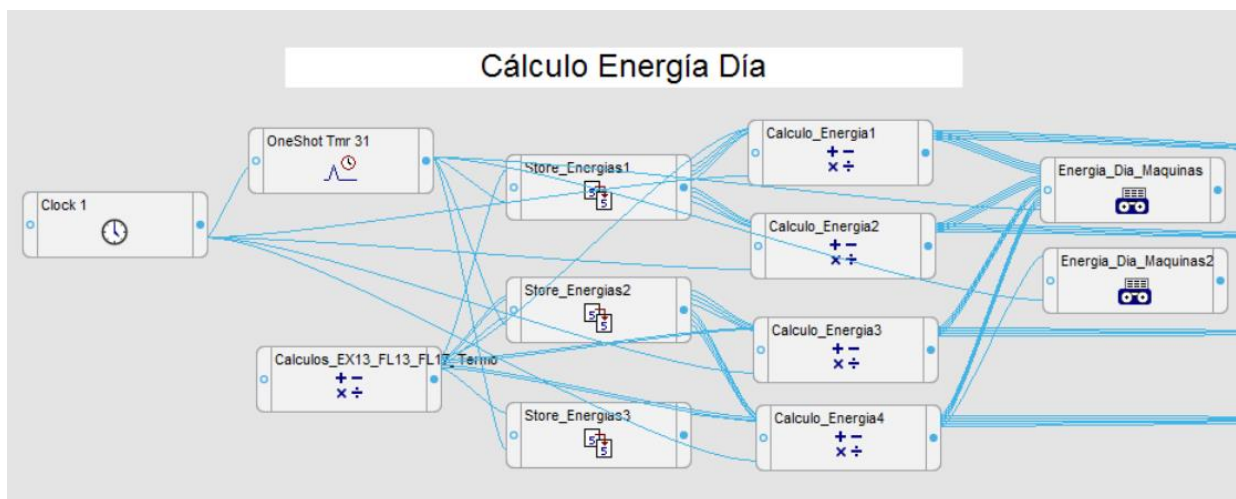
**Figura 26.** Lectura de la producción y desperdicio de Epicor en el PME.

## 4.2. Algoritmo para el cálculo de indicadores de eficiencia energética

Para implementar el cálculo automatizado del indicador de eficiencia energética CEE, se realiza el respectivo algoritmo en la herramienta Designer del software PME mediante el uso de algunos de los módulos que ofrece.

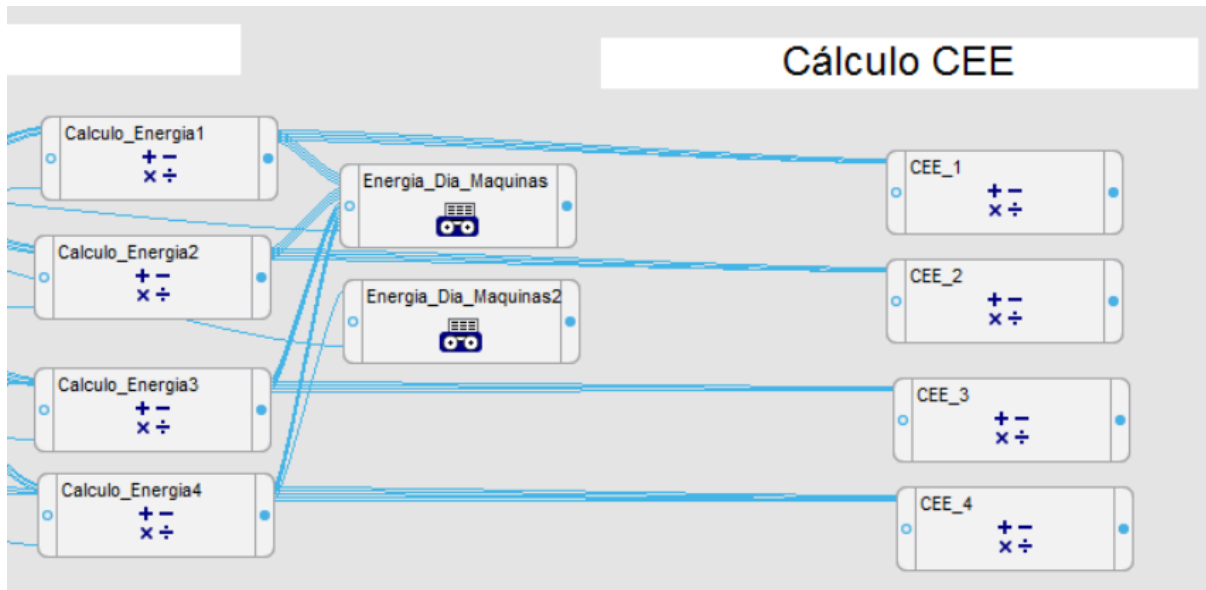
En un principio, dado que el cálculo del indicador de CEE implica la relación entre la energía y la producción, es necesario calcular la energía consumida cada día por cada máquina. En la figura 27 se muestra el conjunto de conexiones entre bloques utilizados para obtener esta energía, en donde el bloque Clock Module obtiene la hora del sistema y activa el cálculo a las 00:00 a.m.

de cada día (medianoche), los bloques Store Module almacenan el dato de la energía total hasta el día anterior, los bloques Arithmetic Module realizan la operación de sustracción entre la energía total hasta el día actual con la de los bloques Store, obteniendo en sus salidas el resultado de esta operación, es decir, la energía consumida en el día anterior para cada máquina. Los bloques Data Recorder Module permiten almacenar estos datos en una tabla en la base de datos para su posterior uso. Se debe tener en cuenta que, para este cálculo, a pesar de que son muchas máquinas, solo fueron necesarios 4 bloques Arithmetic Module ya que estos cuentan con hasta 8 entradas cada uno.



**Figura 27.** Cálculo de la energía consumida cada día por máquina.

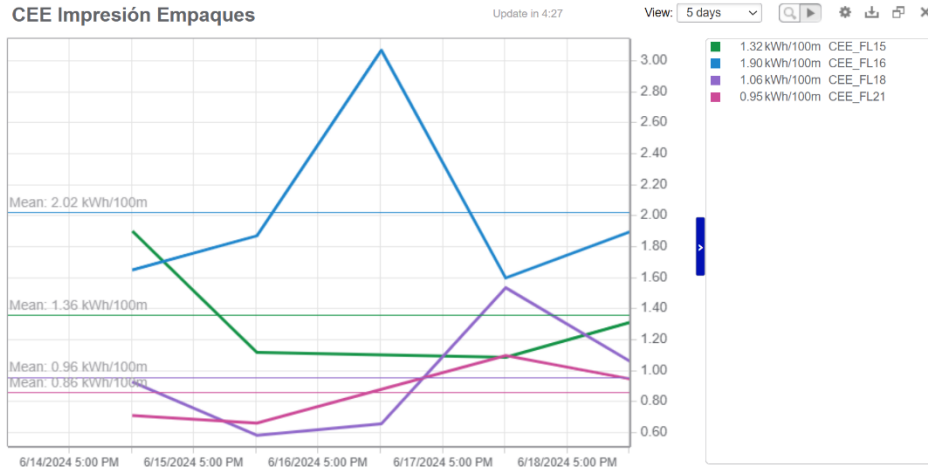
Para el cálculo del indicador de CEE, como se ve en la figura 28, solo basta con agregar nuevos bloques del tipo Arithmetic Module y realizar la división entre los cálculos de energía anteriormente obtenidos y los datos de producción de cada máquina. En la figura no se pueden notar las líneas de conexión de los datos de producción como sí se nota con la energía, pero es debido a que esta información viene directamente desde la base de datos y esta se agrega internamente en el bloque y no por medio de conexión directa.



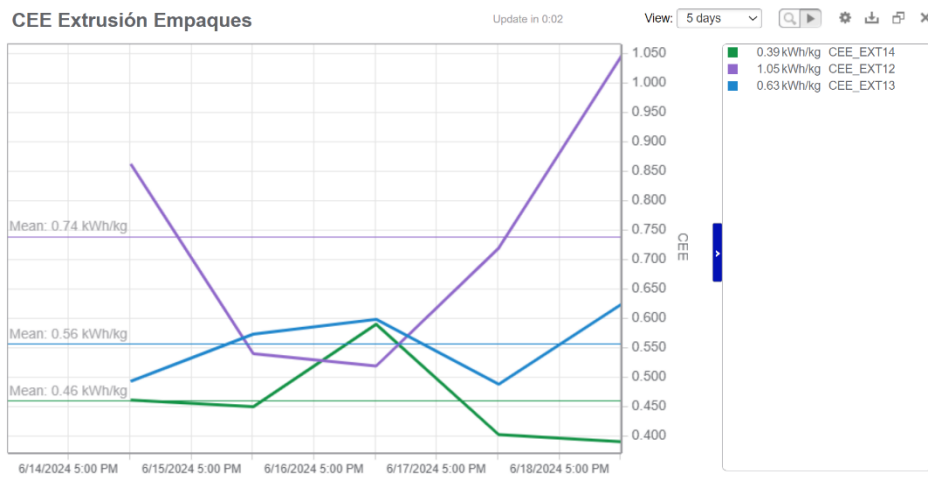
**Figura 28.** Cálculo del indicador de Consumo Específico de Energía.

Este cálculo del CEE, al salir directamente desde un bloque creado en Designer, puede ser llamado en otras herramientas del software PME, tal como lo es Vista, en donde se agrega este dato junto a las variables eléctricas para visualizarlo en tiempo real en los diagramas y plantillas. Igualmente, al quedar almacenado con el bloque Data Recorder Module, estos datos diarios de CEE se van acumulando en una tabla de la base de datos, lo que permite mantener un registro de los valores de eficiencia en la empresa durante el tiempo. Estos valores de eficiencia pueden utilizarse en reportes generados por el software PME, en el que se muestran estos datos para cada una de las fechas.

También, mediante la herramienta de Trends del WebApplications se pueden obtener gráficas de tendencia que permiten realizar análisis del comportamiento de la eficiencia para cada una de las máquinas, dando la posibilidad de identificar patrones u oportunidades de mejora. En las figuras 29 y 30 se muestra la lectura del CEE y su gráfica para algunas máquinas de la unidad de negocio de empaques durante algunos pocos días de almacenamiento de los datos.



**Figura 29.** CEE para las impresoras de la unidad de negocio Empaques.



**Figura 30.** CEE para las extrusoras de la unidad de negocio Empaques.

### 4.3. Interfaz de usuario en el PME

Una vez se tiene toda la información sobre las variables eléctricas y los indicadores de eficiencia energética, es posible integrarla junto a las plantillas y diagramas de cada proceso y máquina. Para esto, cada diagrama isométrico se agrega a sus respectivas plantillas y se guarda todo en un solo archivo de imagen (png). Este archivo puede ser cargado desde la herramienta Vista del software PME, de forma tal que sobre esta imagen se dispongan bloques en los que es posible llamar la información almacenada en la base de datos. En las figuras 31, 32 y 33 se observa cómo queda la interfaz de usuario para cada uno de los procesos luego de realizar el procedimiento anterior.



- HOME
- CHILLERS
- COMPRESORES
- SUBESTACIONES
- MÁQUINAS
- EXTRUSIÓN
- IMPRESIÓN
- SELLADO - TERMO

## Proceso de Extrusión

**CEE**  
0.58 kWh/kg

**EXT 12 - Empaques**

<b>P:</b> 100.3 kW	<b>E:</b> 2.385 kWh	<b>Prod:</b> 4264 kg
<b>Vab:</b> 397.9 V	<b>Vbc:</b> 395.5 V	<b>Vca:</b> 410.9 V
<b>Ia:</b> 123.8 A	<b>Ib:</b> 155.1 A	<b>Ic:</b> 163.2 A

**CEE**  
0.50 kWh/kg

**EXT 13 Vorex I - Empaques**

<b>P:</b> 195.7 kW	<b>E:</b> 4.294 kWh	<b>Prod:</b> 8940 kg
<b>Vab:</b> 398.5 V	<b>Vbc:</b> 400.3 V	<b>Vca:</b> 397.8 V
<b>Ia:</b> 278.1 A	<b>Ib:</b> 309.9 A	<b>Ic:</b> 296.7 A

**CEE**  
0.55 kWh/kg

**EXT 14 Vorex II - Empaques**

<b>P:</b> 236.8 kW	<b>E:</b> 5.378 kWh	<b>Prod:</b> 9547 kg
<b>Vab:</b> 400.7 V	<b>Vbc:</b> 399.4 V	<b>Vca:</b> 398.3 V
<b>Ia:</b> 341.0 A	<b>Ib:</b> 348.9 A	<b>Ic:</b> 340.1 A

**CEE**  
0.95 kWh/100m

**BO 03 - Fundas**

<b>P:</b> 28.6 kW	<b>E:</b> 887 kWh	<b>Prod:</b> 99029 m
<b>Vab:</b> 221.2 V	<b>Vbc:</b> 223.5 V	<b>Vca:</b> 222.2 V
<b>Ia:</b> 99.5 A	<b>Ib:</b> 83.9 A	<b>Ic:</b> 81.3 A

**CEE**  
1.07 kWh/100m

**BO 04 - Fundas**

<b>P:</b> 3.4 kW	<b>E:</b> 738 kWh	<b>Prod:</b> 71540 m
<b>Vab:</b> 237.4 V	<b>Vbc:</b> 225.3 V	<b>Vca:</b> 223.8 V
<b>Ia:</b> 153.0 A	<b>Ib:</b> 183.0 A	<b>Ic:</b> 174.2 A

**CEE**  
3.61 kWh/100m

**BO 05 Kuhne - Fundas**

<b>P:</b> 146.2 kW	<b>E:</b> 2.962 kWh	<b>Prod:</b> 101750 m
<b>Vab:</b> 401.5 V	<b>Vbc:</b> 402.9 V	<b>Vca:</b> 399.4 V
<b>Ia:</b> 248.2 A	<b>Ib:</b> 231.0 A	<b>Ic:</b> 226.7 A



Figura 31. Plantilla para el proceso de extrusión con cálculos y variables eléctricas.



- HOME
- CHILLERS
- COMPRESORES
- SUBESTACIONES
- MÁQUINAS
- EXTRUSIÓN
- IMPRESIÓN
- SELLADO - TERMO

## Proceso de Impresión

**CEE**  
0.74 kWh/100m

**FL 15 - Empaques**

<b>P:</b> 10.8 kW	<b>E:</b> 833 kWh	<b>Prod:</b> 118900 m
<b>Vab:</b> 409.3 V	<b>Vbc:</b> 409.6 V	<b>Vca:</b> 411.3 V
<b>Ia:</b> 13.5 A	<b>Ib:</b> 12.5 A	<b>Ic:</b> 13.9 A

**CEE**  
1.62 kWh/100m

**FL 16 - Empaques**

<b>P:</b> 14.7 kW	<b>E:</b> 998 kWh	<b>Prod:</b> 63510 m
<b>Vab:</b> 412.0 V	<b>Vbc:</b> 410.2 V	<b>Vca:</b> 410.7 V
<b>Ia:</b> 22.5 A	<b>Ib:</b> 20.2 A	<b>Ic:</b> 20.6 A

**CEE**  
0.75 kWh/100m

**FL 13 - FL 17 (Nikelman I y II) - Fundas**

<b>P:</b> 77.8 kW	<b>E:</b> 1.314 kWh	<b>Prod:</b> 163000 m
<b>Vab:</b> 411.0 V	<b>Vbc:</b> 411.6 V	<b>Vca:</b> 412.6 V
<b>Ia:</b> 102.8 A	<b>Ib:</b> 125.0 A	<b>Ic:</b> 126.9 A

**CEE**  
1.13 kWh/100m

**FL 18 - Empaques**

<b>P:</b> 15.1 kW	<b>E:</b> 831 kWh	<b>Prod:</b> 80000 m
<b>Vab:</b> 411.2 V	<b>Vbc:</b> 411.0 V	<b>Vca:</b> 412.3 V
<b>Ia:</b> 15.6 A	<b>Ib:</b> 14.1 A	<b>Ic:</b> 16.5 A

**CEE**  
0.72 kWh/100m

**FL 21 - Empaques**

<b>P:</b> 8.1 kW	<b>E:</b> 784 kWh	<b>Prod:</b> 118400 m
<b>Vab:</b> 398.2 V	<b>Vbc:</b> 399.7 V	<b>Vca:</b> 397.1 V
<b>Ia:</b> 20.2 A	<b>Ib:</b> 21.3 A	<b>Ic:</b> 21.0 A

**CEE**  
1.39 kWh/100m

**FL 19 Soma - Fundas**

<b>P:</b> 8.2 kW	<b>E:</b> 545 kWh	<b>Prod:</b> 41236 m
<b>Vab:</b> 410.1 V	<b>Vbc:</b> 409.7 V	<b>Vca:</b> 410.8 V
<b>Ia:</b> 15.6 A	<b>Ib:</b> 14.9 A	<b>Ic:</b> 14.2 A



Figura 32. Plantilla para el proceso de impresión con cálculos y variables eléctricas.

## Procesos de Sellado - Termoformado



**Figura 33.** Plantilla para los procesos de sellado y termoformado con cálculos y variables eléctricas.

Se observa como en las plantillas cambia el color de los pilotos a un tono verde, indicando que existe una correcta comunicación con los medidores, también aparecen las variables de potencia, tensiones de línea y corrientes para cada fase, además, el valor de producción diario, el resultado del cálculo realizado para obtener la energía del día anterior y el cálculo del indicador de CEE para cada máquina, permitiendo así realizar un monitoreo constante y rápido de la eficiencia de las máquinas USE en la empresa. Estos valores, al ser obtenidos y enlazados directamente con los medidores, van actualizando sus datos en tiempo real.

Por otro lado, las diferentes opciones del menú quedan habilitadas, de tal forma que, al hacer clic en cada una de estas, la página carga la respectiva sección, permitiendo así que el desarrollo para máquinas de producción quede conectado con el anterior desarrollo para servicios auxiliares que ya existía previamente en el CME.

De igual manera, para las plantillas individuales se utiliza la plantilla genérica y se le agregan los diagramas isométricos y la información de variables eléctricas y de producción, además, en estas plantillas se profundiza un poco más y se añaden las potencias activas, reactivas y aparentes, los diferentes promedios de tensión, corriente y potencias, así como desbalances,

frecuencias y factores de potencia. En las figuras 34, 35 y 36 se presenta la interfaz de usuario para las plantillas individuales en la flexográfica de empaques FL16 y en la extrusora de empaques EX12. El resto de las máquinas presenta una estructura idéntica, por lo que por practicidad no se agregan sus imágenes.



- HOME
- CHILLERS
- COMPRESORES
- SUBESTACIONES
- MÁQUINAS
- EXTRUSIÓN
- IMPRESIÓN
- SELLADO - TERMO

## Flexográfica 16 - Empaques

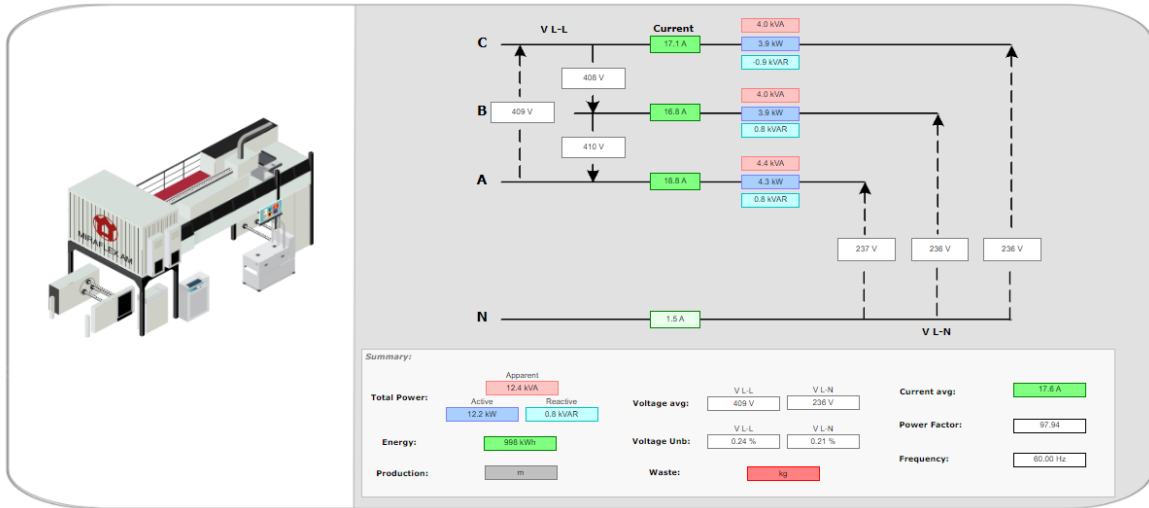


Figura 34. Plantilla individual con variables eléctricas para la máquina FL16.



- HOME
- CHILLERS
- COMPRESORES
- SUBESTACIONES
- MÁQUINAS
- EXTRUSIÓN
- IMPRESIÓN
- SELLADO - TERMO

## Extrusora 12 - Empaques

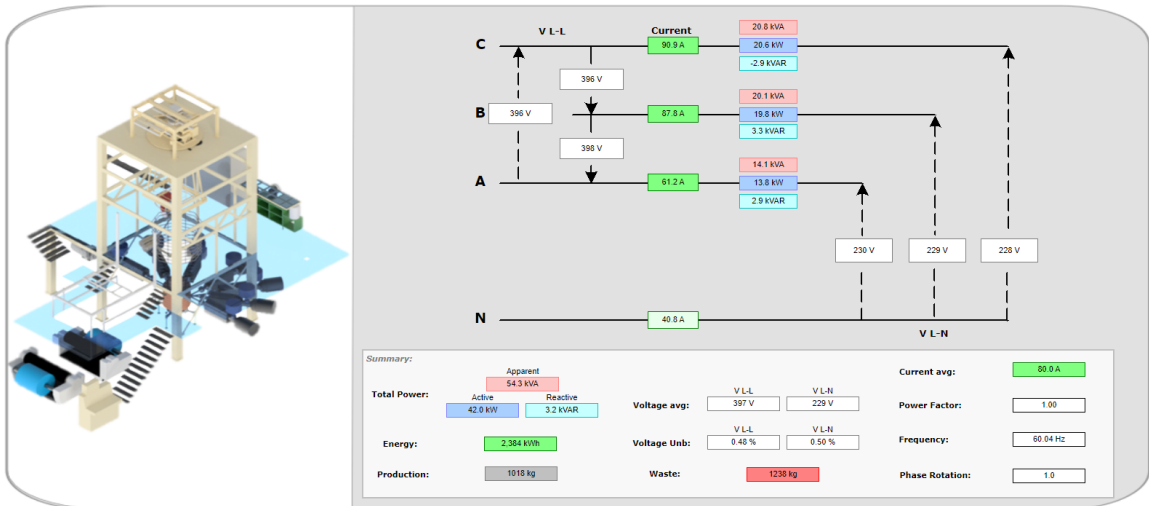


Figura 35. Plantilla individual con variables eléctricas para la máquina EX12.



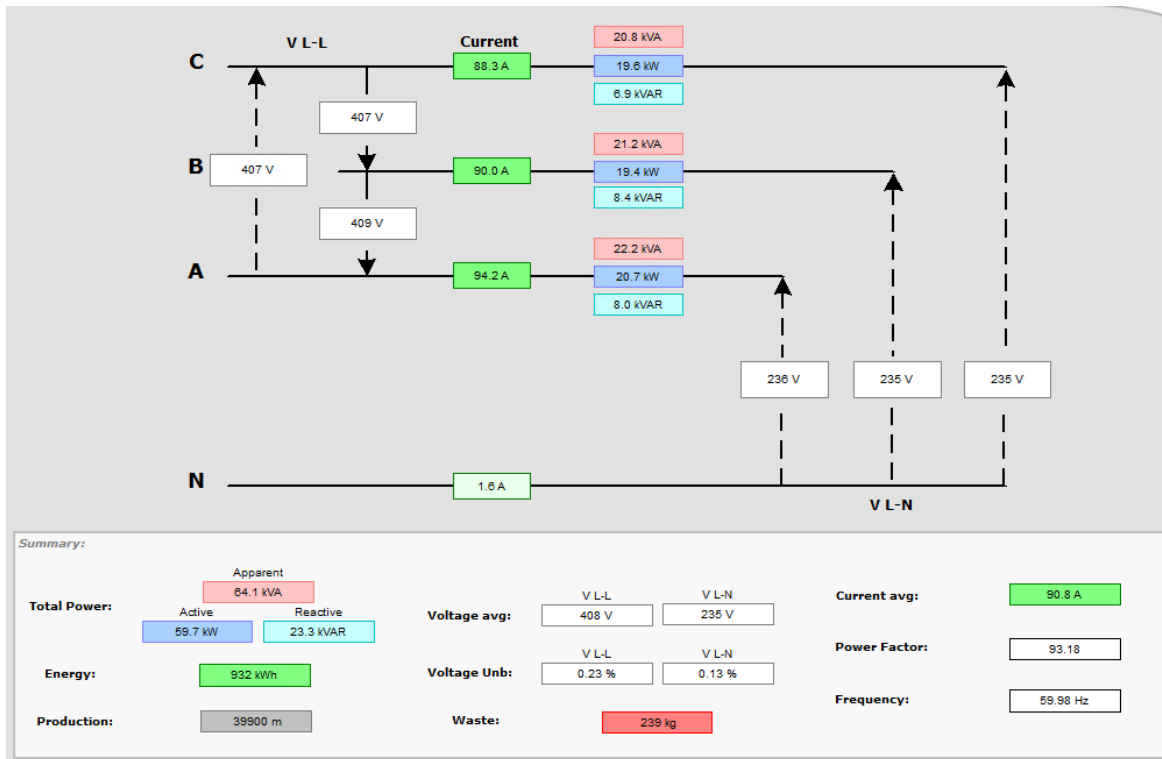


Figura 36. Zoom a la información detallada de la máquina.

#### 4.4. Sistema de alarmas en el PME

Se crearon dos métodos para el sistema de alarmas, uno en forma de correo electrónico automático y otro mediante la herramienta ya integrada en el WebApplications del PME. En la figura 37 se muestra el correo programado cuando ocurre una desviación en la eficiencia energética CEE de una máquina, en este caso, cuando la flexográfica de empaques FL21 superó el umbral de baja eficiencia definido en 1.187 kWh/100m con un valor de 1.23 kWh/100m.

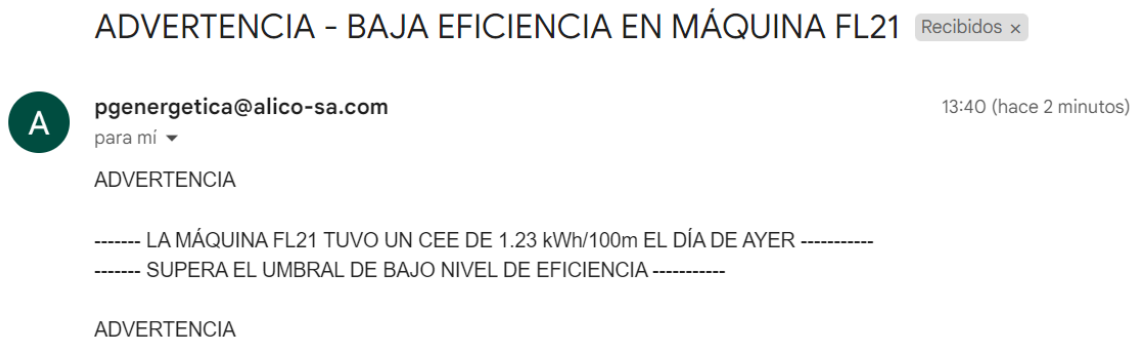
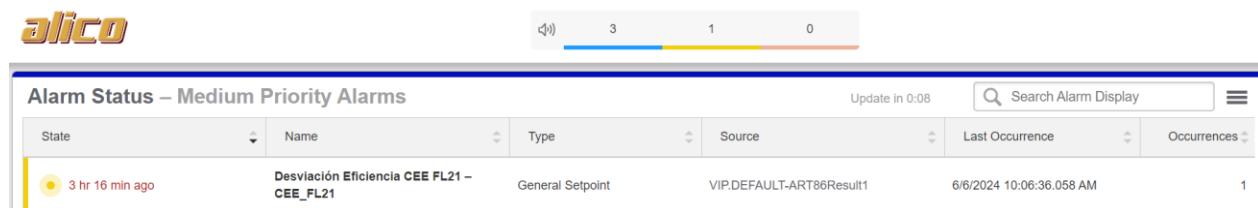


Figura 37. Correo automático de desviación de eficiencia energética.

De igual manera, el envío de un correo electrónico ocurre con el resto de las máquinas, cada una con su propio umbral definido de activación.

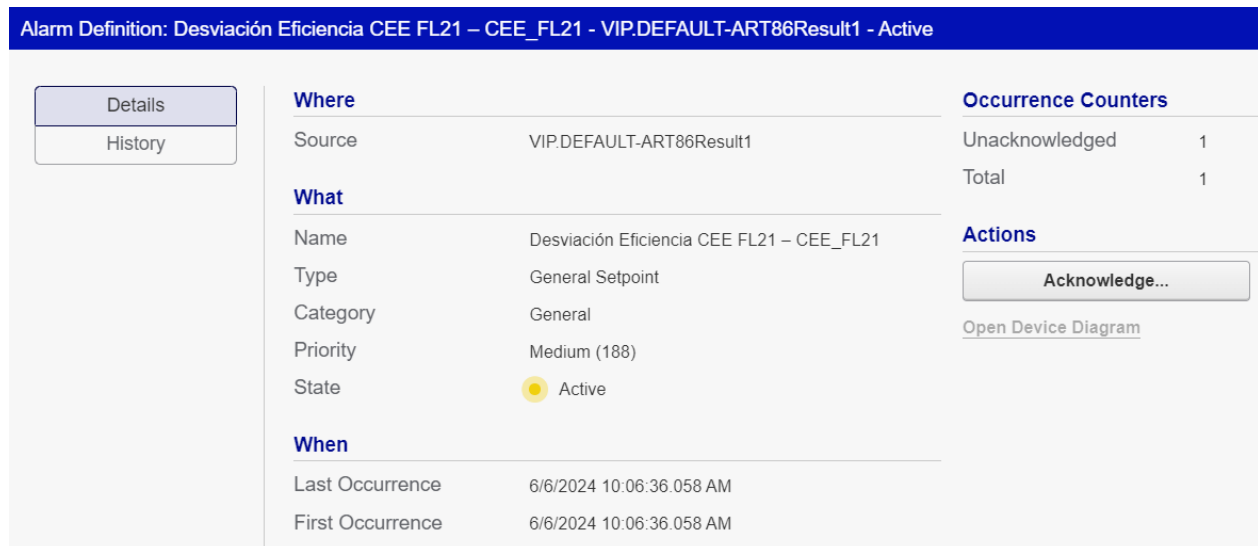
Las alarmas programadas en el WebApplications, al activarse permiten conocer el tiempo de activación o estado, el nombre de la alarma, el tipo de alarma, la fuente, la última ocurrencia y el número total de ocurrencias. En la figura 38 se observa una alarma de desviación de eficiencia para la flexográfica FL21 en esta interfaz del PME.



State	Name	Type	Source	Last Occurrence	Occurrences
3 hr 16 min ago	Desviación Eficiencia CEE FL21 - CEE_FL21	General Setpoint	VIP.DEFAULT-ART86Result1	6/6/2024 10:06:36.058 AM	1

**Figura 38.** Alarma de desviación de eficiencia en WebApplications.

Al presionar doble clic sobre la alarma, como se ve en la figura 39, se abre una nueva interfaz que profundiza en más detalles, mostrando información nueva como la prioridad de la alarma, fecha de la primera ocurrencia y la posibilidad de observar un histórico de activaciones específico para la alarma.



Alarm Definition: Desviación Eficiencia CEE FL21 - CEE_FL21 - VIP.DEFAULT-ART86Result1 - Active	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p>Details</p> <p>History</p> </div> <div style="width: 60%;"> <p><b>Where</b></p> <p>Source: VIP.DEFAULT-ART86Result1</p> <p><b>What</b></p> <p>Name: Desviación Eficiencia CEE FL21 - CEE_FL21</p> <p>Type: General Setpoint</p> <p>Category: General</p> <p>Priority: Medium (188)</p> <p>State: <span style="color: yellow;">●</span> Active</p> <p><b>When</b></p> <p>Last Occurrence: 6/6/2024 10:06:36.058 AM</p> <p>First Occurrence: 6/6/2024 10:06:36.058 AM</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p><b>Occurrence Counters</b></p> <p>Unacknowledged: 1</p> <p>Total: 1</p> <p><b>Actions</b></p> <p><a href="#">Acknowledge...</a></p> <p><a href="#">Open Device Diagram</a></p> </div> </div>	

**Figura 39.** Interfaz detallada para las alarmas.

---

Por último, a partir de la integración de bases de datos y el método de análisis para determinar las máquinas USE de la empresa, fue posible cumplir con los objetivos propuestos para el desarrollo de esta herramienta de monitoreo de eficiencia energética, pasando por la automatización mediante el algoritmo de cálculo para el indicador de eficiencia energética, creado a partir de módulos basados en la arquitectura ION de Schneider Electric en la herramienta Designer del software PME, la creación de diagramas y plantillas diseñadas en el software Inkscape para la visualización de la información, la unión de cálculos, datos de medidores y diagramas en la herramienta Vista del PME y la implementación de alarmas en el WebApplications del PME y correos automáticos programados.

Se constituye así, con este desarrollo, una herramienta de gran valor de cara al futuro y una ayuda para la empresa Alico S.A.S BIC, la cual, mediante su equipo de gestión energética y la implementación de proyectos de eficiencia, apoyados en esta herramienta de monitoreo, podrá hacer un mejor uso de los recursos energéticos con el fin de mitigar el impacto de las problemáticas climáticas y las crisis energéticas previstas para los años venideros, no solo en Colombia, si no a nivel mundial.

## 5. Conclusiones

- La integración entre la base de datos de la producción en el ERP Epicor y de la energía en el PME, contribuye a la obtención de indicadores de eficiencia energética que sirven para valorar el desempeño, beneficiando así a los procesos operativos que necesiten conocer su evolución en el tiempo.
- El método analítico diseñado para el análisis del consumo energético, a partir de la información obtenida para el censo de carga, permite una identificación precisa de las máquinas de producción USE en la empresa, facilitando así la priorización y otras intervenciones futuras enfocadas en la eficiencia energética.
- De la identificación de máquinas de producción USE se obtiene que las máquinas más consumidoras de energía en la empresa son, sin tener en cuenta servicios auxiliares, las extrusoras, las selladoras y las flexográficas.

- 
- El algoritmo para el cálculo automático de eficiencia energética implementado en el software PME, brinda de una ayuda fundamental para la gestión energética en la empresa, ya que, a partir del almacenamiento de estos valores, es posible realizar el análisis del comportamiento de la eficiencia diaria, semanal, mensual o hasta anual de cada una de las máquinas de producción USE.
  - La nueva interfaz de usuario ofrece una visualización más clara de los datos energéticos en las máquinas, facilitando así la identificación de patrones en el consumo y en la eficiencia energética mediante gráficas y datos variables en tiempo real, lo cual mejora la efectividad en el monitoreo y la supervisión de los activos principales de la empresa.
  - El sistema de alarmas permite alertar sobre las desviaciones de eficiencia energética, lo cual brinda de una detección temprana de problemas asociados a fallas mecánicas, eléctricas o de procedimiento, dando así la posibilidad de implementar acciones preventivas o correctivas que permitan minimizar los riesgos.
  - Esta herramienta de monitoreo de la eficiencia energética, en general, permite a Alico, mediante un monitoreo continuo y remoto de sus máquinas de producción, realizar análisis para evaluar el desempeño energético que identifiquen ineficiencias en los procesos, y, posteriormente, proponer planes de acción que mejoren la confiabilidad y reduzcan costos operativos a través del uso eficiente de la energía.
  - A raíz de este trabajo, se puede comenzar a adquirir un mayor número de analizadores de redes para nuevos equipos de la planta, y, posteriormente, integrarlos en un nuevo espacio de la herramienta de monitoreo.
  - A partir del desarrollo implementado se derivan varios trabajos futuros, por ejemplo, se abren las puertas a desarrollos de integración entre diferentes plataformas y sistemas eléctricos de la empresa, proyectos de análisis de datos con la información de producción, energía y eficiencia energética, nuevas mejoras para la herramienta de monitoreo y trabajos de gestión y mantenimiento predictivos en máquinas.

## 6. Poster

Departamento de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones

# Desarrollo de una herramienta de monitoreo de la eficiencia energética para las principales máquinas de producción de la empresa Alico S.A.S BIC



# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

**PRACTICANTE:** Antonio José Aristizábal García

**PROGRAMA:** Ingeniería Electrónica

**ASESORES:** Hernán Felipe García Arias – David Pineda Velásquez

Semestre de la práctica: 2024-1



### Introducción

#### Contexto

Actualmente, la empresa Alico S.A.S BIC cuenta con un Centro de Monitoreo de Energía (CME), el cual dispone del software especializado en materia de medición de energía, Power Monitoring Expert (PME), en el cual se visualiza, analiza y gestiona el comportamiento del consumo energético en la compañía. Sin embargo, este no cuenta con una medida que permita conocer la eficiencia energética de sus principales equipos, surgiendo así la necesidad de identificar esta eficiencia para determinar oportunidades de optimización y reducción de costos operativos.

#### Desarrollo / Solución

Se lleva a cabo el desarrollo e implementación de una herramienta que permita calcular y monitorear fácilmente la eficiencia energética de las principales máquinas de producción de Alico S.A.S BIC (extrusoras, flexográficas y selladoras).



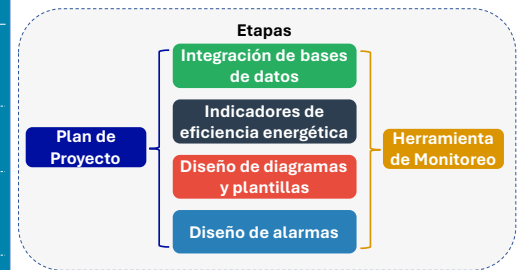
### Objetivos

- ✓ Desarrollar una herramienta de monitoreo en el software Power Monitoring Expert (PME) para evaluar la eficiencia energética de las máquinas de producción con mayor consumo eléctrico en Alico. Esta herramienta utilizará el indicador de Consumo Específico de Energía (CEE) para generar alertas mediante diagramas y sistemas de alarma sobre la eficiencia operativa.
- ✓ Diseñar un método analítico para procesar datos energéticos registrados, con el propósito de identificar las máquinas de producción que presentan los mayores niveles de consumo energético en Alico.
- ✓ Implementar un algoritmo específico dentro del software PME que permita el cálculo automatizado del CEE para cada una de las máquinas previamente identificadas.
- ✓ Construir una interfaz de usuario en el PME que mejore la accesibilidad de la información relacionada con la eficiencia energética a través de indicadores visuales, como diagramas y gráficos.
- ✓ Integrar un sistema de alarmas en el PME que notifique a los usuarios sobre desviaciones significativas en la eficiencia energética de las máquinas, basándose en umbrales predefinidos de rendimiento del CEE.



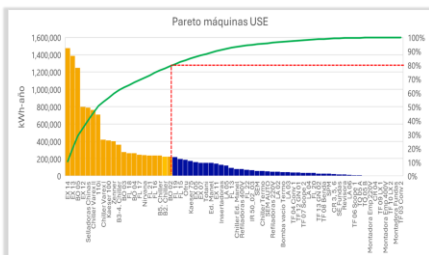
### Metodología

La metodología utilizada en este proyecto consistió en 4 etapas: la integración de bases de datos, el diseño y cálculo de indicadores de eficiencia energética, el diseño de diagramas y plantillas y la caracterización y diseño de alarmas.

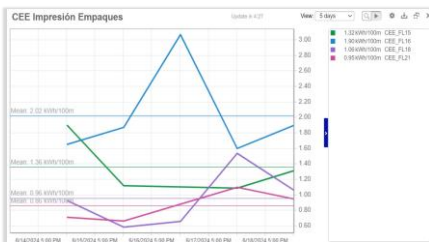


### Resultados

#### Identificación de Máquinas USE



#### Consumo Específico de Energía (CEE)



#### Monitoreo Energético



#### Alarmas de desviación de eficiencia



### Conclusiones

- ✓ El método analítico para el análisis del consumo energético permite identificar con precisión las máquinas de producción USE, facilitando la priorización y futuras intervenciones enfocadas en la eficiencia energética.
- ✓ El algoritmo de cálculo de eficiencia energética en el software PME brinda una ayuda fundamental a la gestión energética, permitiendo analizar la eficiencia diaria, semanal, mensual o anual de cada máquina de producción USE.
- ✓ La nueva interfaz de usuario ofrece una visualización clara y en tiempo real de los datos energéticos, facilitando la identificación de patrones de consumo y eficiencia, mientras que el sistema de alarmas alerta sobre desviaciones de eficiencia, permitiendo la detección temprana de problemas y la implementación de acciones preventivas o correctivas para minimizar riesgos.
- ✓ Esta herramienta permite a Alico monitorear y analizar el desempeño energético de sus máquinas de producción, identificar ineficiencias y proponer planes de acción para mejorar la confiabilidad y reducir costos operativos mediante el uso eficiente de la energía.

---

## 7. Referencias Bibliográficas

ALICO S.A.S BIC. (2022). *Auditoría Energética 2021*.

ALICO S.A.S BIC. (2024). *Auditoría Energética 2023*.

Anthony, L. F. O. (2024). The Role of Software in Maximizing Energy Efficiency. *ResearchGate*.

[https://www.researchgate.net/publication/377873351\\_The\\_Role\\_of\\_Software\\_in\\_Maximizing\\_Energy\\_Efficiency](https://www.researchgate.net/publication/377873351_The_Role_of_Software_in_Maximizing_Energy_Efficiency)

Esagraf. (s/f). *Impresión flexográfica: características y ventajas*. Esagraf. Recuperado el 5 de junio de 2024, de <https://www.esagraf.com/caracteristicas-impresion-flexografica/>

Fatima, N. (2019, junio 27). ¿Qué significa API y por qué la usamos? *Astera*.

<https://www.astera.com/es/knowledge-center/what-does-api-stand-for/>

Formlabs. (s/f). *Guide to Thermoforming*. Formlabs. Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://formlabs.com/blog/thermoforming/>

Gajdzik, B., Wolniak, R., Nagaj, R., Žuromskaitė-Nagaj, B., & Grebski, W. W. (2024). The Influence of the Global Energy Crisis on Energy Efficiency: A Comprehensive Analysis. *Energies*, 17(4), 947. <https://doi.org/10.3390/en17040947>

IBM. (2022, junio 7). *Formato JSON (JavaScript Object Notation)*.

<https://www.ibm.com/docs/es/baw/20.x?topic=formats-javascript-object-notation-json-format>

ICONTEC. (2019). *NTC-ISO 50001:2019 SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA. REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO*.

Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., & Karlsson, M. (2019). Specific 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>

Liu, L. (2022, marzo 19). *How do pouch packaging machines work? - spackmachine*. Spack Machine. <https://www.spackmachine.com/how-do-pouch-packaging-machines-work/>

Red Hat. (2023, enero 20). *¿Qué es una API y cómo funciona?* <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>

Schneider Electric. (2022). *Power Monitoring Expert 2022 System Guide*.

[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=7EN02-0471&p\\_enDocType=System+user+guide&p\\_File\\_Name=7EN02-0471-00.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=7EN02-0471&p_enDocType=System+user+guide&p_File_Name=7EN02-0471-00.pdf)

Schneider Electric. (2023). *ION Architecture & ION Modules*. [https://download.schneider-](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=7EN02-0290&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=PowerLogic-ION-Reference-7EN02-0290-14.pdf)

[electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=7EN02-0290&p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=PowerLogic-ION-Reference-7EN02-0290-14.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=7EN02-0290&p_enDocType=User+guide&p_File_Name=PowerLogic-ION-Reference-7EN02-0290-14.pdf)

WINDMÖLLER & HÖLSCHER (2017). *Manual de instrucciones original Instalación de soplado de láminas VAREX II, FILMATIC S II*.