

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
SEDE DEL PACÍFICO
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y
ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA EN LAS
INSTALACIONES DE FHACASA EN BARRANCA
PUNTARENAS EN EL 2020**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN COMO REQUISITO
PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

POR:

ALBERT MÉNDEZ GONZÁLEZ
ROBINSON MORERA ZELEDÓN

DICIEMBRE, 2021

ACTA DE APROBACIÓN



Ingeniería Electrónica
Sede del Pacífico



ACTA DE APROBACIÓN


En la ciudad de Puntarenas, a los 10 días del mes de diciembre del año 2021, al ser las 17 horas, estando presentes en el Campus Juan Rafael Mora Porras de la Sede del Pacífico de la Universidad Técnica Nacional, las siguientes personas:

Profesor Tutor: Rolando Sancho Chaves
Profesor Lector Interno: Verny Rojas Vásquez
Profesor Lector Interno: Henry Guerrero Vindas
Presidente del Tribunal Examinador: Mario Alberto Durán Varela


En su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar el Proyecto de Graduación para optar por el grado de **Licenciatura en Ingeniería Electrónica**, de las personas estudiantes, **Albert Otto Méndez González** y **Robinson Francisco Morera Zeledón**.

Reunido el Tribunal Evaluador los aspirantes procedieron a presentar y defender su Proyecto de Graduación titulado **"Implementación de un sistema de monitoreo y administración de la energía en las instalaciones de FHACASA en Barranca Puntarenas, durante el año 2020."**

Concluida la presentación y defensa del Proyecto de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que, de conformidad con la normativa en la materia, las personas estudiantes han cumplido con las exigencias requeridas para la aprobación del Proyecto y le es conferido el grado de **Licenciado en Ingeniería Electrónica**.


Rolando Sancho Chaves
Profesor Tutor


Verny Rojas Vásquez
Lector


Henry Guerrero Vindas
Lector


Mario Alberto Durán Varela
Presidente del Tribunal Examinador

Sello



Estudiantes:


Albert Otto Méndez González


Robinson Francisco Morera Zeledón

DEDICATORIA

A nuestros padres y tutor por su constante apoyo y comprensión en el desarrollo de este trabajo y durante toda nuestra carrera profesional, por ser esa fuerza para continuar con nuestra superación personal y profesional. Este proceso de formación y aprendizaje se alcanza gracias a ellos que, además de la motivación, nos brindan el apoyo emocional, académico y económico para lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a nuestros profesores, tutor, lectores y director de carrera, quienes compartieron sus conocimientos, nuevas ideas, recomendaciones y por exigirnos diariamente ser los mejores y concluir de la mejor manera esta etapa de formación profesional.

Expresamos nuestro agradecimiento especial a todo el personal de FHACASA-Molinos Modernos, quienes nos brindaron la oportunidad de llevar a cabo el trabajo final de graduación en la industria y aplicar los conocimientos adquiridos en el ámbito académico, así como aprender a desenvolvernos como profesionales en nuestra carrera de Ingeniería Electrónica.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1. Introducción.	2
1.2. Área de Estudio.....	3
1.3. Delimitación del Problema.....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Situación Actual del Conocimiento del Tema	6
1.6. Objetivos	8
1.6.1. Objetivo General	8
1.6.2. Objetivos Específicos.....	8
Capítulo II. Marco teórico.	0
2.1. Gestión Energética	10
2.2. Eficiencia Energética	11
2.3. Aspectos Clave en la Gestión Energética.....	12
2.3.1. Normas ISO	12
2.3.2. Definición de la Norma ISO-50001	12
2.3.3. Requisitos de la Norma ISO 50001	13
2.3.4. Ciclo PHVA	13
2.4. Términos y Definiciones.....	14
2.4.1. Desempeño Energético.....	17

2.4.2. Indicadores	19
2.4.3. Indicadores de Gestión	19
2.4.4. Línea Base de Energía	20
2.4.5. Definición de Variables Relevantes	20
2.4.6. Monitoreo de Energía	21
2.4.7. Medición de Energía	22
2.5. Medidores SENTRON PAC-3200	22
2.6. Equipo y Software	26
2.7. Qué es un Sistema Scada	27
2.8. Principales Características de un Sistema Scada	28
2.8.1. Componentes de Hardware Necesarios	28
2.8.1.1 Ordenador Central O MTU (Master Terminal Unit)	28
2.8.2. Ordenador Remoto RTU (Remote Terminal Unit)	29
2.8.3. Red Comunicación	29
2.8.4. Instrumentos de Campo	30
2.8.5. Definición de HMI	30
2.8.6. Descripción del Software Wincc	31
2.8.7. Descripción del Software PCS7	32
2.8.8. Descripción del Software Node-RED	33
2.8.9. Descripción del Software Grafana	34
2.8.10. Definición de un PLC	35
2.8.11. Arquitectura Interna de un PLC	36
Capítulo III. Marco metodológico.	37

3.1. Tipo de Investigación.....	38
3.1.1. Cuantitativa	38
3.1.2. Cualitativa	38
3.1.3. Hipótesis.....	39
Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados	41
4.1. Análisis de Diagramas Unifilares.....	42
4.2. Agrupación de las Cargas Eléctricas.....	49
4.3. Selección y Descripción del Sistema de Captura de Datos.....	63
4.4. Diseño de Topología de Red.....	64
4.5. Creación de la Interfaz Hombre Máquina.....	68
4.6. Cómo se Obtienen los Datos	72
4.7. Envío de Información a la Base de Datos	77
4.8. Descripción General del Sistema de Monitoreo.....	78
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	80
5.1. Conclusiones	81
5.2. Recomendaciones.....	83
Anexo 1.	89
Anexo 2.	97
Anexo 3.	106

LISTA DE IMÁGENES

Ilustración 1 Ahorros esperados con ISO-50001 (2017)	5
Ilustración 2 Relación entre desempeño energético, LBE, IDE y metas	18
Ilustración 3 PCE. Medidor de energía Siemens Sentron PAC3200	23
Ilustración 4 Terminales SENTRON PAC 3200	24
Ilustración 5 Diagrama de conexión siemens	26
Ilustración 6 Representación de un sistema Scada	27
Ilustración 7 Representación de red de comunicación industrial	30
Ilustración 8 Interfaz del software Wincc.....	32
Ilustración 9 Edición de flujo basada en navegador (Node-Red)	34
Ilustración 10 Entorno gráfico Grafana	35
Ilustración 11 Distribución eléctrica de la empresa.....	42
Ilustración 12 Vista general de infraestructura	44
Ilustración 13 Diagrama de proceso 8	45
Ilustración 14 Diagrama del proceso 9	46
Ilustración 15 Diagrama del proceso 3	47
Ilustración 16 Diagrama de proceso 7	48
Ilustración 17 Representación de la conexión LAN de la empresa	64
Ilustración 18 Conexión de red en trigos y oficinas	65
Ilustración 19 Conexión a los servidores de Node-RED, Grafana y MySQL	66
Ilustración 20 Conexión de red Profibus	67
Ilustración 21 Indicadores de desempeño Proceso 7	69
Ilustración 22 Pantallas monitoreo de energía Proceso 3	70
Ilustración 23 Pantallas de monitoreo de energía Proceso 8	71
Ilustración 24 Pantalla de monitoreo de Proceso 9.....	72
Ilustración 25 Propiedades de nodo Modbus	73

Ilustración 26 Nodo de función	74
Ilustración 27 Conexión de dispositivo Modbus en la red.....	74
Ilustración 28 Programación del nodo función.....	75
Ilustración 29 Programación del nodo	75
Ilustración 30 Hilo de consulta	76
Ilustración 31 Conexión con la base de datos	77
Ilustración 32 Datos que se registran desde la base de datos.....	78
Ilustración 33 Diagrama de flujo del sistema completo de monitoreo y administración.....	79
Ilustración 34 Diagrama de red eléctrica en la empresa	92
Ilustración 35 Distribución eléctrica de la empresa.....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Terminales de medidor Sentron PAC3200	25
Tabla 2 Metodología seguida para la conclusión del proyecto.....	39
Tabla 3 Comparación de antes y después de la implementación del sistema d monitoreo .	49
Tabla 4 Usos significativos potenciales del IDEN	50
Tabla 5 Facilidad de medición y nivel de oportunidad de mejora	51
Tabla 6 Oportunidad de mejora en el uso de USE.....	52
Tabla 7 Regresión de producto vs energía proceso 7	55
Tabla 8 Regresión de producto vs energía proceso 3	57
Tabla 9 Comparativo del antes y después.....	62
Tabla 10 Comparativa de la solución.	63
Tabla 11 Análisis de antes y después de la implementación de la red	68
Tabla 12 Cronograma del plan de trabajo.....	89
Tabla 13 Comunicación de los medidores y las básculas de proceso.....	94
Tabla 14 Datos del proceso 3.....	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Variables con niveles diferentes de significancia	21
Gráfico 2 Relación consumo producción Proceso 7	54
Gráfico 3 Relación consumo producción Proceso 3	56
Gráfico 4 Energía consumida por Proceso 9	58
Gráfico 5 Consumos Proceso 9	59
Gráfico 6 Relación energética-proceso de Proceso 8	60
Gráfico 7 Consumo energético de Proceso 8	61
Gráfico 8 Diagrama de Gantt a partir de la lista de actividades de la Tabla 12	91

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Estimación de energía esperada proceso 3.....	55
Ecuación 2 Energía esperada proceso 3.....	56
Ecuación 3 Estimación de energía esperada proceso 3.....	57

RESUMEN

En el presente documento se desarrolló un sistema de monitoreo de energía para la aplicación práctica de la norma ISO-50001 en la empresa FHACASA, mediante el estudio de la distribución y consumo eléctrico. Se identificaron los procesos más significativos para la facturación de servicios eléctricos y se analizó la relación producto, en función de energía que permite crear un parámetro de referencia donde se muestra la eficiencia de su uso, esto permite tomar acciones en el proceso para aprovechar al máximo la energía. En este documento se puede ver cómo se desarrolla este proceso, esto se resume a continuación.

Se identificaron los puntos de medición idóneos para el seguimiento. Además, se implementó un sistema de monitoreo de desempeño energético que consiste en medidores de energía conectados a una red Ethernet, una base de datos donde se almacenan estos valores y un sistema de visualización HMI que permita monitorear en tiempo real su consumo energético en función de la producción, lo que evidencia la eficiencia en su aprovechamiento energético.

La compañía brinda planes de concientización de uso responsable al personal, además de implementación de proyectos de ahorro. Gracias al sistema de monitoreo de energía implementado se logra evidenciar la eficacia y seguimiento, así como la necesidad de refrescamiento al personal de buenas prácticas. Los resultados tras 8 meses desde su aplicación reflejan ahorros hasta de un 10 % en los diferentes procesos.

Palabras clave: norma ISO-50001, sistema de monitoreo de desempeño energético, medidores de energía, sistema de visualización HMI

ABSTRACT

In this document an energy monitoring system was developed for the practical application of the ISO-50001 standard in the company FHACASA, through the study of the distribution and electricity consumption. The most significant processes for the billing of electrical services were identified and the product relationship was analyzed, in function of energy that allows creating a reference parameter where the efficiency of its use is shown, this allows taking actions in the process to make the best use of energy. In this document you can see how this process is developed, this is summarized below. The ideal measurement points for monitoring were identified. In addition, an energy performance monitoring system was implemented, consisting of energy meters connected to an Ethernet network, a database where these values are stored, and an HMI visualization system that allows real-time monitoring of energy consumption as a function of production, which shows the efficiency of energy use. The company provides awareness-raising plans for responsible use to its personnel, in addition to implementing energy-saving projects. Thanks to the energy monitoring system implemented, it is possible to demonstrate efficiency and follow-up, as well as the need to refresh personnel on good practices. The results after 8 months of implementation reflect savings of up to 10% in the different processes.

Keywords: ISO-50001 standard, energy performance monitoring system, energy meters, HMI display system.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Este proyecto se presenta como solución al monitoreo y administración del consumo energético de la empresa Fábrica de Harinas de Centroamérica S. A., la cual requiere controlar su consumo y mejorar su eficiencia en el aprovechamiento de la energía. En la actualidad, la compañía conoce su desempeño energético hasta recibir la facturación del proveedor de servicios eléctricos a final de mes, en ese momento ya no tiene oportunidad de revertir lo realizado en sus procesos. Además, no cuenta con indicadores energéticos que le permitan identificar y desarrollar oportunidades de ahorro, así como la medición de la eficacia y su seguimiento energético en los distintos procesos, sean estos productivos o no.

Por esto, se presenta la necesidad de establecer indicadores del desempeño energético, para esto, se debieron conocer los procesos más representativos en la facturación, además de identificar los que presentan oportunidad de ahorro. Por esto, se instalaron medidores de energía y se estableció una red de comunicación Ethernet para interrogarlos presentando los datos en el sistema de visualización HMI con el que cuenta la empresa para que el consumo se presente en tiempo real y no días después cuando se entrega la facturación del proveedor de servicios eléctricos.

1.2. Área de Estudio

Se centra específicamente en eficiencia energética y automatización, la implementación de la norma ISO 50001, medir el consumo energético de los principales procesos y monitorearlo en tiempo real. Los operarios pueden tomar acciones a partir de los datos que se muestran en los indicadores de desempeño, estos se pueden ver como ejemplos que delimitan el área de estudio.

1.3. Delimitación del Problema

- Delimitación espacial: El proyecto se limita a las instalaciones de la empresa FHACASA, ubicada en Barranca, Puntarenas.
- Delimitación temporal: Se estima una duración de ocho meses para finalizar el proyecto.
- Delimitación temática: El alcance del proyecto se limita a un análisis de la distribución eléctrica de la planta, un balance de energía, un análisis de los principales consumidores, una red de medidores de energía y sistema de visualización del desempeño energético a los principales consumidores.

1.4. Justificación

Fábrica de Harinas de Centro América (FHACASA) es una empresa de CMI (corporación multiinversiones), ubicada en la ciudad de Barranca, Puntarenas, que se dedica a la elaboración y comercialización de harina de trigo. Esta cuenta con más de 35 años de operar en el país y factura bajo la tarifa de media tensión (TMT) a su proveedor de suministro eléctrico el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

En la actualidad, FHACASA no cuenta con indicadores energéticos y se desconoce la eficiencia en el costo del consumo eléctrico de sus procesos en comparación con los productos finales obtenidos, por lo que se desconocen las fugas de consumo eléctrico. Por lo tanto, se pueden presentar oportunidades de ahorro y mejorar su eficiencia energética.

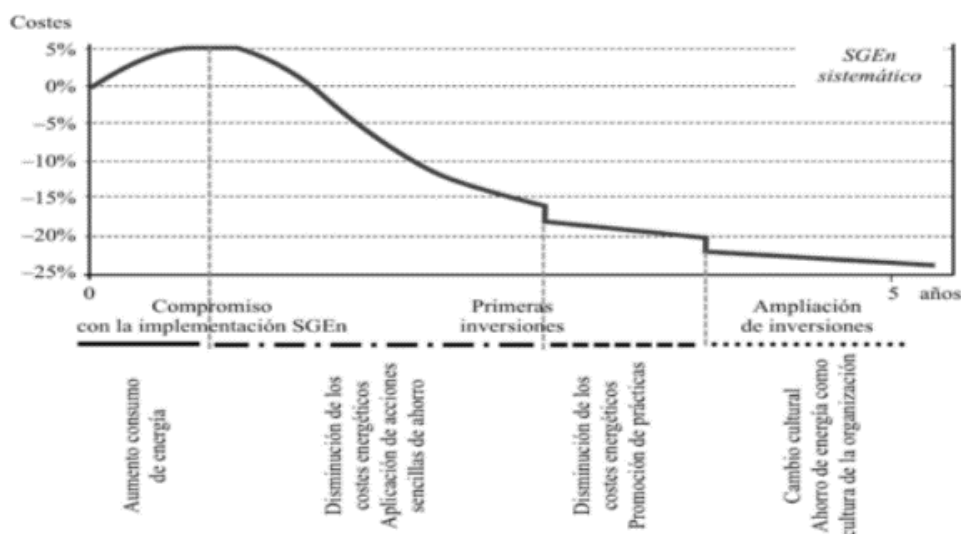
La tarifa TMT brinda un beneficio a las empresas de altas demandas eléctricas con una facturación segregada, dividiendo la factura en demanda y energía, con costos separados por horarios, las horas punta son las de mayor costo. Como un atrayente a las grandes industrias el 27 de marzo del 2019 el ICE realiza un comunicado de prensa donde modifica los requisitos para optar por la tarifa TMT-b, la cual presenta costos menores que la tarifa TMT. El requisito es contar con un sistema de gestión de energía y estar certificado con la norma ISO-50001 como se puede ver en (Presidencia de la República de Costa Rica, 2019).

Para obtener la tarifa TMT-b es necesario el contar con la certificación ISO 50001, que en su apartado 4.4 indica: “La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGen, incluyendo los procesos necesarios y sus

interacciones, y mejorar continuamente el desempeño energético, de acuerdo con los requisitos de este documento” (Inteco, 2018, s. p.). Según datos de la ISO se esperan reducciones de hasta 15 % en la facturación en los primeros 3 años con tan solo la implementación de controles y monitoreo de la energía y hasta un 25 % después de los primeros 5 años con la ejecución de proyectos de inversión, como se muestra en la Ilustración 1.

Ilustración 1

Ahorros esperados con ISO-50001 (2017)



Fuente. Tomado de Comparación de un Sen metódico. <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp//>

Para analizar el objetivo del proyecto es importante conocer los problemas que genera el consumo no controlado de la energía, relacionando toneladas de trigo producidas por kWh consumidos. Comparativamente, la empresa se encuentra en cuarto lugar de los 7 molinos de CMI, lo que da oportunidad de ahorro.

Para controlar el consumo se propone enlazar los medidores con el HMI donde se crean gráficas de tendencias y se puede observar el comportamiento en tiempo real. Adicionalmente, se crean indicadores como manera de conocer el consumo de energía comparando contra la producción. Se implementa un sistema de monitoreo de la energía en un Scada (Sistema de control de supervisión y captura de datos), lo que muestra consumos históricos e indicadores de consumo energético contra producción realizada, esto aumenta los beneficios de la tarifa y cumple con los requisitos que pide la norma ISO-50001 por lo que podrá optar por la nueva tarifa TMT-b, lo que disminuye costos directos al producto para generar mayores márgenes de ganancia, o bien trasladar el ahorro al consumidor como estrategia de mercado.

1.5. Situación Actual del Conocimiento del Tema

Costa Rica es un país que se ha preocupado por la eficiencia energética a lo largo de su historia, con numerosos programas, proyectos y actividades de eficiencia energética, cuenta con una ley de Regulación del Uso Racional de la Energía desde 1994, la cual se reglamentó en 1996 (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017). Gracias a esto, las industrias de Costa Rica pueden implementar estrategias para la eficiencia de energía. A continuación, se describen algunas implementaciones de la Norma ISO-50001, similar a la propuesta desarrollada en FHACASA.

En el 2003 se implementó un sistema de monitoreo y análisis de la calidad de la energía generada en la empresa ICE para detectar fallas en el funcionamiento de las unidades generadoras. Para esto, se presenta como solución el monitoreo de energía y

se implementa un programa que permite el análisis de los parámetros muestreados por el sistema de monitoreo para llevar a cabo estudios y reportes de calidad de voltaje, frecuencia, desbalance, armónicos de voltaje, corriente y factor de potencia (Chacón, 2003).

Además, la empresa hotelera Condovac la Costa presentó un proyecto de eficiencia energética en el que el principal problema es la alta facturación. La empresa desea reducir su consumo y optar por nuevas tecnologías para este propósito, lo cual implica tener al personal bien capacitado y que este sea consciente de la importancia del uso eficiente de los recursos naturales (Camareno, 2015).

Para este proyecto una de las soluciones para un sistema eficiente de energía era el monitoreo del consumo en tiempo real, lamentablemente no se pudo instalar por escaso presupuesto económico. Por lo tanto, se solicitó equipo de medición a Coopeguanacaste para medir durante un corto periodo los procesos más críticos y de mayor oportunidad de ahorro (Camareno, 2015).

Asimismo, en las industrias internacionales se encuentran proyectos para el manejo de energía como Bridgestone Costa Rica (2016), que se convirtió recientemente en la primera planta en América Latina de esta multinacional productora de llantas en obtener la certificación ISO 50001 de sistemas de gestión de la energía. Es la segunda del continente americano y el número siete en el ámbito mundial de la corporación Bridgestone en lograrlo. La norma se basa en un sistema de gestión para planificar, hacer, verificar y actuar sobre el mejoramiento continuo del desempeño energético (Revista Summa, 2016).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo y administración de la energía en las instalaciones de FHACASA en Barranca Puntarenas en el año 2020.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Identificar los diagramas unifilares de la distribución de las cargas eléctricas de la planta para una agrupación correcta de las cargas y monitoreo de estas por proceso.
- Agrupar las cargas eléctricas según análisis para contabilizar la energía por proceso.
- Implementar una topología de red de medidores de energía según los procesos que se identifican con mayor oportunidad de ahorro.
- Crear un HMI para el control, monitoreo del consumo energético, indicadores de consumo contra producción y gráficas de tendencia.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO.

2.1. Gestión Energética

De acuerdo con I.S. Corporación (2018):

Se define como un proceso que monitorea, controla y analiza la situación del consumo energético y gestiona la implementación de sistemas que generen ahorro energético y económico [...] la gestión energética debe contribuir a fijar los objetivos a corto, medio y largo plazo para conseguir la optimización de los recursos energéticos, así como establecer las medidas para conseguir la optimización de los recursos energéticos, así como establecer las medidas, acciones y modificaciones que permitan reducir el consumo de energía. Las mismas son fundamentales para la mejora de la competitividad de las empresas (s. p.).

En la actualidad, es muy común ver a las organizaciones buscar mejoras en su gestión energética o implementar una y, para esto, establecen estrategias que aumentan y mejoran su eficiencia y, a la vez, se reducen costos. El enfoque de las industrias normalmente es el de reducir costos en producción. Actualmente, muchas empresas gestionan sobre sus insumos, por ejemplo, la energía eléctrica, se procura producir lo mismo, pero con menos energía.

Según de Laire, Fiallos y Aguilera (2017):

El concepto de gestión de la energía nace a partir de la constatación de que muchas iniciativas de eficiencia energética que se implementan de forma aislada, no se perpetúan a lo largo del tiempo. De manera general, los cambios de tecnologías, sin el debido acompañamiento sistemático de las organizaciones, no generan valor ni consistencia a lo

largo del tiempo. Así, los beneficios que resultan de este tipo de iniciativas, como la reducción de costos y emisión de gases de efecto invernadero, demuestran ser puntuales y, muchas veces, efímeros (s. p.).

Por esto, es necesario, una vez hecho e implementado el plan de gestión, seguir actualizándose según sea la necesidad de la empresa, o bien el cambio tecnológico y así garantizar eficiencia en la producción por consumo de energía.

2.2. Eficiencia Energética

De acuerdo con la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2017):

El concepto más amplio de eficiencia energética se refiere a reducir la cantidad de energía (eléctrica y combustibles) que se utiliza para generar un bien o un servicio, sin afectar la calidad de los productos, el confort de los usuarios ni la seguridad de las personas y bienes. Esta reducción del consumo de energía se puede asociar a la incorporación de nuevas tecnologías, ya sea por sustitución de equipos existentes por unidades de alta eficiencia, por ejemplo, motores eléctricos, o por optimización en los procesos, por ejemplo, automatización de operaciones que presentan alta variabilidad. Si bien se pueden requerir inversiones adicionales, estas se ven compensadas en el mediano plazo por la disminución de costos relacionados con energía. La eficiencia energética también considera las acciones relacionadas con la gestión de energía, que involucra cambios en los hábitos y actitudes. En cualquiera de estos casos, se considera la contribución de la eficiencia energética en el aumento de la competitividad de las empresas, disminuyendo los costos energéticos a corto y largo plazo. Desde la perspectiva del desarrollo sustentable, la

eficiencia energética contribuye a racionalizar la producción y transporte de energía, disminuyendo los impactos a nivel global y local (p. 8).

Según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2017), de acuerdo con cifras de la IEA (Agencia Internacional de la Energía), el 49 % del potencial global de reducciones de gases efecto invernadero se puede reducir mediante el uso eficiente de la energía.

2.3. Aspectos Clave en la Gestión Energética

A continuación, se definen algunos aspectos clave de la gestión energética.

2.3.1. Normas ISO

Las normas ISO son las encargadas de crear estándares en empresas e instituciones, la aplicación de estos estándares es voluntaria, así que depende de cada organismo si decide adoptar la norma. Estas se especializan en los ámbitos de gestión de calidad, del ambiente, riesgo, seguridad, energía, entre otros.

2.3.2. Definición de la Norma ISO-50001

La norma ISO 50001 es la que se especializa en la gestión de la energía y se define como:

El Sistema de Gestión Energética es la parte del sistema de gestión de una organización

dedicada a desarrollar e implantar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía. La norma ISO 50001 establece los requisitos que debe poseer un Sistema de Gestión Energética, con el fin de realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético de las organizaciones (ISOTools, 2019, s. p.).

2.3.3. Requisitos de la Norma ISO 50001

El objetivo de los requisitos de ISO 50001 es capacitar a una organización para que se guíe por un enfoque de proceso estructurado en la mejora continua del uso de energía.

ISO 50001: 2018 define los requisitos para el uso y consumo de energía. Estos requisitos incluyen medición, definición de procesos y documentación. También define las prácticas de adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que contribuyen a la eficiencia energética (ISOTools, 2019, s. p.).

2.3.4. Ciclo PHVA

El ciclo PHVA (planificar-hacer-verificar-actuar) es:

Un enfoque de cuatro etapas para lograr la mejora continua. Implica probar sistemáticamente las posibles soluciones, evaluar los resultados e implementar las que funcionan. El núcleo de este enfoque es el liderazgo. La importancia del liderazgo, especialmente a nivel de la gerencia es vital para operar un SGE con éxito, para lograr los niveles de rendimiento requeridos y generar una mejora continua (ISOTools, 2019, s. p.).

2.4. Términos y Definiciones.

De acuerdo con NQA (s. f.):

Los términos se agrupan por el título de la cláusula principal. La ISO/TC 207/SC 1/WG 5 acordó ordenar los términos dentro de las agrupaciones de manera que:

Los términos específicos de la disciplina se presentan consecutivamente en su forma genérica.

Los términos se presenten en el orden en que aparecen en el texto. El GT5 insertó un Índice alfabético de términos, que puede modificarse para reflejar listados alfabéticos en otro idioma. Además del término o definición, también hay notas que buscan proporcionar más información y claridad. Si se ha comprado una versión digital de la norma, las definiciones se vinculan a otras definiciones para que se pueda ver su interrelación. Las secciones 4 a 10 proporcionan los requisitos de la norma. En la lectura de la norma, la palabra deberá indica los requisitos de cumplimiento obligatorio que debe cumplir una organización. Los auditores externos de NQA deberán verificar el cumplimiento y la efectividad de dichos requisitos de obligatorio cumplimiento (p. 11).

A pesar de que certificarse implica un costo, las empresas lo hacen por sus múltiples beneficios como:

Marco para la gestión energética: Un SGE efectivo alineado con la estrategia comercial de una organización, permitirá la visibilidad del uso y áreas donde se puede mejorar el rendimiento energético.

Reducción de costes: Cualquier reducción de energía identificada a través de un SGE, a su vez, ofrecerá ahorros demostrables en las facturas de energía, lo que reducirá los gastos

generales de una empresa.

Reducción energética: La reducción de costes y la reducción de energía van de la mano. Al establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un SGE, una organización será capaz de lidiar no solo con las oportunidades iniciales de ahorro de energía, sino que también será capaz de identificar y administrar dónde, cuándo y cómo se consume la energía e identificar mejoras y reducciones de eficiencia energética.

Reducción de la huella de carbono.

Muchas empresas informan sobre su producción de dióxido de carbono (CO₂) o *huella de carbono*. Si bien la reducción de CO₂ no se puede citar realmente como una razón principal para la ISO 50001, cualquier reducción energética tendrá una correlación directa con la reducción de la huella de carbono.

Compromiso organizativo: El enfoque de *arriba hacia abajo* dentro de la ISO 50001 asegura que las principales partes interesadas dentro de la organización entienden el SGE y, por lo tanto, estén motivados para lograr sus objetivos.

Análisis comparativo: La ISO 50001 requiere que una organización establezca una línea de base para actuar como un indicador del rendimiento energético. Al identificar una línea de base, la eficiencia energética se puede rastrear con el tiempo.

Cumplimiento regulatorio: Al igual que con otras normas ISO, la ISO 50001 requiere que una organización identifique y tenga acceso a los *requisitos legales y de otro tipo* aplicables en relación con su eficiencia energética, uso de energía, consumo de energía y su SGE. En Reino Unido, la ISO 50001 se puede utilizar para cumplir directamente con el Esquema de Oportunidades de Ahorro de Energía (ESOS).

Reputación: Lograr la ISO 50001 puede ofrecer beneficios reputacionales al demostrar a

las partes interesadas que la organización está totalmente comprometida con la gestión del consumo energético y que busca formas de aumentar su eficiencia energética (NQA, s. f., p. 5).

Se concluye que el objetivo final de las normas es beneficiar las empresas para optimizar la administración de esta e impulsar el crecimiento. Las normas ISO se adaptan a la mayoría de las empresas de tamaños y procesos diferentes, adoptar cualquiera implica un reconocimiento en el ámbito internacional. Para esto, se debe cumplir con varios requisitos en la empresa:

- Requisitos generales. Se define por qué se necesita implementar la norma y se identifican las oportunidades de mejora y ahorro.
- Responsabilidad de la dirección. La empresa debe mostrar interés por implementar la norma, además de definir responsables de la implantación.
- Política energética. Se debe definir el proyecto de gestión energética, en donde se declaren las intenciones de desempeño energético.
- Planificación energética. Se tendrán en cuenta aspectos como el uso y consumo energético actual en la organización. La planificación energética debe ser afín con la política energética definida previamente.
- Implementación y operación. Se deben desarrollar los medios y las herramientas necesarias para monitorear, medir y analizar su gestión energética a través de operaciones y actividades relacionadas con los usos significativos de la energía. Deben registrarse evidencias de estas actividades de monitoreo y medición.

- Verificación. Consiste en la revisión del desempeño, seguimiento, medición y análisis de los planes energéticos, así como la evaluación de las no conformidades para establecer acciones correctivas y preventivas.
- Revisión por la dirección. Establece los requisitos de revisión del sistema de gestión de la energía y acompañamiento de la mejora continua sobre el plan de gestión.

2.4.1. Desempeño Energético

Para una compañía los costos fijos representan una carga importante de gastos, entre estos está la facturación eléctrica, la cual es el resultado de la potencia utilizada a través del tiempo. La potencia es el resultado de multiplicar la corriente por la tensión y para obtener estos valores es necesario colocar instrumentos de medición en los tableros eléctricos. Para este proyecto se utilizan medidores de energía para obtener los datos de potencia y básculas para medir la cantidad de trigo procesado y así relacionar estos dos valores para obtener un desempeño energético.

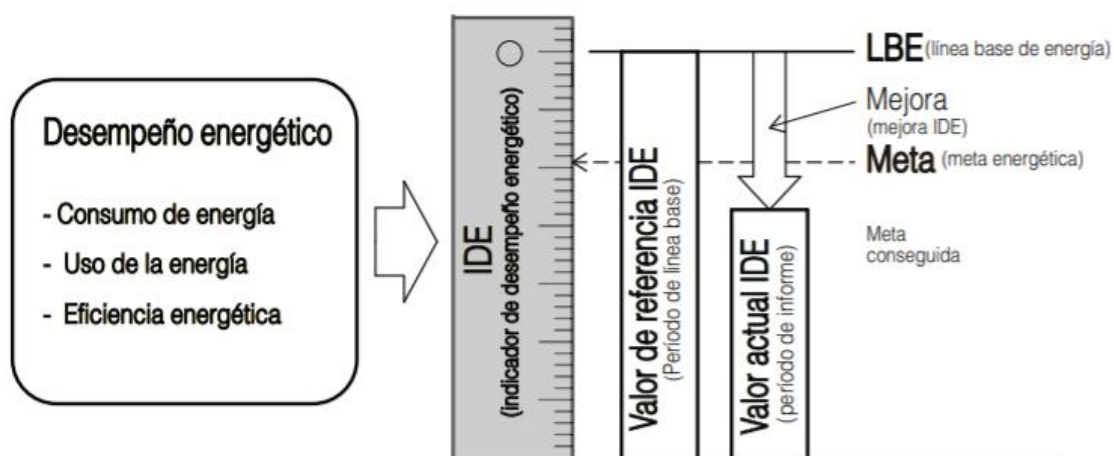
Las organizaciones utilizan la Norma ISO-50006 como orientación práctica para cumplir con la norma ISO-50001, la cual está relacionada con la creación, uso y mantenimiento de los IDE (indicadores de desempeño energético) y LBE (líneas base de energía). Estos son elementos cruciales que permiten la medición y, por lo tanto, la gestión de la energía en una organización. El desempeño energético es un concepto amplio que se relaciona con el consumo de energía, el uso de energía y la eficiencia energética.

Las compañías necesitan saber cómo se utiliza la energía y cuánta, con el fin de gestionarla eficazmente. Un IDE es un valor que cuantifica los resultados que se relacionan con el desempeño energético, el uso y el consumo en las instalaciones, sistemas proceso y equipos. La LBE es una referencia que mide y caracteriza el desempeño energético de una organización durante un periodo específico.

En una organización se deben definir los objetivos de desempeño energético durante la planificación de la energía dentro del sistema de gestión de energía (SGE). La relación entre IDE, LBE y metas energéticas se ilustra en la Ilustración 2.

Ilustración 2

Relación entre desempeño energético, LBE, IDE y metas



Fuente. Recuperado de QualidadeOnline, por Hayrton, 2016.

<https://qualidadeonline.wordpress.com/2016/06/07/aprendendo-a-medir-o-desempenho-energetico-com-a-norma-tecnica/>

Los IDE deberán proporcionar información relevante sobre el desempeño energético que permita a varios usuarios de una organización comprenderlo y tomar acciones para mejorarlo.

2.4.2. Indicadores

De acuerdo con FAO (s. f.):

Un indicador es una comparación entre dos o más tipos de datos que sirve para elaborar una medida cuantitativa o una observación cualitativa. Esta comparación arroja un valor, una magnitud o un criterio, que tiene significado para quien lo analiza. Los indicadores se utilizan en diversos ámbitos. Un ejemplo básico de indicador es el porcentaje (s. p.).

2.4.3. Indicadores de Gestión

Según FAO (s. f.):

Se utilizan para llevar a cabo el monitoreo de procesos, de los insumos y de las actividades que se ejecutan, con el fin de lograr una comparación o relación entre producto obtenido y los insumos para fabricarlo o procesarlo, suelen ser específicos de una política o programa (s. p.).

2.4.4. Línea Base de Energía

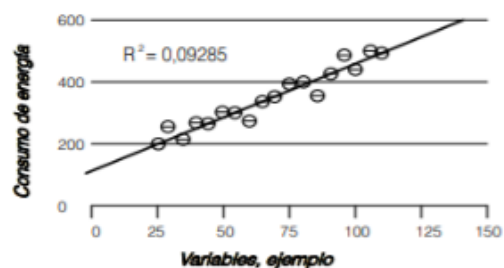
Una organización debe comparar los cambios de desempeño energético entre el periodo de línea base y el del informe. La LBE se utiliza solo para determinar los valores IDE para el periodo de línea base (NQA, s. f.).

2.4.5. Definición de Variables Relevantes

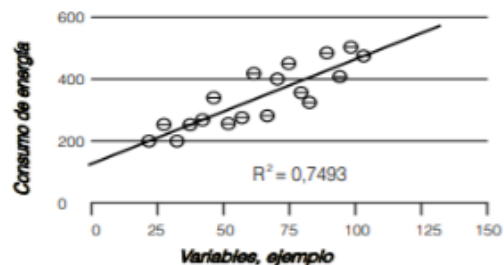
Según las necesidades de la organización y su SGE, las variables relevantes pueden tener impacto en el desempeño energético y se deberán definir y cuantificar en cada límite de IDE. Algunas variables son más relevantes que otras para el consumo de energía, en el Gráfico 1 se aprecia una variable relevante a un proceso la gráfica es a) variable significativa, el cual es un proceso donde al variar la variable significativa varía el consumo de energía proporcionalmente. En el caso del gráfico b) variable menos significativa, al variar la variable no se refleja con la misma proporción el cambio en el consumo de energía y es un proceso poco predecible. En el gráfico c) variable no significativa, al variar la variable significativa el consumo de energía no responde a esta variación, por lo que puede aumentar sin importar si la variable disminuye o no, es un proceso poco o nulo en su predicción (NQA, s. f.):

Gráfico 1

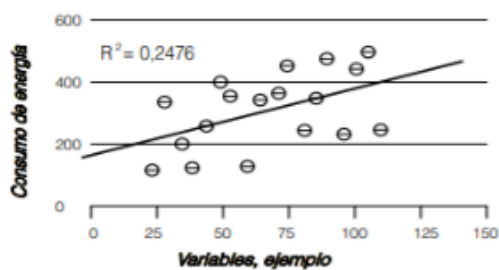
Variables con niveles diferentes de significancia



a) Variable significativa



b) Variable menos significativa



c) Variable no significativa

Fuente. Gráficas tomadas de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50006:ed-1:v1:en>.

2.4.6. Monitoreo de Energía

A través de los sistemas de monitorización se consigue una gestión energética adecuada.

Esto permite que se tenga información sobre consumo, además, parámetros importantes

como balance de líneas, picos de corriente, entre otros. Estos parámetros permiten identificar los procesos que mayor consumo presenta y así ejecutar un plan de acción para mitigar los gastos.

2.4.7. Medición de Energía

Para una compañía los costos fijos representan una carga importante de gastos, entre los más representativos se encuentra la facturación eléctrica, la cual es el resultado del uso de las máquinas durante un tiempo determinado. Para obtener los datos de consumo energético es necesario colocar instrumentos capaces de cuantificar la energía consumida, con base en estas mediciones el proveedor de servicios emite su factura.

La contabilización de la energía consumida se hace gracias a la instalación de medidores modelo SENTRON PAC-3200 de la marca Siemens. El detalle de los medidores por utilizar en el proyecto se presenta en los siguientes apartados:

2.5. Medidores SENTRON PAC-3200

El medidor de energía es un multímetro compacto capaz de capturar variables eléctricas como tensión, intensidad de corriente, potencia, valores de energía, frecuencia, factor de potencia para los valores de medición actual, también captura los valores mínimos y máximos. Cuenta con formato de instalación de 96 X 96 mm como se muestra en la Ilustración 3 (Siemens, 2019b).

Estos equipos pueden conectarse a distintas configuraciones de red como TN, TT, IT de dos, tres o cuatro conductores. El multímetro cuenta con una entrada y una salida capaz de parametrizar desde el dispositivo o a través de una interfaz de comunicación. Cuenta con funciones de monitoreo de 6 límites, los cuales se pueden vincular a la salida digital Mediante operadores lógicos Y/O y un operador O permite agrupar avisos de violación de al menos un límite.

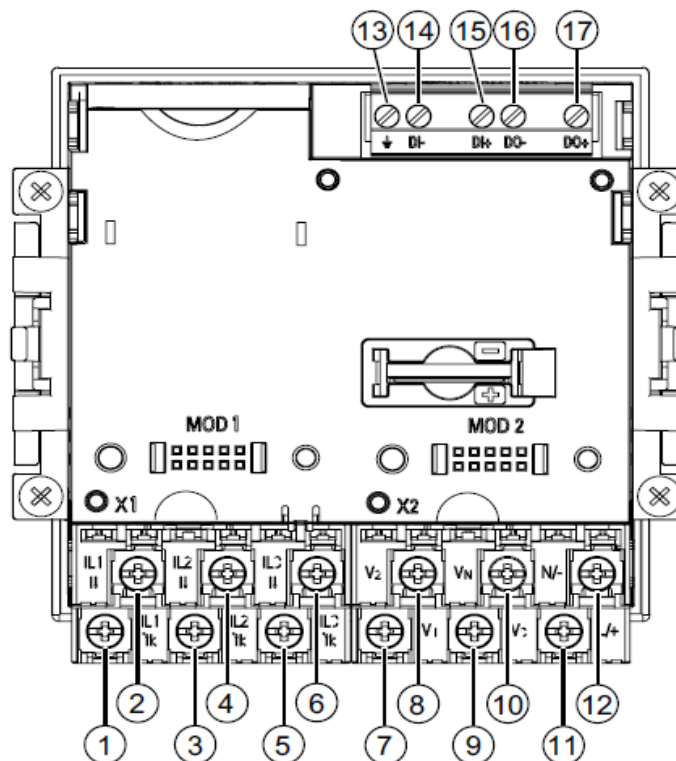
Ilustración 3

PCE. Medidor de energía Siemens Sentron PAC3200



Fuente. Tomado de Medidor de energía Siemens Sentron. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/medidor-multifuncion-pac3200.htm>

Ilustración 4

Terminales SENTRON PAC 3200

Fuente. Tomado de SENTRON Multímetro SENTRON PAC3200, Manual de producto, 02/2008.

Tabla 1

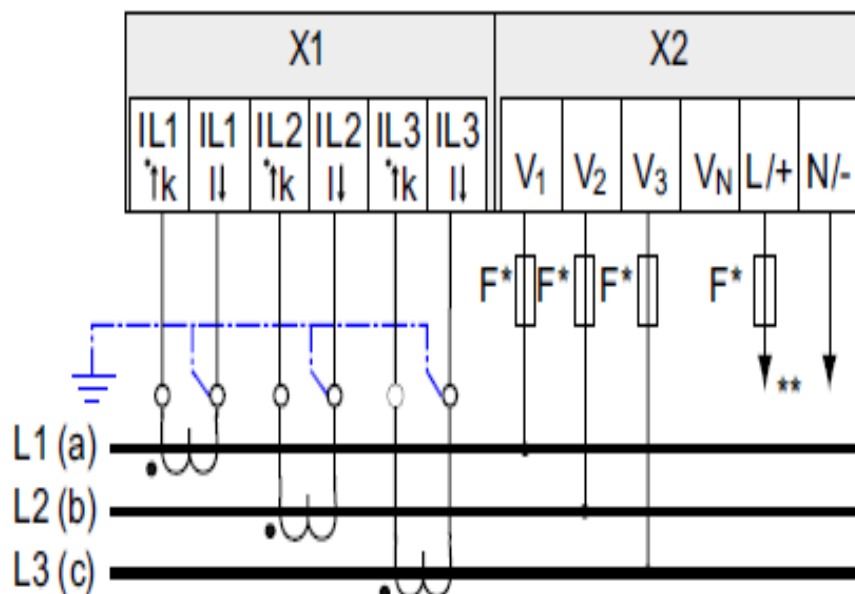
Terminales de medidor Sentron PAC3200

N.º Borne	Función
(1)	IL1 k Corriente de fase, IL1, entrada
(2)	IL1 l Corriente de fase, IL1, salida
(3)	IL2 k Corriente de fase, IL2, entrada
(4)	IL2 l Corriente de fase, IL2, salida
(5)	IL3 k Corriente de fase, IL3, entrada
(6)	IL3 l Corriente de fase, IL3, salida
(7)	V1 Tensión de fase UL1
(8)	V2 Tensión de fase UL2
(9)	V3 Tensión de fase UL3
(10)	VN Conductor neutro UN
(11)	L/+ AC: Conexión: Conductor (tensión) DC: Conexión: +
(12)	N/- AC: Conexión: Conductor neutro DC: Conexión: -
(13)	Tierra funcional
(14)	DI- Entrada digital -
(15)	DI+ Entrada digital +

Fuente. Tomado de SENTRON PAC3200.

Para una conexión trifásica balanceada se instala según la Ilustración 5.

Ilustración 5

Diagrama de conexión siemens

Fuente. Tomado de SENTRON PAC3200.

2.6. Equipo y Software

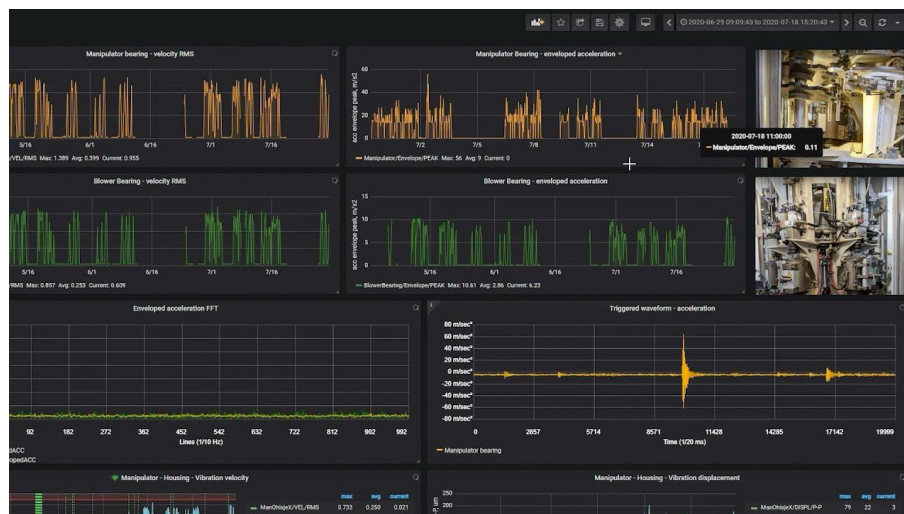
La automatización industrial consiste en controlar la actividad y la operación de los procesos sin la intervención continua de un ser humano. En la actualidad, la automatización se compone principalmente de un Scada (siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition), por medio del cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta. Para esto, se deben utilizar controladores lógicos, *software* de aplicación, módulos remotos, sistemas de comunicación, etc., que le permiten al operador tener acceso completo desde un cuarto de control mediante la visualización en una monitora (Zenteno, 2017).

2.7. Qué es un Sistema Scada

Según ISMA (2016), un sistema Scada es el conjunto de *software* y *hardware* que sirve para comunicar, controlar y supervisar diversos dispositivos de campo, así como controlar, de forma remota, todo el proceso (ver Ilustración 6). Además, suele incorporar HMI que proporciona un control del proceso mucho más intuitivo y rápido tomando en cuenta las prestaciones que una interfaz tiene. Todo esto tiene como fin ayudar a los operarios y supervisores, otorgándoles un mejor control y la posibilidad de llevar a cabo cambios, de forma prácticamente e inmediata (Zenteno, 2017).

Ilustración 6

Representación de un sistema Scada



Fuente. Tomado de sistemas HMI Scada para supervisión. <https://dewesoft.com/es/daq/sistemas-de-monitoreo-de-condicion-de-gwesoftg>

2.8. Principales Características de un Sistema Scada

Para considerar a un sistema como Scada debe satisfacer o cubrir ciertos requerimientos:

(Zenteno, 2017):

1. “Adquisición y almacenamiento de datos.
2. Representaciones gráficas de las variables.
3. Ejecución de acciones de control para modificar.
4. Conectividad con otras aplicaciones y base de datos.
5. Arquitectura abierta y flexible.
6. Supervisión.
7. Transmisión de información” (s. p.).

2.8.1. Componentes de Hardware Necesarios

De acuerdo con Zenteno (2017) los componentes de *hardware* necesarios son:

2.8.1.1 Ordenador Central O MTU (Master Terminal Unit)

Según Zenteno (2017):

- “Este es el ordenador principal del sistema.
- Tiene como objetivo supervisar y recoger información del resto de subestaciones.

- Suele soportar la interfaz HMI.
- Ejecuta *software* especializado que cumple funciones del sistema SCADA” (s. p.).

2.8.2. Ordenador Remoto RTU (Remote Terminal Unit)

De acuerdo con Zenteno (2017):

- “Pueden ser PC industriales o PLC.
- Están situados en los nodos estratégicos de los sistemas gestionando y controlando las subestaciones” (s. p.).

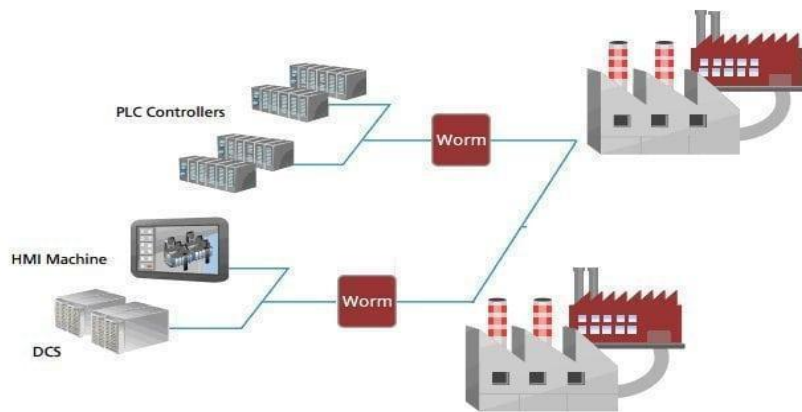
2.8.3. Red Comunicación

Según Zenteno (2017):

- Pueden ser prácticamente cualquier tipo de BUS (RS 232, RS 422 Y RS 485).
- Se puede conectar mediante protocolo TCP/IP por medio de cualquier tipo de red industrial, llegando hasta comunicación inalámbrica (s. p.).

Ilustración 7

Representación de red de comunicación industrial



Fuente. Recuperado de Lanner (2018). <https://www.lanner-america.com/es/infraestructura-critica/ciberseguridad-industrial/establecimiento-de-una-seguridad-de-red-solida-para-un-sistema-de-control-industrial/>

2.8.4. Instrumentos de Campo

De acuerdo con Zenteno (2017): “Son todos aquellos elementos que realizan la automatización y el control del sistema (PLC, controladores y actuadores) así como los que capturan información (sensores y/o alarmas)” (s. p.).

2.8.5. Definición de HMI

Según Wonderware Iberia (2019):

El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta

utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real. Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, y permiten el control y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso (s. p.).

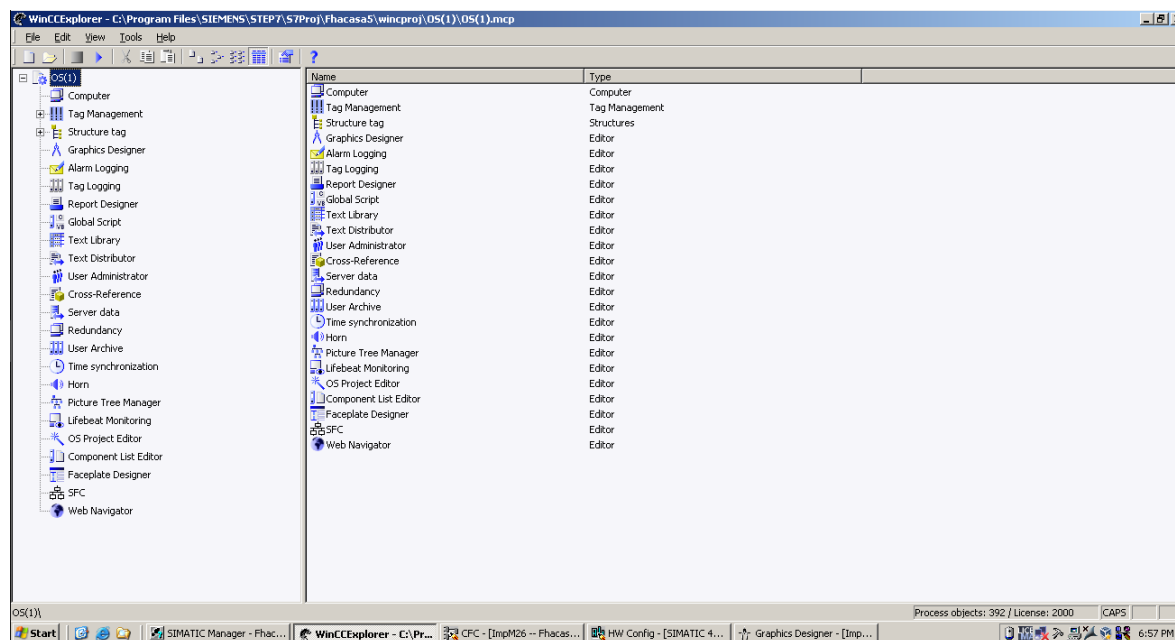
2.8.6. Descripción del Software Wincc

Simatic WINCC es, según Siemens (2019a):

Un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) e interfaz hombre-máquina (HMI) de Siemens, WinCC es el *software* para todas las aplicaciones HMI que van desde las soluciones de operación más simples con paneles básicos hasta aplicaciones SCADA en sistemas multiusuario basados en PC. SIMATIC WinCC comprende *software* de ingeniería en las variantes WinCC Basic, WinCC Comfort, WinCC Advanced y WinCC Professional. WinCC Advanced y WinCC Professional también están disponibles como paquetes de *software* de tiempo de ejecución, que se pueden ampliar mediante opciones (s. p.).

Ilustración 8

Interfaz del software Wincc



Fuente: Imagen propia, tomada del software WinCC

2.8.7. Descripción del Software PCS7

Según Siemens (2019b), el sistema de control de procesos SIMATIC PCS 7 es un componente integral de Totally Integrated Automation (TIA). Esta última es la plataforma única que ofrece Siemens para la automatización unificada y específica del cliente en todos los sectores de la producción, procesos e industrias híbridas.

SIMATIC PCS 7 se encarga de las tareas estándar de control de procesos. Además, puede automatizar procesos secundarios como llenado, envasado o la logística de entrada y salida para una ubicación de producción. Los datos de proceso están disponibles en toda la empresa a través de la conexión del nivel de automatización al

sistema de TI. Esto le permite ejecutar, de manera centralizada, la evaluación, coordinación y optimización de procesos de fabricación y comerciales.

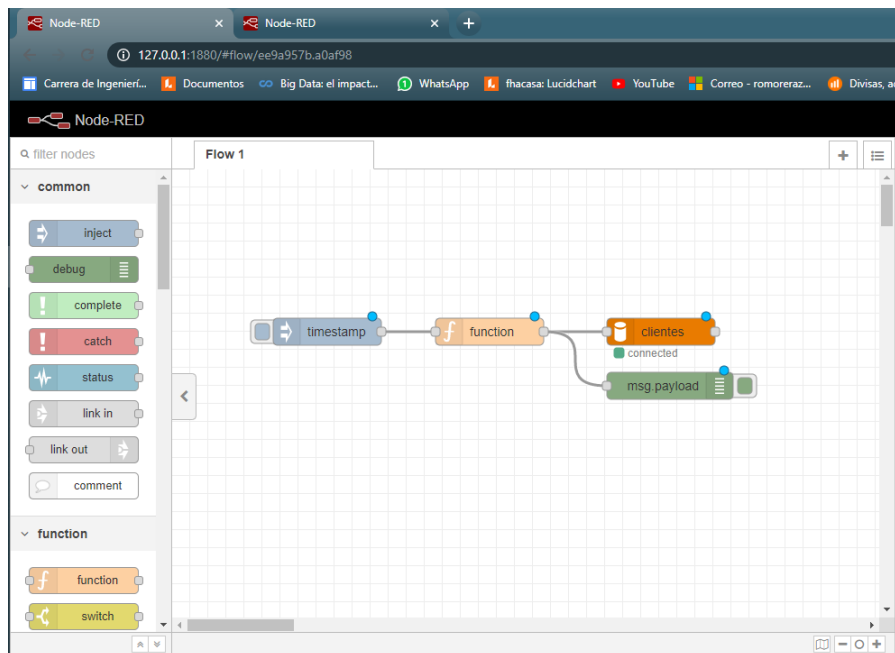
La arquitectura modular de SIMATIC PCS 7 se basa en componentes seleccionados de *hardware* y *software*. La planta PCS 7 está vinculada con la red de información empresarial a través de interfaces estandarizadas basadas en estándares industriales internacionales para el intercambio de datos.

2.8.8. Descripción del Software Node-RED

Node-RED es una herramienta de programación para conectar dispositivos de *hardware*, API y servicios en línea, su programación está basada en bloques o nodos que se interconectan por líneas que se denominan flujos de datos. Este proporciona un editor basado en navegador que facilita la interconexión de flujos con la amplia gama de nodos de la paleta que se pueden implementar en su tiempo de ejecución con un solo clic (Fundación openjsf, s. f.).

Ilustración 9

Edición de flujo basada en navegador (Node-Red)



Fuente: Imagen propia, tomada de la programación en Node Red.

En un bloque se pueden ejecutar funciones de JavaScript que se pueden crear dentro del editor usando un editor de texto enriquecido. La biblioteca incorporada en Node-Red le permite crear y guardar funciones, plantillas o flujos que se pueden utilizar en otros nodos o flujos (Fundación openjsf, s. f.).

2.8.9. Descripción del Software Grafana

Grafana es un *software* de código abierto para análisis y visualización. Este permite consultar, observar, alertar y explorar sus métricas sin importar dónde estén almacenadas. En un lenguaje sencillo, proporciona herramientas para convertir la

información de la base de datos de series de tiempo (TSDB) en gráficos y visualizaciones (Nociones.de, 2018).

Ilustración 10

Entorno gráfico Grafana



Fuente: Nociones.de (2018).

2.8.10. Definición de un PLC

De acuerdo con ISMA (2016): “Un PLC o controlador lógico programable es un dispositivo electrónico utilizados para controlar de forma automática distintos procesos o máquinas. Estos PLC son computadoras capaces de automatizar procesos electromecánicos” (s. p.). Son muy utilizados en muchas industrias y máquinas. Los PLC son de fácil manejo

por el operador, robustos, flexibles y económicos. Un PLC es capaz de ejecutar una acción (por ejemplo, accionar un motor) según la señal que reciba de otro proceso o por la orden de un operador.

2.8.11. Arquitectura Interna de un PLC

De acuerdo con ISMA (2016) un PLC tiene los siguientes bloques:

Unidad central de proceso (CPU): Este bloque es el encargado de consultar el estado de las entradas para que luego extraiga de la memoria del programa los pasos a seguir para elaborar las señales de salida.

Memoria interna: Esta memoria es la encargada de mantener los datos que van surgiendo en los procesos intermedios que luego no se ven reflejados en la salida.

Interfaces de entrada y salida: Establecen la comunicación entre el PLC y la planta o procesos de los cuales recibe información y a los cuales les envía las señales de salida (s. p.).

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

A continuación, se define el tipo de investigación de este proyecto.

3.1.1. Cuantitativa

Se puede afirmar que es una investigación con características cuantitativas porque se utilizan para conocer los valores de energía y producción, así como la eficiencia, las pérdidas y los lugares donde se producen estas últimas, además de los potenciales de su reducción implementando medidas que contribuyan con la reducción del gasto energético y nuevas tecnologías que permiten el monitoreo y seguimiento de estas mejoras. Asimismo, permiten identificar y establecer los indicadores de eficiencia, las metas de reducción de pérdidas y los gráficos de supervisión de energía diarios y mensuales.

3.1.2. Cualitativa

Se conocen las debilidades del sistema de administración energética que posee la empresa. Un sistema de este tipo incluye los procedimientos y procesos que se relacionan con la planificación, compra, transformación, distribución, control y uso final de la energía. Con esto se obtiene un conocimiento más profundo sobre la realidad subjetiva de la necesidad que abarca el proyecto.

3.1.3. Hipótesis

El alto consumo de energía eléctrica en la empresa se debe a la falta de administración, no se conoce el consumo solo la producción, por lo que no se puede medir la eficiencia y no se puede medir las mejoras que se hacen en función del consumo controlado. Este proyecto pretende sentar las bases de una tecnología de administración que permita conocer los consumos y crear tendencias consumo-producción, además, ayudar a conocer las oportunidades de ahorro verificando cuando una acción de mejora tiene consecuencias positivas en la facturación.

Para el desarrollo del proyecto se plantea una serie de estrategias. En la Tabla 2 se enlistan los objetivos y se detalla la estrategia por utilizar para el desarrollo de cada uno.

Tabla 2

Metodología seguida para la conclusión del proyecto

Objetivos específicos	Estrategia
Identificar los diagramas unifilares de la distribución de las cargas eléctricas de la planta y áreas como oficinas, taller de mantenimiento y bodega para una agrupación correcta de las cargas y monitoreo de estas por proceso.	Como punto de partida, se debe analizar la distribución eléctrica de las instalaciones con la finalidad de conocer cómo se encuentran distribuidas las cargas y si están agrupadas por proceso, para esto, se revisarán los diagramas unifilares de las instalaciones, además, se confecciona un diagrama de flujo de los distintos procesos, con esto se comparan ambos esquemas analizando los puntos de medición adecuados para cuantificar el aprovechamiento de la energía.

<p>Agrupar las cargas eléctricas según análisis para que se contabilice la energía por proceso.</p>	<p>Con el análisis que se efectuó en la etapa anterior, se pueden identificar los equipos que se encuentran en tableros eléctricos distintos al proceso que corresponden. Una vez identificados, se define la viabilidad de trasladar estos, reubicando su control y canalizando el cableado de potencia hacia el tablero correspondiente. De no ser posible el traslado, se agregan puntos de medición en estos motores, con el objetivo de sumar la energía consumida al proceso dueño del equipo y restarla al proceso donde está instalado.</p>
<p>Implementar una topología de red de medidores de energía según los procesos que se identifican con mayor oportunidad de ahorro.</p>	<p>Ya definidos los puntos de medición, se diseña una topología de red donde se establezcan las rutas adecuadas del cableado utilizando cable Ethernet categoría 6 con protección al ruido electromagnético (STP CAT6E) y se define una distribución con las direcciones lógicas que cumplan con los requerimientos de la red Ethernet industrial. La topología se crea de forma física y se confecciona un diagrama lógico con el direccionamiento de cada componente en la red con la intención de documentar la red implementada. Se debe cablear la red a los puntos donde se instalan los medidores, en el trayecto se instala un <i>switch</i> (de ser necesario), de forma que no se presenten problemas de direccionamiento con la red industrial existente.</p>
<p>Crear una interfaz hombre máquina (HMI) para el control, monitoreo del consumo energético, indicadores de consumo contra producción y gráficas de tendencia.</p>	<p>Se interroga a los medidores desde la plataforma de control Node-RED por medio de un nodo de comunicación Modbus que se ejecutará, de forma cíclica, cada 5 minutos capturando las variables eléctricas del medidor y se crea una base de datos para almacenar estos valores, estos datos se grafican en el <i>software</i> Grafana. Los valores de totalizadores de energía y el totalizador de producción establecen indicadores de eficiencia a los procesos, cotejando el consumo de energía con la cantidad de materia prima procesada.</p>

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

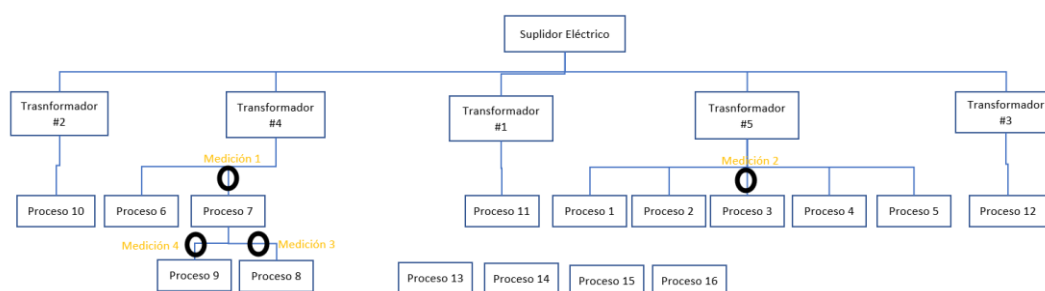
4.1. Análisis de Diagramas Unifilares

Como parte de uno de los objetivos del proyecto, se llevó a cabo un análisis sobre cómo se encuentra la distribución eléctrica de las instalaciones, con estos resultados se obtuvieron insumos para la toma de decisiones en las diferentes etapas del proyecto. La empresa se encuentra suministrada por el proveedor de electricidad ICE, alimentada a través de una acometida de 34.5 kVA, en esta se presenta una red distribución de media tensión que alimenta 3 bancos de transformación trifásicos (150 kVA, 500 kVA y 1000 kVA) y 2 transformadores monofásicos (25 kVA y 100 kVA).

Además, se identifican las fuentes de energía con los que cuenta la planta y se enlistan como procesos, aunque estos no generen un producto final. Asimismo, se determina cuáles fueron los puntos de medición escogidos para el control de los indicadores, en la Ilustración 11 se identifican las fuentes de energía con las que cuenta la planta y se enlistan como procesos, aunque estas no generen un producto final. De igual forma, se determina cuáles fueron los puntos de medición escogidos para el control de los indicadores.

Ilustración 11

Distribución eléctrica de la empresa



Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software Excel.

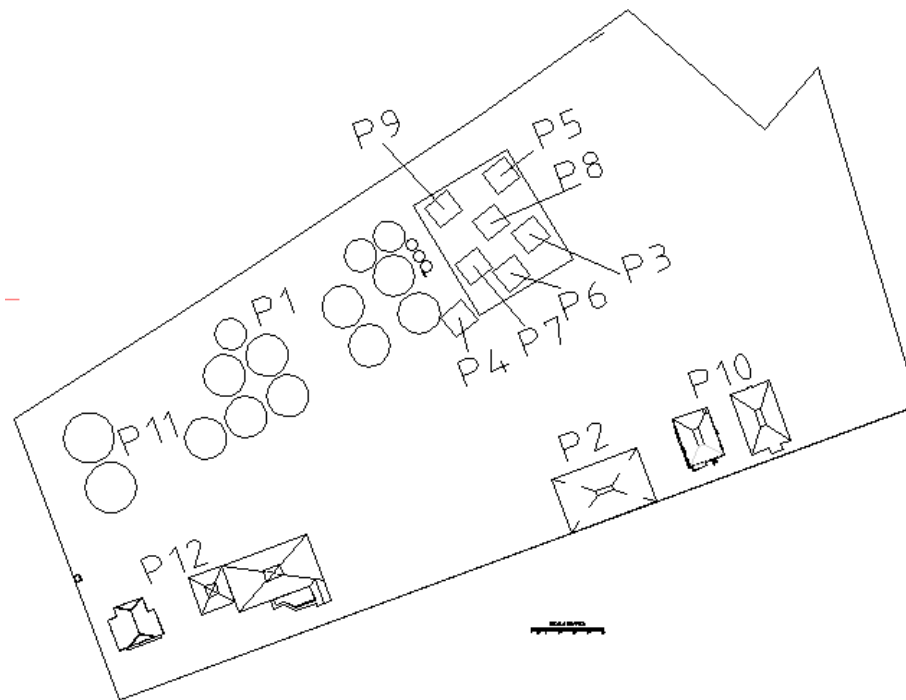
Se lleva a cabo una medición de variables eléctricas y levantamiento de cargas de los distintos tableros eléctricos para establecer una relación entre el consumo energético de cada proceso y la facturación eléctrica. Posteriormente, se efectúa un balance de energía cuantificando las cargas y estimando el uso, para esto, se instalaron durante una semana de producción típica 4 medidores de energía con los que cuenta la empresa en las diversas acometidas de los tableros eléctricos. Con esto se logra cuantificar su representación en la factura contemplando todas las cargas de la distribución eléctrica.

Para identificar los puntos óptimos de medición, se llevó a cabo una revisión del sistema de distribución eléctrica. En esta se identificaron los puntos donde el sistema cuenta con procesos productivos, además del impacto que estos representan en el total del consumo energético, lo anterior permite comparar su consumo en relación con su producción, con lo que se puede definir un indicador de eficiencia energética.

En la Ilustración 12 se detallan las ubicaciones de las distintas actividades dentro de las instalaciones que requieren energía eléctrica. Con esto se logró observar las necesidades de red para la interconexión de la plataforma que se desarrolló, en la Ilustración se identifican los distintos tableros eléctricos con una P y un número consecutivo. En el caso de las actividades Proceso 13, 14, 15 y 16 no son actividades que requieran energía eléctrica por lo que no se toman en consideración para el desarrollo del proyecto.

Ilustración 12

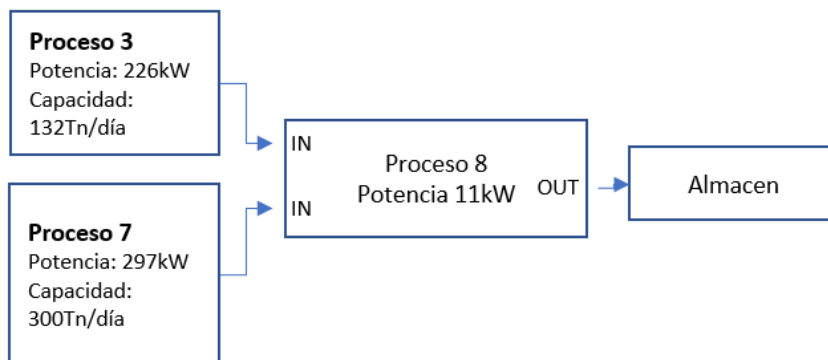
Vista general de infraestructura



Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software BRISCAD.

Para comprender el uso de la energía que se efectúa en cada proceso se lleva a cabo un diagrama de proceso que ejemplifica cómo interactúan las actividades de la planta. Uno de los procesos que interactúan con las diversas actividades de la empresa es el proceso 8, este recibe sus entradas de los procesos 3 y 7 y las transporta a su almacenamiento. En la Ilustración 13 se puede observar la interacción entre las distintas actividades.

Ilustración 13

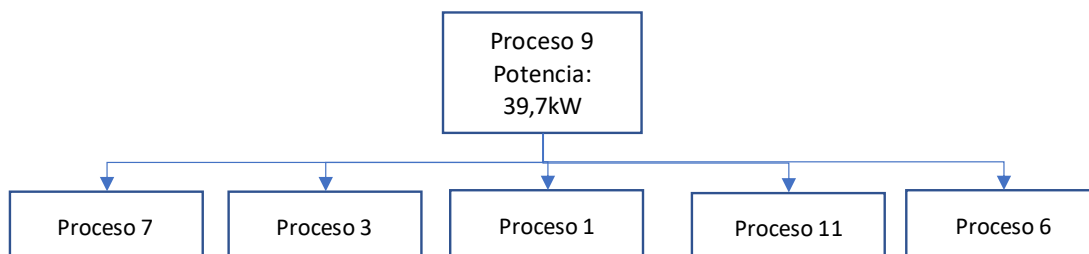
Diagrama de proceso 8

Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software Excel.

Entre las oportunidades de mejora para este proceso se observa maquinaria que es dependiente de más de una actividad como proceso 3 y proceso 7. Estos (proceso 3 y 7) no son dependientes uno del otro, por lo que pueden trabajar bajo necesidades y tiempos diferentes, lo que obliga a operar al proceso 8 a su potencia nominal cuando uno de los procesos que le entrega a este puede estar detenido, lo que puede variar la medida de su necesidad.

En el caso del proceso 9, este interactúa con casi todas las actividades de la planta, en la Ilustración 14, se aprecia que la energía consumida en este proceso se utiliza para muchas actividades a lo largo de la cadena de valor del producto final. Estas se requieren en múltiples actividades, como el aire comprimido y el bombeo del agua, por lo que este proceso requiere operar a su capacidad nominal en cualquier situación donde alguno de los procesos 7, 3, 1, 6 y 11 así lo requieran.

Ilustración 14

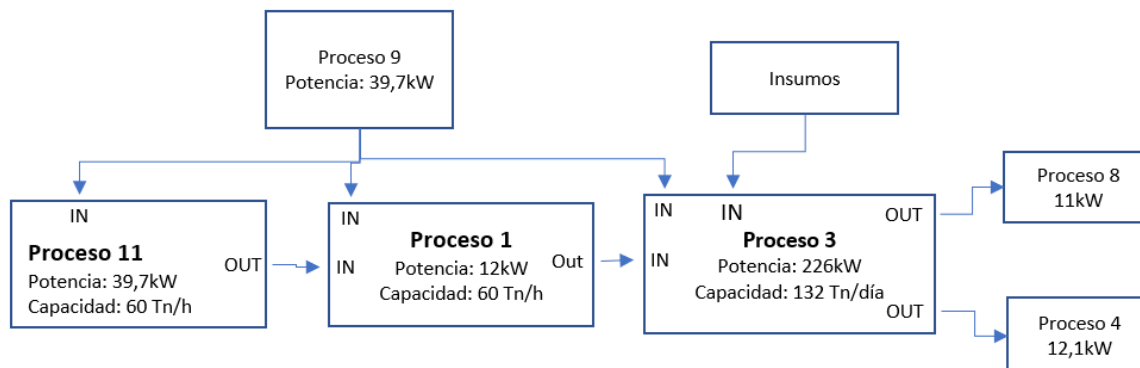
Diagrama del proceso 9

Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software Excel.

Entre las oportunidades de ahorro que se logran apreciar está el desperdicio de aire comprimido que se aprecia en las actividades diarias de los operarios, además de gran cantidad de fugas de aire comprimido en las instalaciones de transporte por su antigüedad. Asimismo, se tiene sistema de bombeo de agua, el cual se mantiene operando durante jornadas en las que no se requiere, como los fines de semana.

En el caso del proceso 3, este se detalla en la Ilustración 15. En este se ingresa una materia prima y la transforma en un producto final, lo que lo hace un proceso donde se puede tener un punto de referencia en cuanto a desempeño. Entre las oportunidades de ahorro encontradas en este proceso se observa que, en ocasiones, los equipos se mantienen operando durante los paros no programados sin generar un producto, o bien los atasques de la línea productiva con duraciones mayores a 20 minutos. Además, se observan quipos para generación de aire que generan un excedente, lo que obliga a que el equipo lo descargue en el ambiente.

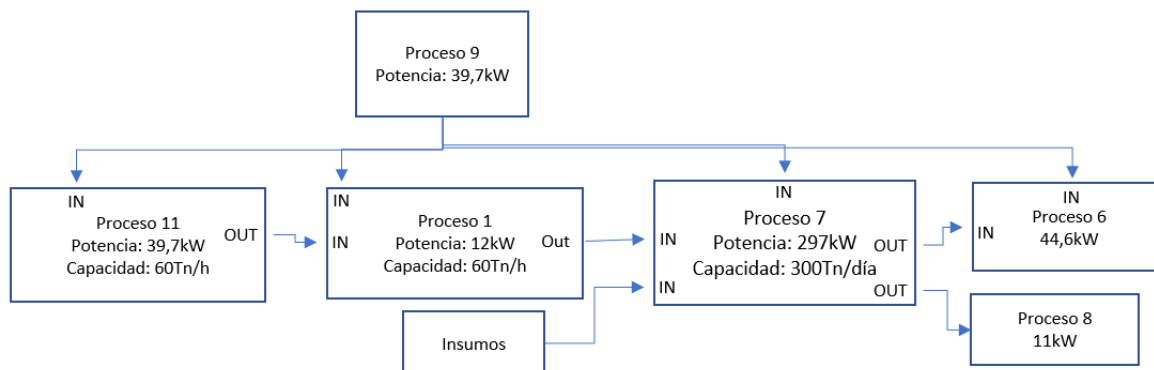
Ilustración 15

Diagrama del proceso 3

Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software Excel.

Para comprender el uso que se presenta en el proceso 7 se lleva a cabo el diagrama de la Ilustración 16, donde se describen las entradas y salidas que este contiene. Como oportunidades de mejora para este proceso se identifican equipos sobredimensionados, esto se debe a rediseños pasados, donde se disminuyen cargas a un motor de 200 HP y no se contempla el cambio de este motor quedando a un 50 % de carga respecto a su capacidad. Además, se observan, al igual que en el proceso 3, equipos operando durante paros no programados durante más de 20 minutos debido a atasques del proceso.

Ilustración 16

Diagrama de proceso 7

Fuente: Imagen diseño propio, elaborado con el software Excel.

En el caso del proceso 7 este transforma la materia prima en un producto final. Además, depende de otros procesos para su funcionamiento, transforma sus entradas en salidas y pasa por un procesamiento de la materia hasta generar un producto final. Este puede hacerse más eficiente a través de buenas prácticas operativas, además de controles operacionales. Después de llevar a cabo una revisión de las cargas eléctricas y su aporte a la facturación eléctrica se identifican los beneficios de esta labor en la Tabla 3

Tabla 3

Comparación de antes y después de la implementación del sistema d monitoreo energético

Antes	Después
Se desconoce cómo estaba distribuido el sistema eléctrico	Se identificaron las cargas de los distintos tableros eléctricos y su acometida, esto permitió identificar fácilmente cada proceso y el punto correcto de medición de variables eléctricas.
No existe un listado de cargas por tablero para caracterizar el proceso que alimenta.	Se identificaron los tableros y se analizó cómo el proceso productivo encierra todos los equipos en los distintos.
Se desconoce los lugares idóneos en el diagrama eléctrico donde se pueden instalar los puntos de medición de energía	Se identificaron los puntos donde se colocaron los medidores de energía que permiten definir indicadores de desempeño energético.

Fuente: Diseño propio.

4.2. Agrupación de las Cargas Eléctricas

La compañía cuenta con centros de control de motores en distintas ubicaciones en las instalaciones. Para cumplir con el objetivo de agrupación de las cargas eléctricas se lleva a cabo un balance de energía y se identifican los procesos que pueden conformarse como IDEN.

La determinación de los IDEN se estableció con la razón entre la oportunidad de ahorro multiplicado por la facilidad de medición que tiene el proceso. Esto, a la vez, se multiplica por el porcentaje de consumo energético que representa en la facturación. En la Tabla 3 se identifican los usos significativos potenciales para dar seguimiento y en la Tabla 5 y la Tabla 6 se detallan los criterios de factibilidad de medición y oportunidad de mejora.

Tabla

4

Usos significativos potenciales del IDEN

USE	Porcentaje en el consumo energético	Facilidad de medición	Oportunidad de mejora	Resultado
Proceso 1	0.51 %	1	1	0.51 %
Proceso 2	5.69 %	1	1	5.69 %
Proceso 3	23.02 %	3	1	69.07 %
Proceso 4	1.72 %	1	1	1.72 %
Proceso 5	0.35 %	2	2	1.39 %
Proceso 6	6.34 %	1	1	6.34 %
Proceso 7	42.29 %	3	1	126.87 %
Proceso 8	1.56 %	3	2	9.39 %
Proceso 9	5.64 %	3	3	50.75 %
Proceso 10	2.37 %	2	2	9.47 %
Proceso 11	2.68 %	1	1	2.68 %
Proceso 12	1.50 %	1	2	3.00 %
Proceso 13	3.29 %	3	3	29.59 %
Proceso 14	0.05 %	3	1	0.16 %
Proceso15	0.14 %	3	1	0.41 %
Proceso16	0.04 %	3	1	0.11 %

Fuente. Definición de usos significativos.

Para la identificación de los puntos de medición que deben monitorearse se confecciona la matriz de definición de usos significativos. Esta última utiliza las rúbricas de nivel de facilidad de medición y nivel de oportunidad de mejora que se considera para cada proceso, las cuales se describen en las tablas siguientes:

Tabla 5

Facilidad de medición y nivel de oportunidad de mejora

Ponderación	Descripción
1	No se cuenta con medidores instalados.
2	Existen medidores instalados, sin embargo, no se cuenta con el registro de datos en el sistema o datos de consumo. Se cuenta con una medición parcial o indirecta en un proceso específico.
3	Existen medidores instalados para el proceso único y se toman datos en el sistema. Se cuenta con datos de consumo.

Fuente. Nivel de facilidad de medición.

Tabla 6

Oportunidad de mejora en el uso de USE.

Ponderación	Descripción
1	No existen oportunidades de mejoras o la inversión es demasiado alta.
2	Es posible llevar a cabo mejoras en el proceso o requiere mucha inversión.
3	Es posible llevar a cabo mejoras en el proceso y requiere poca inversión.

Fuente: Diseño propio, elaborado con el software Excel

Según el análisis realizado se determinó que las acometidas potenciales a la medición son el Proceso 3 en la línea de distribución del transformador 2, las acometidas de Proceso 7, Proceso 8 y Proceso 9 en el sistema de distribución del transformador 1 tiene la mayor ponderación. Para definir los indicadores primero se requirió determinar si existe una correlación entre la producción y el consumo de energía, esto se debe a que el indicador por definir debe normalizarse. Como lo establece la norma ISO-50006, se crea un patrón de comparación que permita tener referencia para determinar su desempeño.

Por lo anterior, se requirió comparar cuán relacionado está el proceso a las distintas variables que lo afectan y a partir de esta relación se identificó un patrón de comportamiento. Además, se determinó la correlación de las variables energía y producto. Para esto, se efectuó un registro de datos cada 15 minutos de los totalizadores

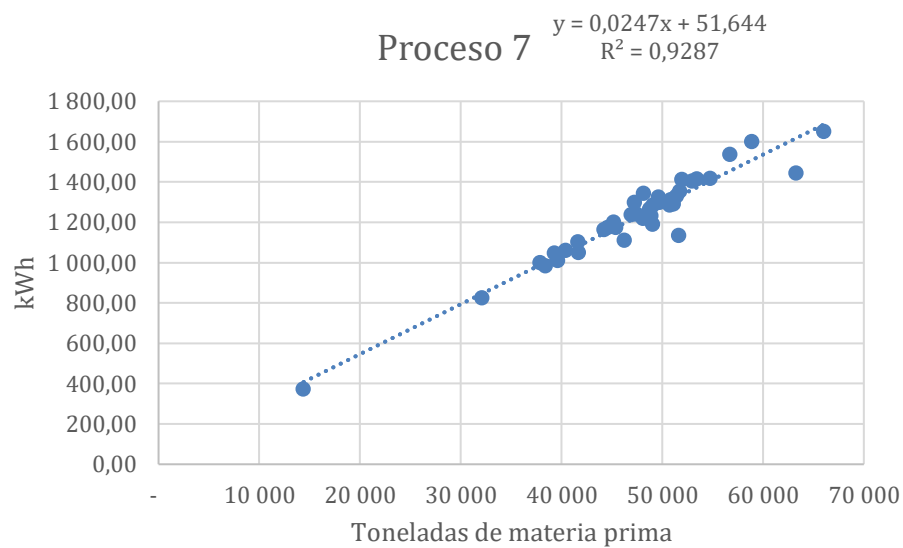
de los equipos de medición de producto y medidores de energía, con ellos se llevó a cabo un análisis estadístico en Microsoft Excel y se comprobó que el consumo de energía es directamente proporcional. Se tomaron los datos de marzo a diciembre del periodo 2020, los cuales se detallan en los Anexos.

En cuanto a la producción y consumo de energía, es posible calcular cuánta energía se consumirá a partir de la producción requerida, siempre y cuando las variables sean significativas. Con esto se puede dar seguimiento del desempeño energético, además, es posible estimar el costo del producto y la rentabilidad de este, por eso, se hizo análisis de correlación de las variables en cada proceso.

Para el Proceso 7 se analizaron los datos de producción y energía, en el Gráfico 2 se aprecia que a medida que se incrementa la producción aumenta el consumo energético y tiene una relación directamente proporcional. Además, se apreció que las variables producto y energía presentaron un comportamiento lineal.

Gráfico 2

Relación consumo producción Proceso 7



Fuente. . Diseño propio, elaborado con el software Excel.

Una vez encontrada la correlación, se llevó a cabo una regresión lineal para determinar cuán posible es el predecir el consumo energético a partir de un número de producción requerida. Para esto, se usaron las fórmulas de regresión en Microsoft Excel y los resultados se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

Regresión de producto vs energía proceso 7

<i>Regression Statistics</i>				
Multiple R	0,95			
R Square	0,92			
Adjusted R Square	0,92			
Standard Error	2 565 016			
Observations	32			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	7683209,16	2416809,975	3,18	0,0034
X Variable n.º 1	31643,12	1909,66	16,57	1,209E-16

Fuente. Esta tabla muestra la regresión de producción contra consumo que se elaboró a partir de los datos medidos de energía de Proceso 7.

Se observa que existe una correlación al obtener como resultado de R^2 es superior a 0.9 esto indica que se puede predecir el consumo energético con la variable materia prima y es significativa para el proceso. Con la determinación de los valores de intercepción se determina la ecuación para estimar la energía esperada (1).

Estimación de energía esperada proceso 3

$$y = m * x + b \quad (1)$$

Donde.

y= Energía estimada, m= Pendiente, x= Producción, b= Intercepción

Para estimar la energía que se consume se utilizó los valores de la intercepción y pendiente de la Tabla 7.

Ecuación 1

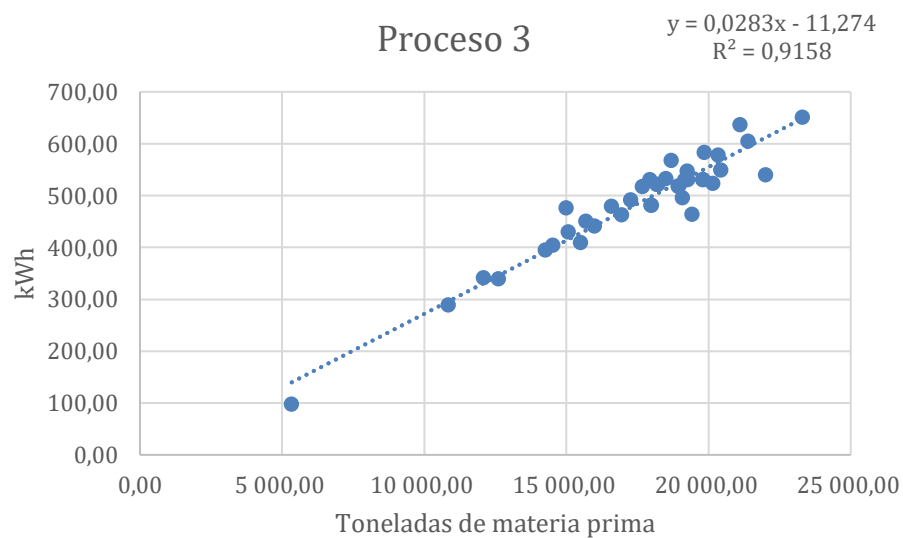
Energía esperada proceso 3

$$\text{Energía esperada} = \text{Producción} * 31643,12 + 7683209,16 \quad (2)$$

Para el Proceso 3 se analizan de la misma manera. Las variables energía y materia prima brindan la mayor correlación, según el Gráfico 3.

Gráfico 3

Relación consumo producción Proceso 3



Fuente. Diseño propio, elaborado con el software Excel.

En el caso del Proceso 3, se aprecia que el trigo y la energía son variables con una relación directamente proporcional y con un R^2 de 0.91.

Tabla 8

Regresión de producto vs energía proceso 3

<i>Regression Statistics</i>				
Multiple R	0,96			
R Square	0,91			
Adjusted R Square	0,91			
Standard Error	2 404 480,31			
Observations	32			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	7 586 778,27	2256536,48	3,36	0,0021
X Variable n.º 1	42 058,60	2363,77	17,79	1,73E-17

Fuente: Elaboración propia, elaborado con el software Excel.

Los valores de intercepción se definieron según la Ecuación (2), la cual resulta de la regresión para las variables de Proceso 3 obteniendo como resultado la ecuación (3).

Ecuación 2

Estimación de energía esperada proceso 3

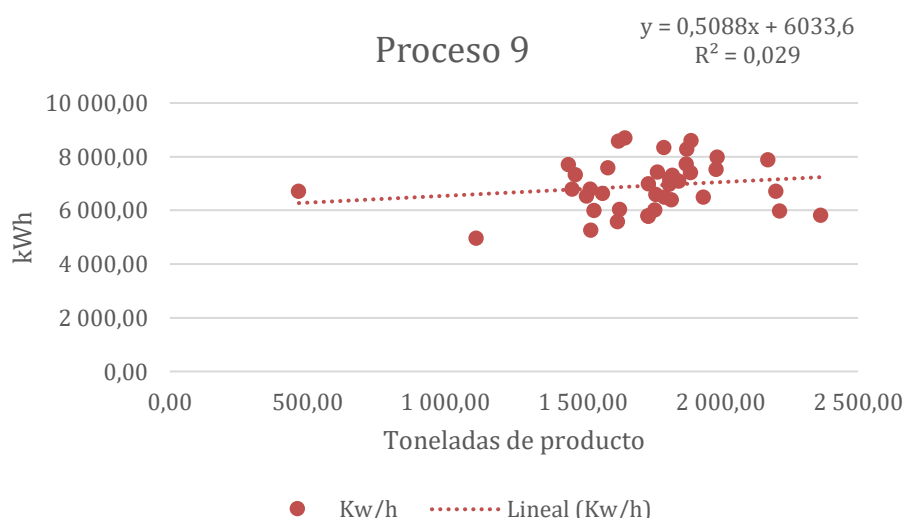
Donde.

$$\text{Energía esperada} = \text{Producción} * 42058,60 + 7586778,27 \quad (3)$$

Se llevó a cabo un análisis de correlación del consumo de energía del Proceso 9 con las diversas variables que interrelacionan con el proceso obteniendo resultados desfavorables. En el Gráfico 4 se aprecia una R^2 de 0.029, lo que indica que la variable no es significativa para el proceso.

Gráfico 4

Energía consumida por Proceso 9



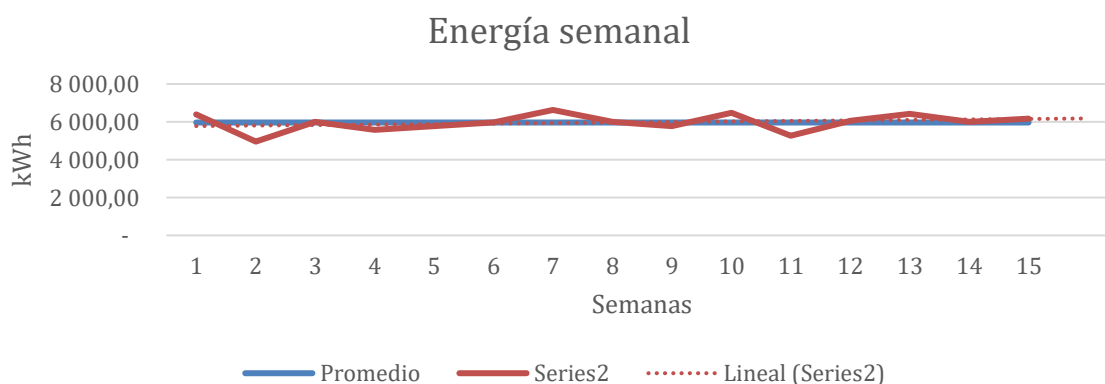
Fuente. Diseño propio, elaborado con el software Excel.

Para determinar una correlación en el consumo energético de este proceso y su uso, se llevó a cabo un análisis con las diversas variables con las que podría relacionarse, como se desglosa en los Anexos. Al ser este un proceso que interactúa con diversas actividades de toda la compañía, no se identifica una variable que sea significativa para este, obteniendo R^2 con valores inferiores a 0.5, lo que significa que el proceso no es predecible con base en su uso, según se aprecia en el Gráfico 1. Ante esto, se analizan los consumos en el tiempo, para esto, se grafica el consumo al eliminar los valores que son atípicos como Semana Santa o semanas que presenten fines de semana largos y que

no reflejen el comportamiento normal del proceso. En este análisis se observó que es constante su consumo, por lo que se estableció como línea base un valor de consumo promedio semanal, esto permite contar con un patrón de referencia que le permita determinar el desempeño, en el Gráfico 5 se aprecia el resultado obtenido.

Gráfico 5

Consumos Proceso 9



Fuente. Diseño propio, elaborado con el software Excel.

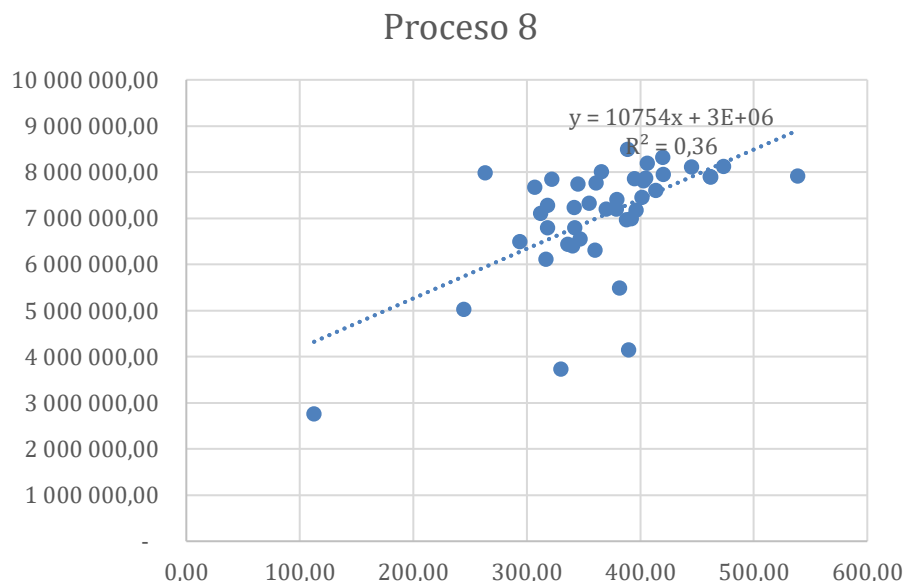
Según el comportamiento reflejado en el consumo histórico de los datos que se recabaron en los Anexos se identificó un consumo promedio de 5965,4 kWh. El comportamiento presenta una desviación estándar semanal de 455,kWh en los datos, esto genera un valor porcentual referente al promedio del 7 % de desviación, por lo que se define como límites superior e inferior de este IDEN la desviación estándar de los datos de línea base como patrón de desempeño.

Para el Proceso 8 se presenta el mismo comportamiento, las variables identificadas que podrían ser relevantes al proceso como producción, subproducto y reproceso, no generan una

relación directa con el consumo. En el Gráfico 6 se aprecia que las variables son muy distintas una de otra.

Gráfico 6

Relación energética-proceso de Proceso 8



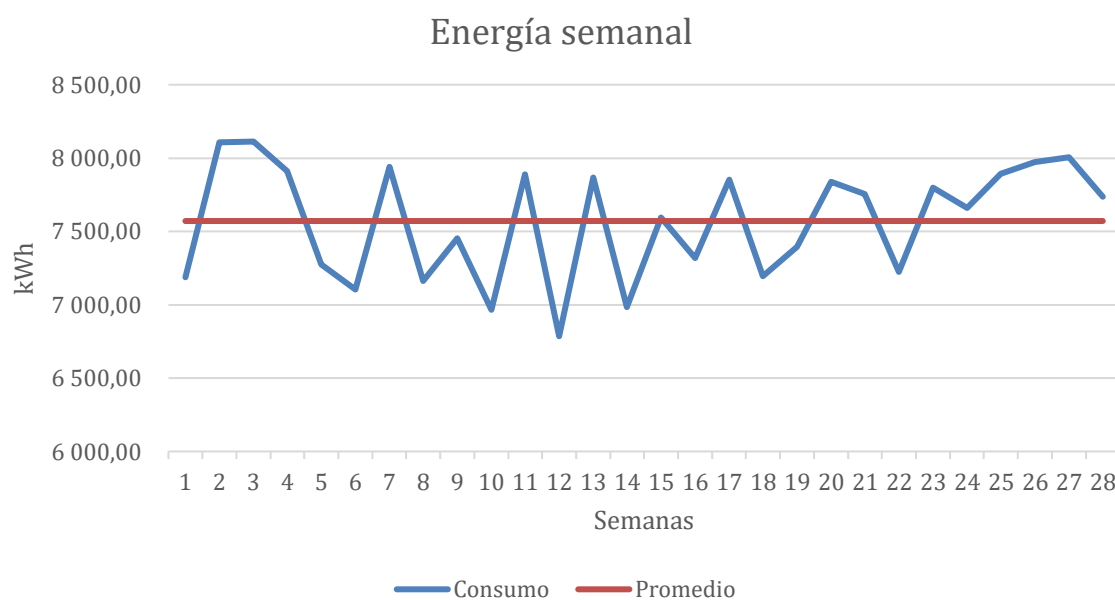
Fuente. Diseño propio, elaborado con el software Excel.

Al contar con un R^2 de 0.36 las variables no son relevantes para el proceso, por lo que no se tiene una referencia identificada para predecir el comportamiento ni un patrón de referencia que brinde un resultado de desempeño. Como análisis, se grafica el comportamiento del consumo de energía en el tiempo observando que este es constante, por lo que se determinó un valor promedio de energía como línea base, el cual es de 7570876,11 kWh, en los Anexos se detalla el historial de consumo y el valor promedio obtenido. Los datos de consumo presentan una desviación estándar de los valores de 381273,75 kWh, lo que representa un 5.04 % del valor promedio, esto generó un valor

de referencia para comparar su consumo definiendo su desempeño en el futuro. En el Gráfico 7 se aprecia el comportamiento del proceso.

Gráfico 7

Consumo energético de Proceso 8



Fuente. Diseño propio, elaborado con el software Excel.

Una vez realizado el balance de energía para los diversos procesos productivos y la regresión junto con sus líneas base de los usos significativos, se lleva a cabo la Tabla 9 donde se analiza la situación antes y después del objetivo.

Tabla 9

Comparativo del antes y después

Antes	Después
Se desconocía si existe posibilidad de ahorro en los procesos	Se identificaron los procesos productivos que presentan potencial de ahorro, como se aprecia en los resultados de la Tabla 4.
No se conocía si existe una relación entre la producción y el consumo de energía.	Se establece una metodología que permite a la empresa predecir el consumo de energía a partir de la producción requerida por sus clientes de acuerdo con el resultado de la Ecuación 1.
Se conocen oportunidades de ahorro en energía, pero no se conoce el aporte en la facturación que los diversos procesos aportan al recibo de electricidad.	Se identificaron las oportunidades de ahorro, se pueden brindar planes de trabajo para el proceso de ahorro energético cuantificando su representación porcentual en el global energético. Esto se aprecia en los resultados de la Tabla 4
El consumo de energía para la elaboración del producto se conoce al recibir la facturación eléctrica del proveedor, la cual se obtiene días después de finalizar el mes.	Con la identificación de las variables significativas más relevantes en el consumo de energía y la definición de la oportunidad de ahorro según Tabla 4, se pueden generar metas de ahorro y seguimiento al desempeño, mediante un indicador de eficiencia energética al proceso con la Ecuación 1
No se cuenta con un punto de referencia para establecer un desempeño.	Se crea un punto de referencia para el control del desempeño de los procesos más importantes, este se compara con producto o con históricos de consumo.

Fuente. Diseño propio

4.3. Selección y Descripción del Sistema de Captura de Datos

Para llegar a una solución, se investigó sobre diferentes *softwares* de diseño de Scada, de los cuales se hace una tabla comparativa con las ventajas y desventajas que presenta cada uno. En la Tabla 10 se describen tres *softwares* que son opciones para el desarrollo del proyecto, WinCC, Labview y Node-RED, y se determina que el sistema que cuenta con más ventajas es el *software* Node-RED.

Tabla 10

Comparativa de la solución.

Software	Ventajas	Desventajas
WinCC	<ul style="list-style-type: none"> ● Fácil acceso a las licencias. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Versión instalada del <i>software</i> es muy antigua.
Labview	<ul style="list-style-type: none"> ● Fácil integración con terceros. ● Programación basada en bloques de funciones, permite una mayor facilidad de visualización. ● Es un <i>software</i> innovador. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alto costo de las licencias.
Node-RED	<ul style="list-style-type: none"> ● Programación basada en bloques de funciones. ● El diseño de programación es modular. ● No requiere licencias, es gratuito. 	<ul style="list-style-type: none"> ● La API de Nodo tiene la inestabilidad de cambiar en formas que rompen la compatibilidad hacia atrás de versión en versión, lo que requiere que se apliquen cambios frecuentes en el código para mantener todo funcionando en las versiones más actuales.

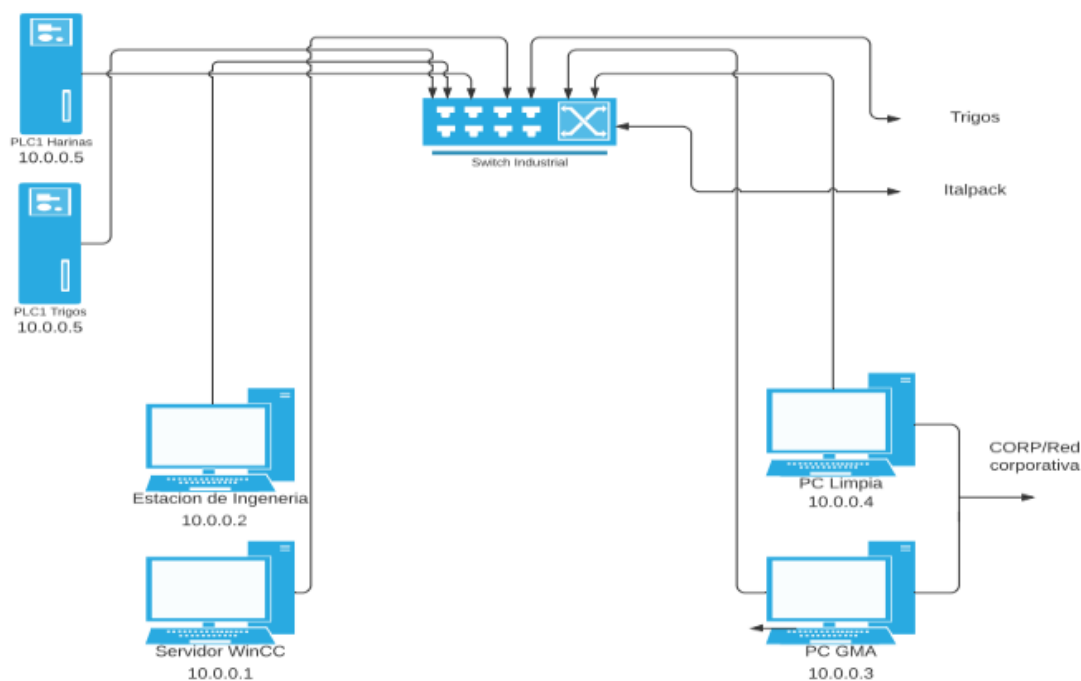
Fuente. Diseño propio.

4.4. Diseño de Topología de Red

Uno de los objetivos de este proyecto es interrogar los medidores que se instalaron en diferentes procesos. Para esto, fue necesario rediseñar la conexión LAN Ilustración 17 con que contaba la empresa, ya que, no a todos los puntos donde se deseaba medir existía disponibilidad de red. Lo primero fue crear una tabla con las direcciones lógicas de los dispositivos nuevos que se implementaron, también fue necesario identificar los *switches* más cercanos a los puntos de medición y hacer la instalación del cable de red.

Ilustración 17

Representación de la conexión LAN de la empresa



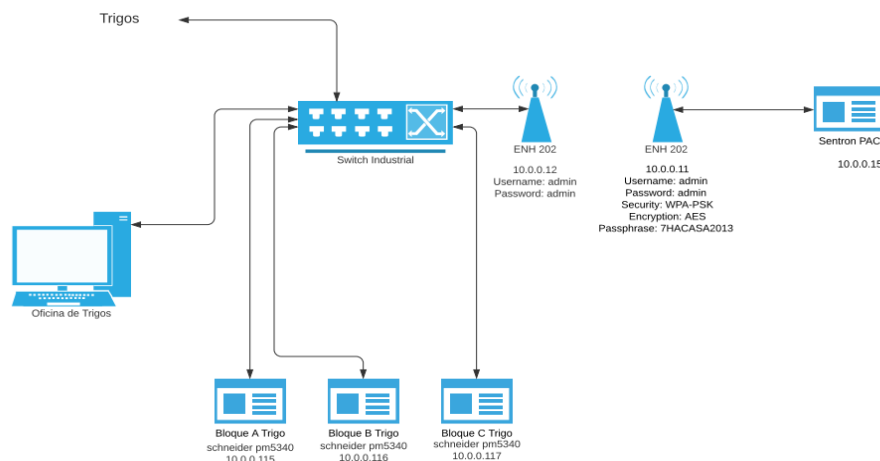
Fuente. Diseño propio, elaborado utilizando software lucidchart.

En la Ilustración 17 se puede apreciar la conexión original con la que contaba la empresa, el *switch* principal se ubica en las oficinas de control, el cual se encuentra en el primer piso de la planta y está muy alejado de los demás dispositivos y medidores. Además, contaba con pocas conexiones con las computadoras de control y los PLC, así que se extendió hacia dos puntos, italpack, trigos y oficinas, donde se tenía acceso a los demás dispositivos que se necesitaba conectar.

Para incorporar los medidores que se instalaron en los tableros ubicados en Proceso 1 y Proceso 2 a la red, se llevó a cabo un segmento de red inalámbrico que pudiera interconectar los dispositivos al sistema de captura de datos, por lo que se instalaron dos antenas de red wifi que permitiera esta interconexión como se aprecia en la Ilustración 13.

Ilustración 18

Conexión de red en trigos y oficinas

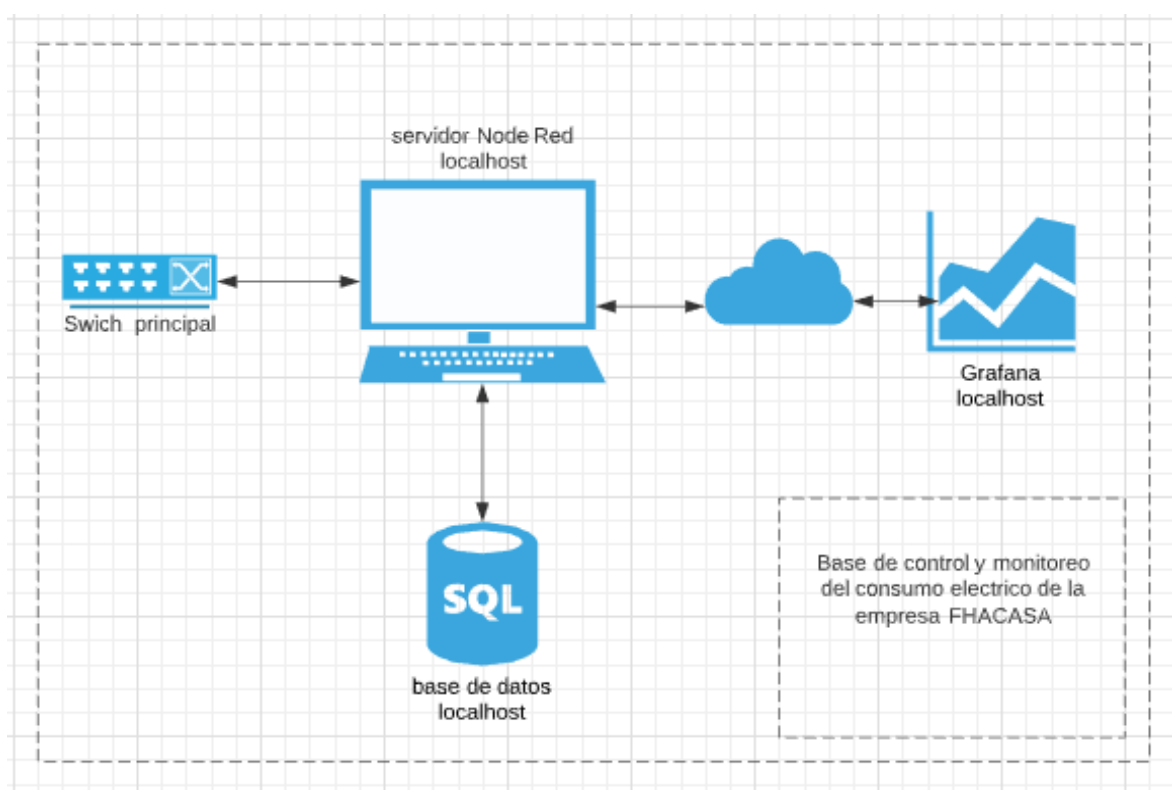


Fuente: Imagen diseño propio, software utilizado lucidchart.

En la Ilustración 11 se aprecia la conexión a los servidores de Node-RED, Grafana y MySQL fueron conectados al *switch* principal. Al usarse como localhost fue necesario que estuvieran conectados a la red LAN para interactuar con los dispositivos de campo como los medidores y las básculas.

Ilustración 19

Conexión a los servidores de Node-RED, Grafana y MySQL



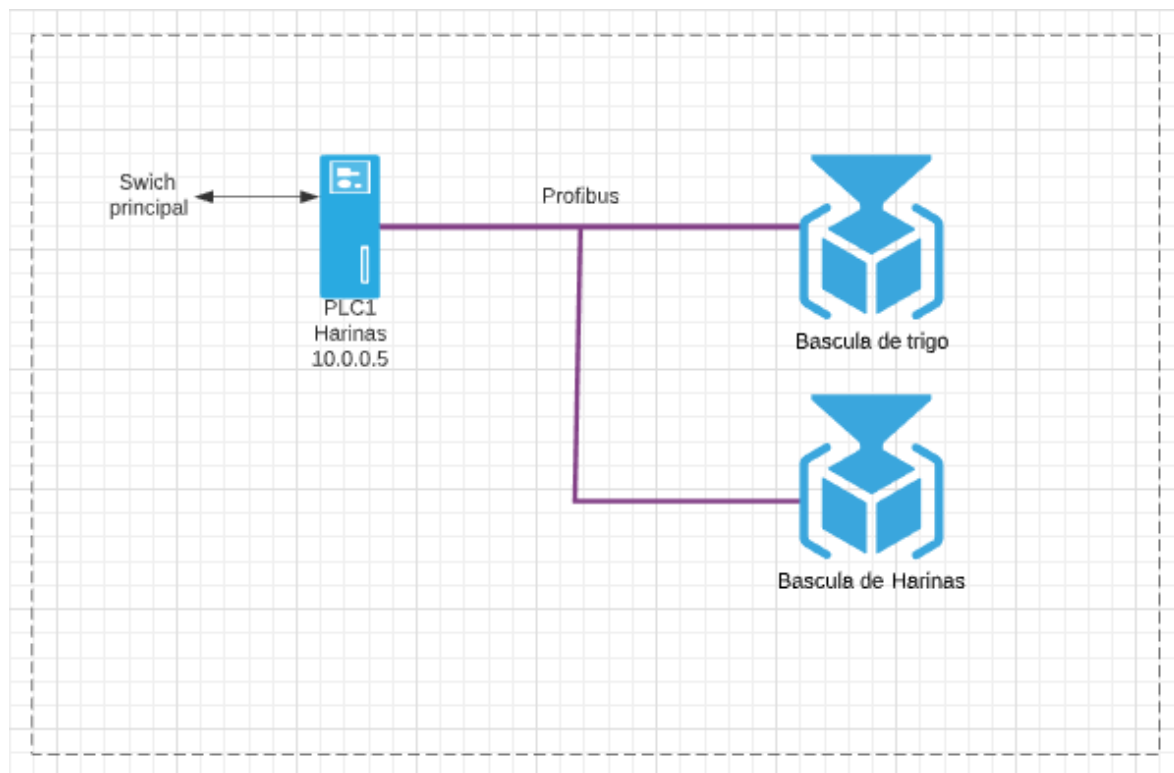
Fuente. Ilustración control y monitoreo imagen de diseño propio, software utilizado lucidchart.

Uno de los datos más importantes son los valores de producción, ya que dan un punto de referencia en cuanto a consumos energéticos vs producción. Los elementos que proporcionan los valores de producción son las básculas, estos se incorporaron a la red

mediante el PLC con el que cuenta la compañía, estas máquinas se comunican por el protocolo Profibus, así se puede apreciar en la Ilustración 15.

Ilustración 20

Conexión de red Profibus



Fuente: Imagen propia, software utilizado lucidchart.

Una vez realizada la interconexión de los dispositivos y documentada en diagramas de conexiones para el seguimiento y futuras actualizaciones, se efectúa un análisis de los logros realizados. Estos análisis se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11

Análisis de antes y después de la implementación de la red

Antes	Después
La captura de los datos debe ser manual, esto documentado en un registro de seguimiento.	Con la interconexión de los datos se evitó el recopilarlos manualmente, ya que se le deja a la industria un sistema de recopilación y almacenamiento de datos que permite consultar y brindar resultados de históricos de consumo en función de la elaboración del producto final.
No se cuenta con una visualización en tiempo real del consumo energético de los distintos procesos.	Se permite ver en tiempo real el consumo energético en función de la elaboración del producto final o su historial para los USE, lo cual permite la toma de decisiones oportunas.
El diagrama lógico de dispositivos en la red Ethernet se encuentra desactualizado.	Se actualiza la lista de los dispositivos conectados en la red y se agregan los nuevos medidores.

Fuente. Elaboración propia.

4.5. Creación de la Interfaz Hombre Máquina

Unos de los pasos concluyentes en este proyecto es la interfaz hombre máquina (HMI), esta se creó en el *software* Grafana y a continuación se explica el proceso. La importancia de un monitoreo de energía en una empresa recae en cómo se administra esta, con el objetivo n.º 4 se demuestra la importancia y beneficios de optimizar el consumo energético.

En la Ilustración 21 se pueden ver los datos que se recolectan a partir de los medidores de energía. Esto se logró graficando los datos con la aplicación Grafana, de

esta manera, se puede ver el histórico de la energía consumida de una forma estructurada y accesible.

Se creó una pantalla de gráficos y tablas para cada proceso medido, Proceso 7, Proceso 3, Proceso 9 y Proceso 8, en lo siguiente se ve a detalle cada pantalla y cómo impactó, de forma positiva, el análisis energético.

En la Ilustración 21 se puede apreciar la relación que se genera entre kWh consumido vs producto de trigo terminado para el Proceso 7, esto da una relación muy importante porque indica el costo de producción y así se determina cuán eficiente es el proceso. Con esto se crea una referencia en el futuro donde se puede analizar como dato estadístico si los procesos mejoran, o bien si necesita ajustarse para subir la eficiencia de producción. Además, se tiene un control sobre cómo opera la planta y si hay alguna anomalía, también se hizo un sistema de alarmas que indica cuándo hay consumos fuera de los rangos normales de operación.

Ilustración 21

Indicadores de desempeño Proceso 7



Fuente. Imagen propia, tomada desde el *software* Grafana.

El HMI del Proceso 3 también cuenta con indicadores de energía y producción (Ilustración 22), la gráfica de potencia en esta Ilustración permite ver lo estable que es el proceso de molienda en toneladas *vs* energía a partir de los valores de trigo y energía capturados en el sistema, lo cual se puede apreciar en la tabla de histórico por semana. Por otra parte, se muestra la gráfica de voltaje se debe a la que se presenta en la acometida y que repercute en la de potencia y corriente.

Ilustración 22

Pantallas monitoreo de energía Proceso 3



Fuente. Imagen propia, tomada desde el *software* Grafana.

El Proceso 8 es diferente a los dos anteriores, en este solo se ve la energía consumida. Al ser un proceso donde no hay producto terminado no se lleva a cabo la comparación con producto, en este solo se controla el desempeño de acuerdo con el histórico comparándolo con la línea base.

Ilustración 23

Pantallas de monitoreo de energía Proceso 8

Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Grafana.

Para el seguimiento del desempeño al Proceso 9 se creó una pantalla de seguimiento al desempeño. Esta área se encarga de suministrar insumos a toda la planta y es uno de los procesos más críticos e importantes de medir y esto se refleja muy bien en las gráficas de esta área. En la Ilustración 24 se ve cómo fluctúa la gráfica de potencia con respecto a otros procesos.

Ilustración 24

Pantalla de monitoreo de Proceso 9



Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Grafana.

4.6. Cómo se Obtienen los Datos

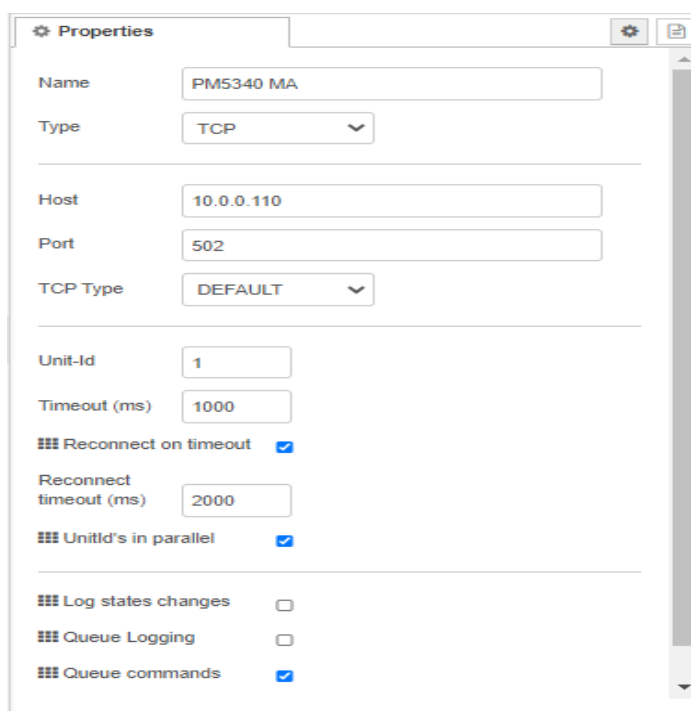
Los datos se capturaron de los medidores de energía instalados en los procesos por medio del *software* Node-RED a través de la comunicación Modbus. La información que se obtuvo de estos medidores como voltajes, frecuencias, potencias, entre otras, se guarda en registros dentro del dispositivo. Para tener acceso a esta información con el *software* Node-RED se debieron configurar ciertos nodos.

El nodo Modbus Flex Getter permitió hacer consultas múltiples al dispositivo Modbus, en este caso a los medidores, de forma que solo es necesario un bloque para

leer los registros necesarios del esclavo Modbus. Esto ayuda a simplificar la programación y evita saturar la red. Para su configuración se debe establecer un nombre para la conexión, seguidamente se indica el tipo de conexión que sería TCP, la dirección de host y puerto del dispositivo Modbus, así como la iunit-id para identificar cuántos dispositivos hay en la red como se indica en la Ilustración 25.

Ilustración 25

Propiedades de nodo Modbus



The screenshot shows a 'Properties' dialog box for a Modbus node. The fields are as follows:

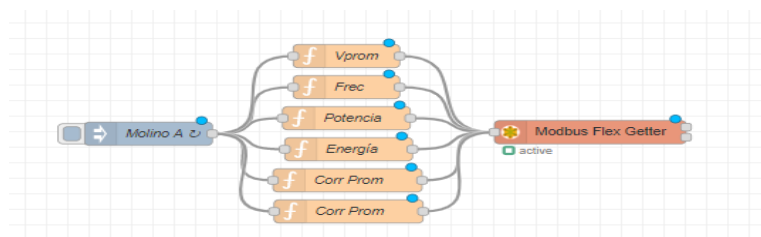
- Name:** PM5340 MA
- Type:** TCP
- Host:** 10.0.0.110
- Port:** 502
- TCP Type:** DEFAULT
- Unit-Id:** 1
- Timeout (ms):** 1000
- Reconnect on timeout:** ☒
- Reconnect timeout (ms):** 2000
- Unitid's in parallel:** ☒
- Log states changes:** ☐
- Queue Logging:** ☐
- Queue commands:** ☒

Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Node-RED.

Para llevar a cabo la consulta de múltiples valores a un esclavo se debe crear un nodo función por cada dispositivo y enlazarlo al nodo Modbus Flex Getter, como se aprecia en la Ilustración 26.

Ilustración 26

Nodo de función

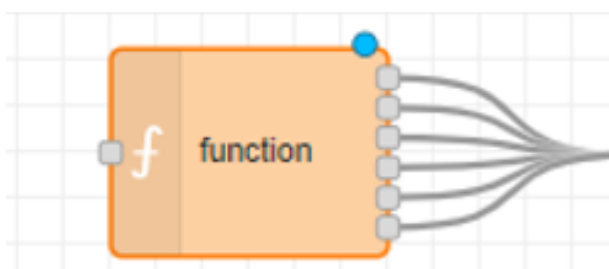


Fuente. Ilustración tomada desde el software Node-RED.

Cada bloque de función se relaciona con un registro del dispositivo, este se debe configurar con el código de función, la unidad del dispositivo, la dirección del registro y el tamaño de bytes que posee el registro (ver Ilustración 20).

Ilustración 27

Conexión de dispositivo Modbus en la red



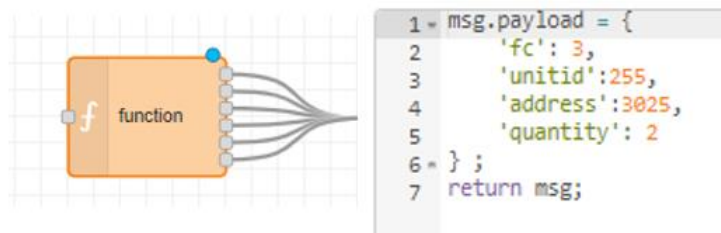
Fuente. Ilustración tomada desde el software Node-RED.

El nodo función obtiene un bus de datos que viene del nodo Modbus Flex Getter. Este bus de datos contiene la información de todos los registros que se consultaron, por lo que hay que trabajarlos para obtener datos separados. En la Ilustración 27 se ve el código en el que se separan los registros por medio de un *case*, cada *case* se ejecuta

cuando reconozca el número de registro y se guarda el valor de este registro en una variable específica y así para registro.

Ilustración 28

Programación del nodo función



Fuente. Ilustración tomada desde el software Node-RED.

Ilustración 29

Programación del nodo

```

1 = switch (msg.modbusRequest.address) {
2   case 3025: // Voltaje promedio
3     const buf1=Buffer.from(msg.responseBuffer.buffer);
4     const V1 =buf1.readFloatBE();
5
6     //var V1=msg.payload[0]*Math.pow(2,16)+msg.payload[1];
7     var msg1={topic:"V1",payload:V1};
8     break
9
10  case 3109: // Frecuencia
11    const buf2=Buffer.from(msg.responseBuffer.buffer);
12    const F =buf2.readFloatBE();
13    //var F=msg.payload[0]*Math.pow(2,16)+msg.payload[1];
14    var msg2={topic:"F",payload:F};
15    break
16
17  case 3059: // Potencia
18    const buf3=Buffer.from(msg.responseBuffer.buffer);
19    const P =-1*buf3.readFloatBE();
20
21    //var P=((msg.payload[0]*Math.pow(2,16))+msg.payload[1]);
22    var msg3={topic:"P",payload:P};
23    break
24

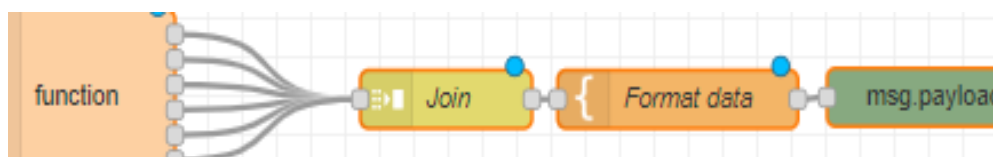
```

Fuente. Ilustración tomada desde el software Node-RED.

Una vez separado el bus de datos en los registros se debe hacer una secuencia para enviar todas las variables a la base de datos, para esto, se usa el nodo Join que permite agrupar varios mensajes y crear una sola secuencia.

Ilustración 30

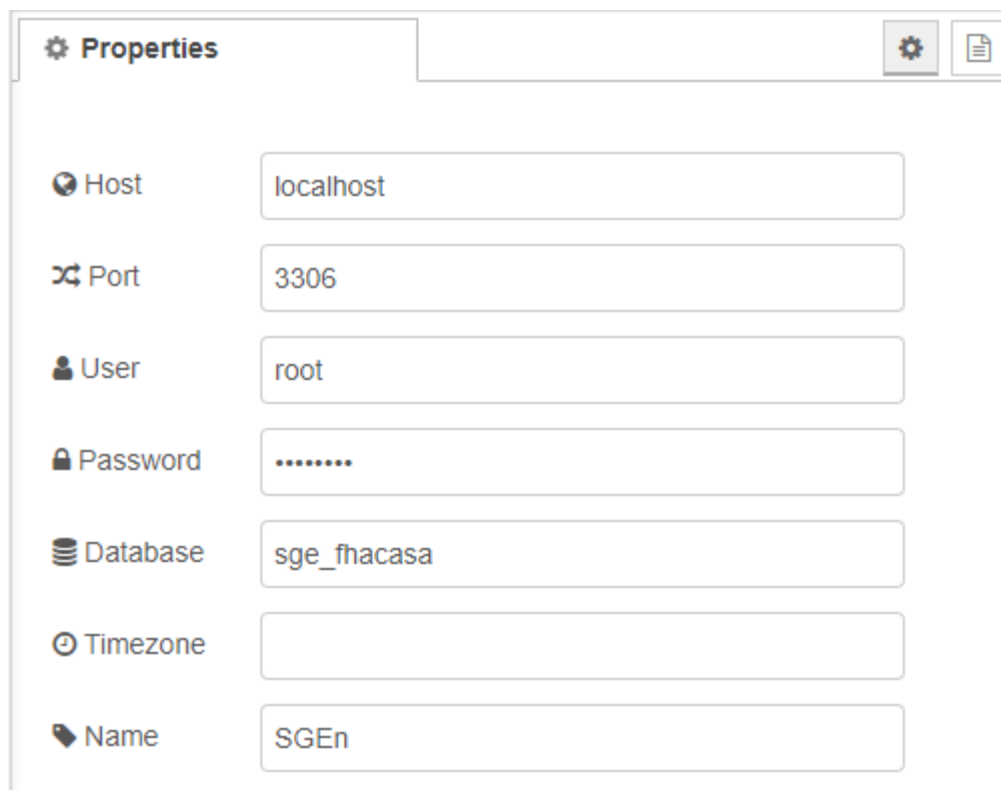
Hilo de consulta



Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Node-RED.

Para llevar a cabo una conexión correcta a la base de datos se debe crear primero la base, con su usuario y nivel de seguridad. En las propiedades del nodo de conexión se debe agregar el host de destino, en este caso sería localhost y el puerto 3306, además, se debe agregar el usuario la contraseña y el nombre de la base de datos creada previamente. Esto se puede apreciar en la Ilustración 31.

Ilustración 31

Conexión con la base de datos

The image shows a 'Properties' window from the Node-RED interface. It contains several configuration fields for a database connection:

Property	Value
Host	localhost
Port	3306
User	root
Password
Database	sgc_fhacasa
Timezone	
Name	SGEn

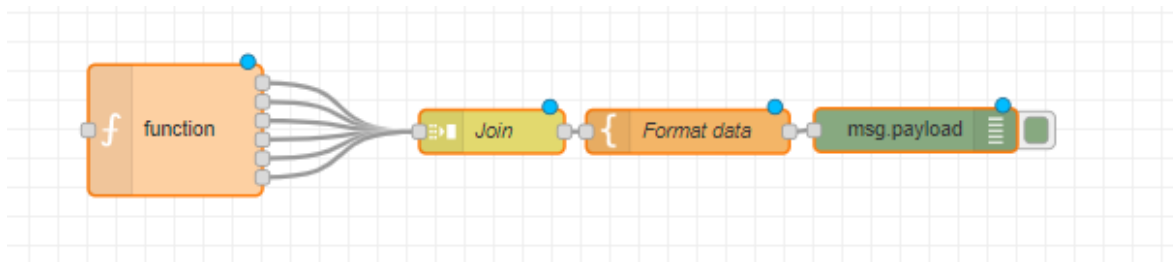
Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Node-RED.

4.7. Envío de Información a la Base de Datos

En la Ilustración 32 se puede apreciar la forma en la que se escribe a la base de datos. El nodo azul *inject* ejecuta una función cada tiempo determinado, esta función (Ilustración 20) guarda los valores *cantidad de energía consumida* y los valores de *trigo procesado*, cada nodo representa uno de los procesos.

Ilustración 32

Datos que se registran desde la base de datos



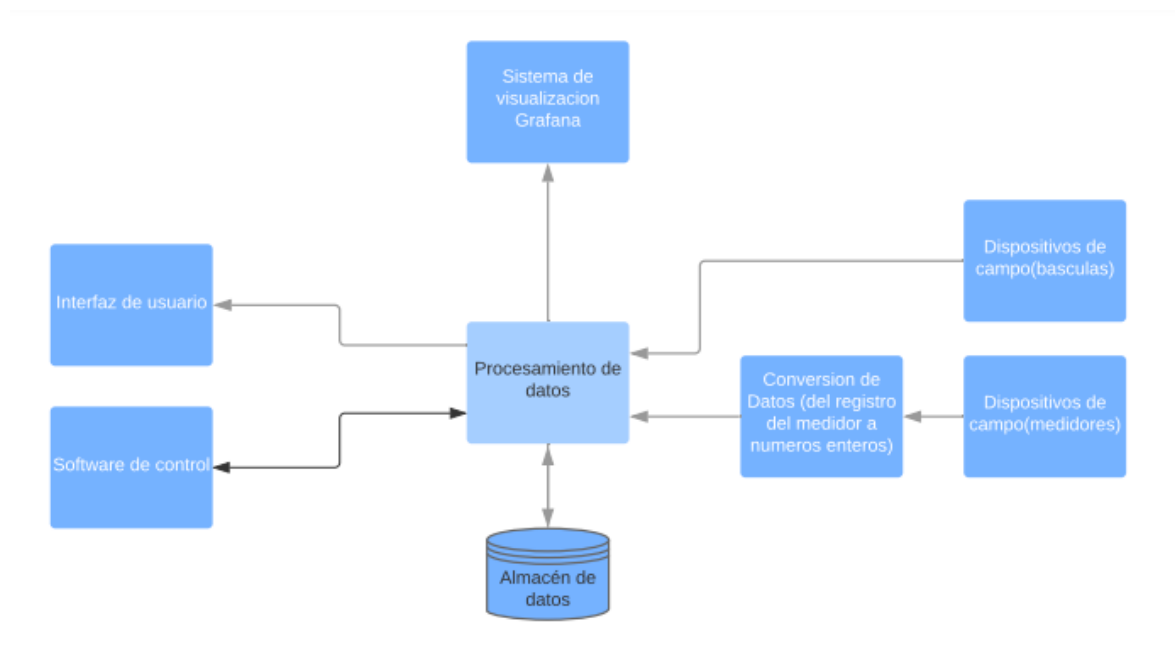
Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Node-RED.

4.8. Descripción General del Sistema de Monitoreo

El sistema de monitoreo implementado se compone de varias partes que se deben integrar para su funcionamiento correcto e interpretación. A continuación, se describe con un mapa conceptual (Ilustración 33) el flujo de cada módulo utilizado.

Se refiere a los dispositivos de campo como medidores que leen los datos de energía y básculas que proporciona los datos en producción, trigo y harina. El sistema de visualización e interfaz de usuario es todo lo desarrollado en el *software* Grafana, *software* de control hace referencia Node-RED que se encarga de procesar y tratar los datos para posteriormente almacenarlos en la base de datos que se ve en la parte baja del diagrama.

Ilustración 33

Diagrama de flujo del sistema completo de monitoreo y administración

Fuente: Imagen propia, diseñada con el software lucidchat.

Con los indicadores de desempeño se logra alcanzar ahorros del 10 % en el Proceso 9, un 9 % de ahorro para el Proceso 3, un 3 % de ahorro en el Proceso 8 y para el Proceso 7 no se obtienen mejoras en el desempeño. Sin embargo, este rubro es indispensable para evitar un incremento en el consumo, lo que genera un impacto importante en la facturación. Estos ahorros se logran con los controles operacionales desarrollados por la planta que demuestran su eficacia al observar la mejora en el desempeño de los procesos, lo que disminuye la energía real respecto a la energía esperada. En el caso de los procesos 8 y 9 estos disminuyeron el consumo incluso manteniendo la producción típica del proceso, se logra mejorar su consumo gracias a charlas de concienciación del personal y mostrándoles como sus acciones repercuten en los resultados del indicador de desempeño.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Se identifican los procesos de Proceso 7 y Proceso 3, los cuales cuentan con variables relevantes, lo que les permite dar seguimiento de desempeño con referencia a un producto final.
2. Se identifican los procesos de Proceso 8 y Proceso 9 como usos significativos de los cuales no se identifican variables relevantes, más se identifica un comportamiento estable promedio, por lo que el histórico se define como línea base para el control del desempeño.
3. Se logró identificar los procesos que cuentan con facilidad de medición y con oportunidad de ahorro. Esto permite enfocar y gestionar proyectos de mejora en la infraestructura de red priorizando los que cuentan con mayor oportunidad de ahorro.
4. Al definir los usos significativos de la planta y su impacto en la facturación eléctrica, la compañía podrá generar objetivos y metas de los procesos, lo que da planes de acción para garantizar su optimización.
5. La creación de una topología de red Ethernet para interrogar los dispositivos permite la escalabilidad del sistema.
6. La implementación de la plataforma Node-RED evita que se requiera un operario para la captura de datos en un registro en forma manual, con una alta probabilidad de error humano. Además, se garantiza el registro de datos históricos para la industria.
7. Se evidencia un comportamiento de mejora en el desempeño para el consumo de energía en el Proceso 3, lo que disminuye un 9 % su consumo y para el Proceso 9 una

disminución de un 10 %, gracias a la creación de indicadores que permiten el seguimiento.

8. Con la implementación del *software* Grafana y Node-RED, la compañía podrá continuar incluyendo dispositivos en la red sin incurrir en gastos de licenciamiento y con costos bajos de ingeniería.

5.2. Recomendaciones

1. Para aumentar el control del desempeño energético de la planta se recomienda la inclusión de más medidores de energía, priorizados para los puntos que presentan mayor oportunidad de ahorro.
2. Para la incorporación de máquinas nuevas se recomienda que estas se energicen en los tableros que forman parte del proceso en el que participa, así se puede mantener el proceso de seguimiento al desempeño de manera eficaz.
3. En caso de efectuar modificaciones al proceso, llevar a cabo la documentación pertinente, esto facilita los futuros procesos las mejoras que se requieran.
4. Dar seguimiento al comportamiento de los indicadores de desempeño, lo que permite tomar decisiones oportunas.
5. Se recomienda el capacitar al personal técnico del departamento en el aplicativo Node-RED para el mantenimiento del sistema y futuros cambios.
6. Se recomienda llevar a cabo una rutina de respaldo de información de la base de datos para que en caso de un daño en el equipo esta se pueda regenerar con los datos históricos.
7. Se recomienda que el equipo donde corre el aplicativo y la base de datos se traslada a un servidor en el *data center* del Departamento de TI, el cual se encuentra con mayor resguardo.
8. Se recomienda sustituir el motor de las transmisiones de Molino A, el cual debe ajustarse a su carga real para generar una mayor eficiencia en su desempeño.

REFERENCIAS

Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2017). *Beneficios de los sistemas de gestión de energía basados en ISO 50001 y casos de éxito.*

Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Avances y Oportunidades.* <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0397.pdf>

Camareno, B. P. (2015). *Modelo de gestión energética en el Hotel Condovac LA.*

Chacón, J. F. (2003). *Monitoreo y análisis de la calidad de la energía generada en la empresa ICE.*

De Laire, M. Fiallos, Y. y Aguilera, Á. (2017). *Beneficios de los sistemas.*

FAO. (s. f.). *Indicadores, tipos de datos y variables.*
<https://www.fao.org/3/x2465s/x2465s06.htm>

Fundación openjsf. (s. f.). *Node-RED.* <https://nodered.org/>

I.S. Corporación. (2018). *Gestión energética.* <http://www.iscr.com/website/gestion-energetica/>

Inteco. (2018). *Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso.*

ISMA. (2016, 04 de noviembre). *Cómo funciona un PLC.*
<https://comofunciona.con.com/un-plc/>

ISOTools. (2019). *ISO 50001.* <https://www.isotools.org/normas/medio-ambiente/iso-50001>

Nociones.de. (2018) *Monitoriza tu sistema con telegraf, grafana e influxdb.*

<https://www.nociones.de/monitoriza-tu-sistema-con-telegraf-grafana-e-influxdb/>

NQA. (s. f.). *ISO 50001:20018, Guía de implantación de sistemas de gestión de la energía.*

[https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-](https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf)

[Library/PDFs/Spanish% 20QRFs% 20and% 20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf](https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf)

Presidencia de la República de Costa Rica. (2019). *ICE implementa tarifa industrial preferencial para reactivar economía y generar empleo.*

<https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2019/03/ice-implementa-tarifa-industrial-preferencial-para-reactivar-economia-y-generar-empleo/>

Ramírez Tapia, M. (2010). *Metrología y normalización*. Instituto Politécnico Nacional.

<https://elibro.net/es/ereader/biblioutn/74067?page=49>

Revista Summa. (2016, 3 de noviembre). *Bridgestone Costa Rica, primera compañía en América Latina en obtener certificación de eficiencia energética.*

<https://revistasumma.com/bridgestone-costa-rica-primera-compania-en-america-latina-en-obtener-certificacion-de-eficiencia-energetica/>

Siemens. (2019a). *HMI visualization with SIMATIC WinCC.*

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/simatic-wincc-tia-portal.html>

Siemens. (2019b). *Tecnología de automatización*. <https://w3.siemens.com/mcms/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/tutorial/pages/default.aspx?ismobile=true#wrapper>

Wonderware Iberia. (2019). *¿Qué es HMI?* <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

Zenteno, F. (2017, 15 de diciembre). *Sistemas Scada*. <http://www.autracen.com/sistemas-scada/>

ANEXOS

Anexo 1.

Tablas y Gráficos de Referencia

Tabla 12

Cronograma del plan de trabajo

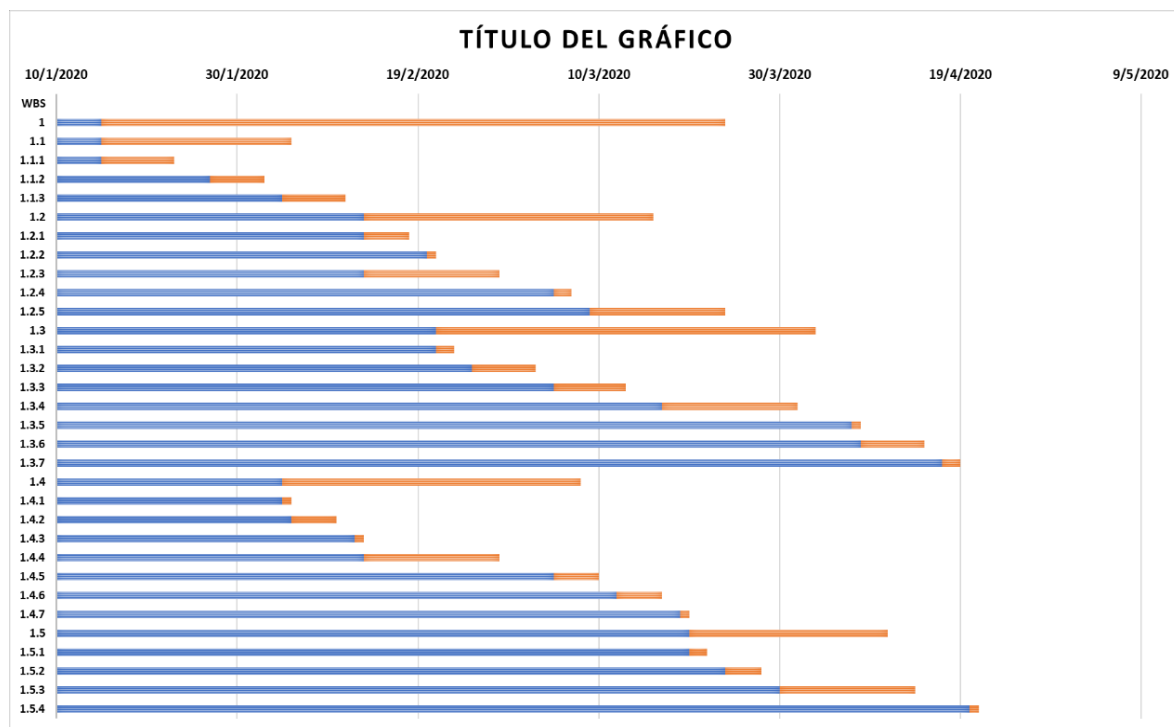
<u>WBS</u>	<u>Nombre</u>	<u>Inicio</u>	<u>fin</u>	<u>Duración</u>
1	Implementación de monitoreo y administración de energía	15/1/2020	20/4/2020	69
1.1	Analizar los diagramas unifilares de la distribución de las cargas eléctricas de la planta	15/1/2020	12/2/2020	21
1.1.1	Analizar diagramas de distribución	15/1/2020	24/1/2020	8
1.1.2	Crear diagramas de flujo	27/1/2020	3/2/2020	6
1.1.3	Agrupar e Identificar motores según proceso	4/2/2020	12/2/2020	7
1.2.1	Medir equipos para determinar los consumos	13/2/2020	19/2/2020	5
1.2.5	Rediseñar los diagramas unifilares para agruparlos de forma correcta	9/3/2020	27/3/2020	15
1.3	Implementar una topología de red de medidores según los procesos que se identifican	21/2/2020	20/4/2020	42
1.3.1	Seleccionar los medidores por utilizar	21/2/2020	24/2/2020	2
1.3.2	Crear un diagrama lógico de direcciones IP	25/2/2020	4/3/2020	7
1.3.3	Diseñar la topología de red	5/3/2020	16/3/2020	8
1.3.4	Canalizar el cableado de comunicación con los medidores	17/3/2020	6/4/2020	15

1.3.5	Asignar direcciones IP a los medidores y corroborar comunicación	7/4/2020	7/4/2020	1
1.3.6	Instalar los medidores en los procesos seleccionados	8/4/2020	16/4/2020	7
1.3.7	Efectuar pruebas de medición	17/4/2020	20/4/2020	2
1.4	Diseño de una interfaz hombre máquina para visualización y control	4/2/2020	19/3/2020	33
1.4.1	Configurar la comunicación en el WINCC con los medidores	4/2/2020	4/2/2020	1
1.4.2	Creación de variables en los PLC	5/2/2020	11/2/2020	5
1.4.3	Crear un <i>script</i> para la interrogación de los medidores	12/2/2020	12/2/2020	1
1.4.4	Diseño de las pantallas	13/2/2020	4/3/2020	15
1.4.5	Crear identificadores energéticos	5/3/2020	11/3/2020	5
1.4.6	Crear gráficas de tendencia de consumo eléctrico	12/3/2020	18/3/2020	5
1.5	Controlar, de forma automática, el manejo de cargas	20/3/2020	19/3/2020	1

Fuente. Lista de actividades y duración del proyecto.

Gráfico 8

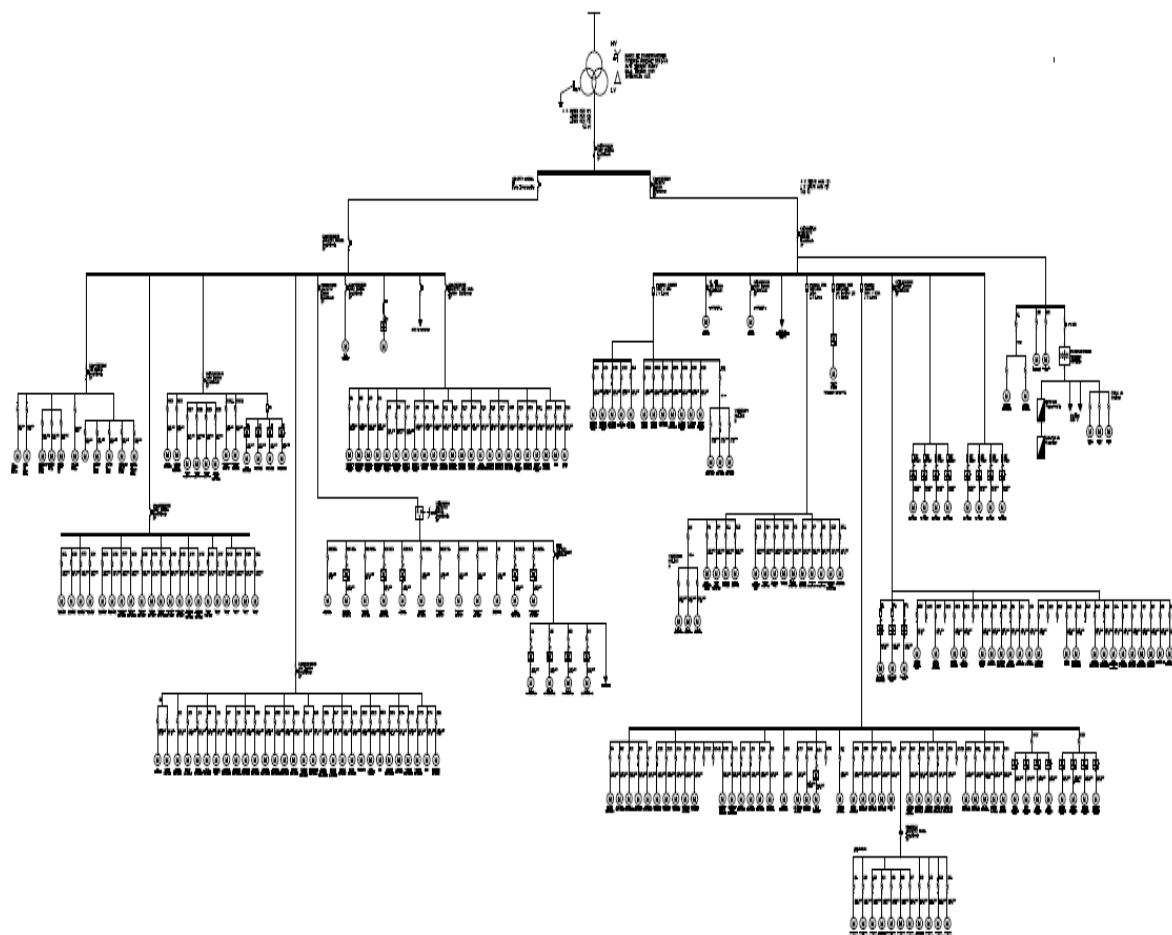
Diagrama de Gantt a partir de la lista de actividades de la Tabla 12



Fuente. Ilustración tomada desde el *software* Microsoft Excel.

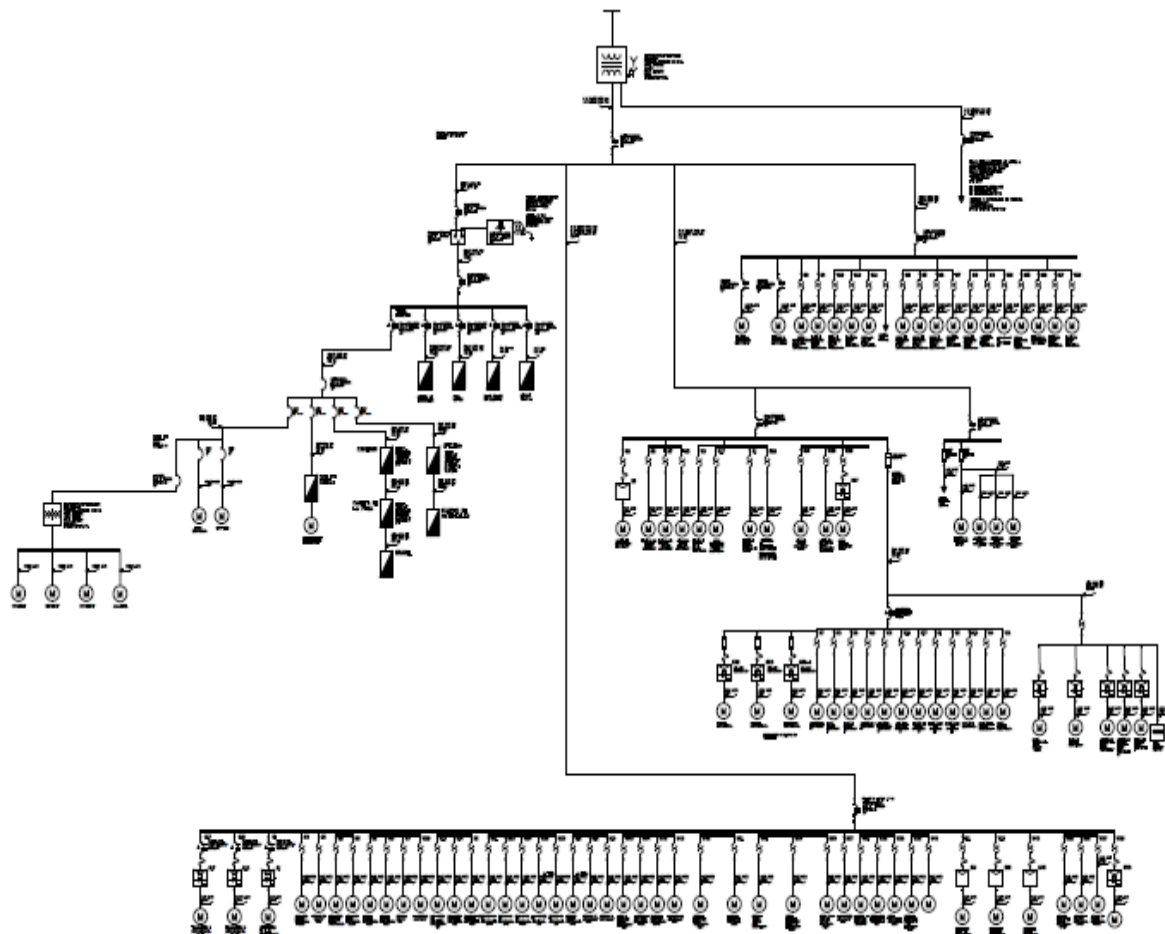
Ilustración 34

Diagrama de red eléctrica en la empresa



Fuente. Imagen propia.

Ilustración 35

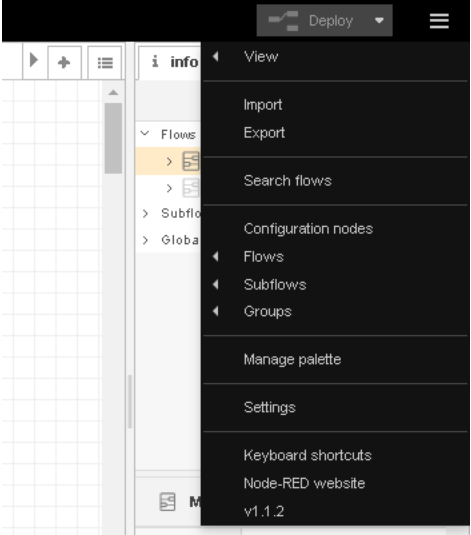
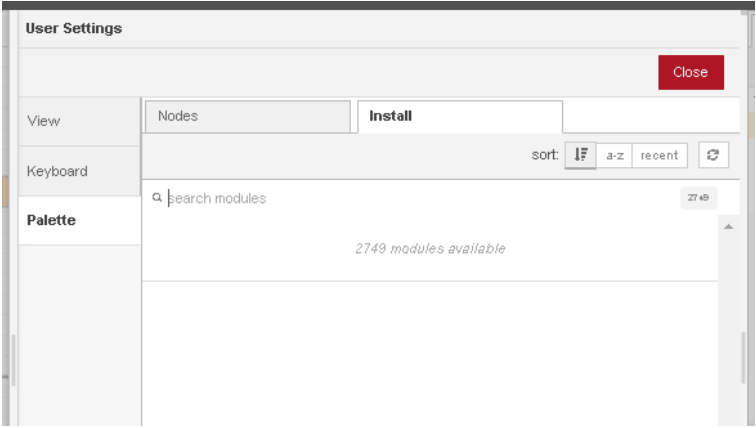
Distribución eléctrica de la empresa*Fuente.* Imagen propia.

Comunicación de los medidores y las básculas de proceso

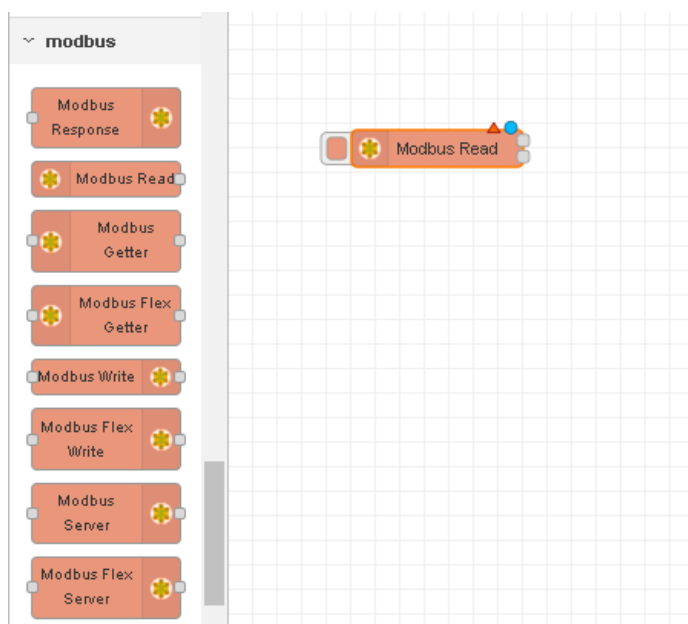
Para la comunicación de los medidores y los equipos de pesaje, se configura un controlador en el *software* Node-RED, el cual interroga los dispositivos MODBUS TCP/IP y Profinet. Para esto, se abre el proyecto de Node-RED y se siguen los siguientes pasos:

Tabla 13

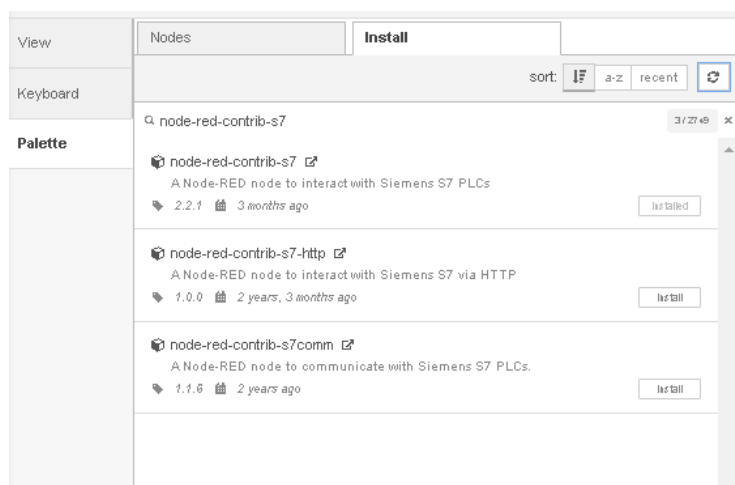
Comunicación de los medidores y las básculas de proceso

Descripción	Ilustración
Se debe ir a la paleta de administración.	
Se posiciona en la pestaña instalar	

En la lista de nodos disponible se selecciona el nodo Modbus Read



Se instala la librería Node-RED-contrib-s7



Consulta a la base de datos del proceso 3

`select concat(week(prod02.fecha),” - “,year(prod02.fecha)) as Semana, sum(med02.energía) as kWh-MB.`

`sum(prod02.trigo_limpio)/1000 as Tm Trigo.`

`sum(med02.energía)/(sum(prod02.trigo_limpio)/1000) as “kWh/Tm” from prod02, med02 where med02.fecha=prod02.fecha`

group by week(prod02.fecha)

Consulta a base de datos
del proceso 7

```
select concat(week(prod01.fecha,7)," - ",year(prod01.fecha))
as Semana, sum(med01.energia) as "kWh-MA",
sum(prod01.trigo_limpio)/1000 as "Tm Trigo",
(sum(med01.energia)-sum(med03.energia)-
sum(med04.energia))/(sum(prod01.trigo_limpio)/1000) as
"kWh/Tm" from prod01, med01, med03,med04 where
med01.fecha=prod01.fecha && med03.fecha=prod01.fecha
&& med04.fecha=prod01.fecha group by
week(prod01.fecha,7)
```

Consulta a la base de
datos del proceso 8

```
select concat( week(regmedidor.fechamedidor)," -
",year(regmedidor.fechamedidor)) as Semana,
max(regmedidor.energia)-min(regmedidor.energia) as "kWh-
IMP",
6649.307 as "kWh Esperado", (max(regmedidor.energia)-
min(regmedidor.energia))/6649.307 as "IDEN" from
regmedidor
where idmedidor=3 group by week(regmedidor.fechamedidor)
order by regmedidor.fechamedidor desc
```

Consulta a la base de
datos del proceso 9

```
select concat( week(regmedidor.fechamedidor)," -
",year(regmedidor.fechamedidor)) as Semana,
max(regmedidor.energia)-min(regmedidor.energia) as "kWh-
COMP", 5965 as "kWh Esperado", (max(regmedidor.energia)-
min(regmedidor.energia))/5965 as "IDEN" from regmedidor
where idmedidor=4 group by week(regmedidor.fechamedidor)
order by regmedidor.fechamedidor desc
```

Alarmas de monitoreo
para el proceso 3

Anexo 2.

Registro de Datos del Proceso Totalizados por Semana para el Proceso 3

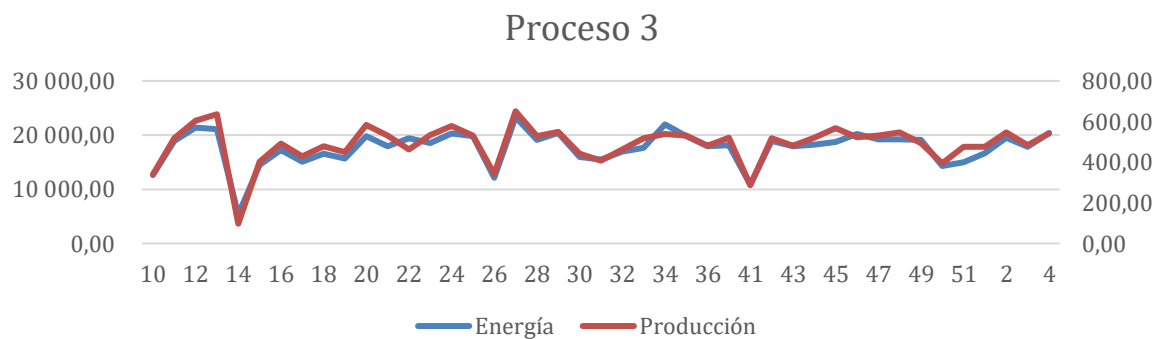
Tabla 14

Datos del proceso 3

Semana 2020	Energía real (Wh)	Producción (Tn)
10	20 859 198	602,5
11	24 445 624	639,6
12	22 349 227	640,32
13	3 438 169	96,5
14	15 090 827	415
15	15 624 791	413
16	17 751 335	507
17	17 608 700	515
18	15 418 255	441,7
19	18 035 329	508,5
20	17 175 345	621,5
21	16 480 308	487,57
22	16 993 661	496,1
23	16 268 631	439,9
24	14 397 031	404,1
25	17 247 287	482,6

26	16 537 166	466,3
27	20 760 399	469,4
28	17 606 821	402
29	21 608 781	636,2
30	15 311 016	421
31	13 688 427	361,3
32	17 543 623	488,5
33	18 692 102	531,57
34	16 256 018	468,24
35	18 293 478	518,6
36	23 792 317	628,5
37	17 601 917	537,7
38	16 685 695	537,1
39	21 516 638	553,2

Relación entre producción y consumo de energía:



Fuente. Imagen propia.

Registro de datos totalizados para el Proceso 7:

Semana 2020	Energía	Producción
11	47 233	1296,37
12	58 899	1598,42
13	56 702	1536,11
14	14 395	371,56
15	40 420	1059,07
16	41 610	1101,54
17	39 317	1045,21
18	53 442	1413,79
19	49 602	1322,78
20	52 944	1402,39
21	48 767	1267,20
22	51 765	1351,89
23	49 095	1284,48
24	44 249	1162,62
25	37 877	997,93
26	44 592	1174,32
27	45 203	1199,36
28	46 899	1237,30
29	51 425	1328,59

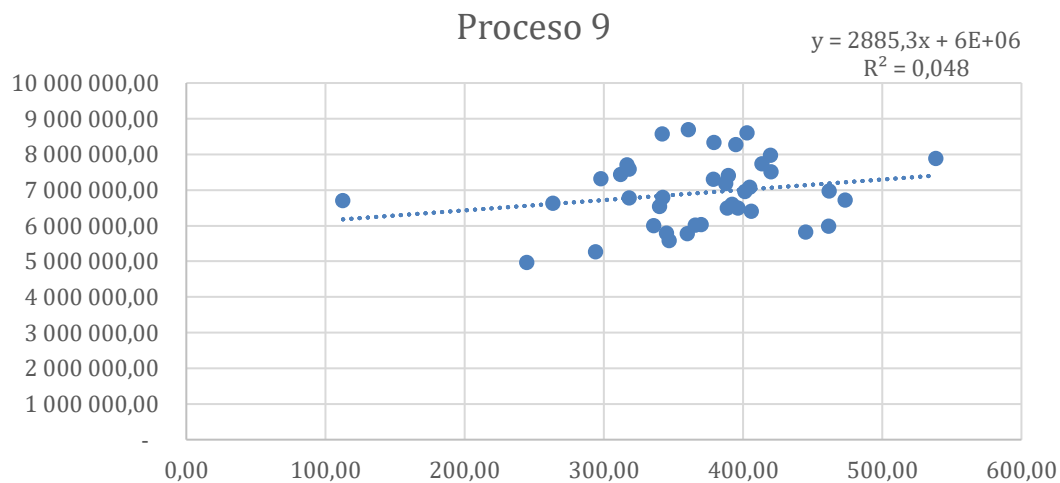
30	39 632	1008,50
31	50 742	1284,71
32	54 771	1415,93
33	50 820	1310,25
34	48 737	1257,40
35	38 380	982,02
36	45 399	1173,69
37	46 213	1110,47
38	51 936	1410,85
39	49 755	1298,37
40	51 121	1289,77
41	47 441	1238,38
42	32 093	824,68
43	48 107	1219,35
44	66 057	1649,52
45	41 686	1049,35
46	48 862	1232,24
47	49 050	1190,21
48	63 264	1444,27
49	51 621	1134,92
50	48 166	1342,31

Recopilación de datos acumulados por semana del Proceso 9:

Semana 2020	Variable n.º 1 (Tn)	Variable n.º 2 (Tn)	Variable n.º 3 (Tn)	Consumo Wh
11	1635,11	1224,75	369,99	6 026 729,00
12	2365,55	1780,97	445,11	5 815 794,00
13	2202,02	1700,98	473,41	6 709 422,00
14	2172,49	1626,00	538,69	7 883 822,00
15	468,76	346,69	112,57	6 692 947,00
16	1462,18	1106,21	318,23	6 771 943,00
17	1591,91	1237,48	318,38	7 577 435,00
18	1473,85	1147,16	298,21	7 316 032,00
19	1892,13	1458,90	389,64	7 394 059,00
20	1772,47	1366,37	312,10	7 421 871,00
21	1985,26	1526,48	420,29	7 508 803,00
22	1796,93	1369,98	396,51	6 485 647,00
23	1814,67	1381,57	401,42	6 954 956,00
24	1816,91	1394,97	387,75	7 170 132,00
25	1739,85	1325,33	462,19	6 970 733,00
26	1528,32	1154,77	342,56	6 784 597,00
27	1515,07	1142,03	340,33	6 526 605,00
28	1850,01	1410,26	404,82	7 074 908,00
29	1766,40	1339,12	392,22	6 585 832,00

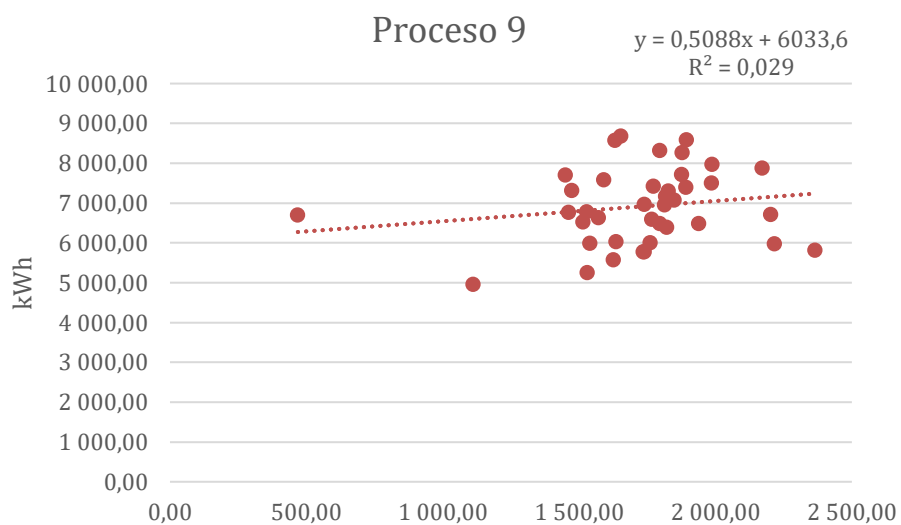
30	1877,00	1423,20	413,91	7 722 607,00
31	1449,22	1097,53	316,94	7 700 639,00
33	1878,43	1438,44	395,03	8 272 862,00
34	1826,85	1400,29	378,84	7 296 852,00
35	1796,11	1377,78	379,49	8 323 570,00
37	1654,15	1253,94	361,00	8 686 662,00
38	1631,09	1249,86	341,96	8 569 044,00
39	1894,23	1444,11	403,14	8 593 051,00
41	1988,72	1524,63	420,01	7 966 526,00
42	1822,15	1373,21	406,08	6 390 361,00
43	1112,56	843,96	244,75	4 956 903,00
44	1541,06	1170,31	336,13	5 988 059,00
45	1626,38	1244,18	347,21	5 576 932,00
46	1739,81	1338,09	360,09	5 773 126,00
47	2216,40	1695,39	461,85	5 976 523,00
48	1572,38	1212,64	263,47	6 627 904,00
49	1762,02	1353,66	365,81	6 006 771,00
50	1736,32	1344,89	345,34	5 779 358,00
51	1939,38	1499,75	388,75	6 488 587,00
52	1529,50	1196,68	294,11	5 257 946,00

Análisis de correlación del proceso 9 con la variable relevante Producción del Proceso 3:

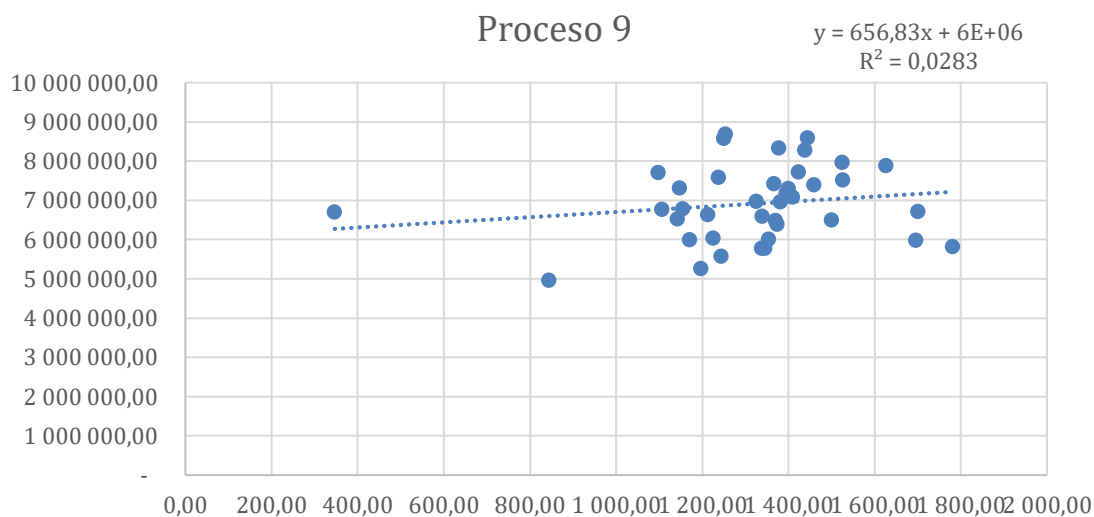


Análisis de correlación del proceso 9 con la variable relevante Producción del Proceso

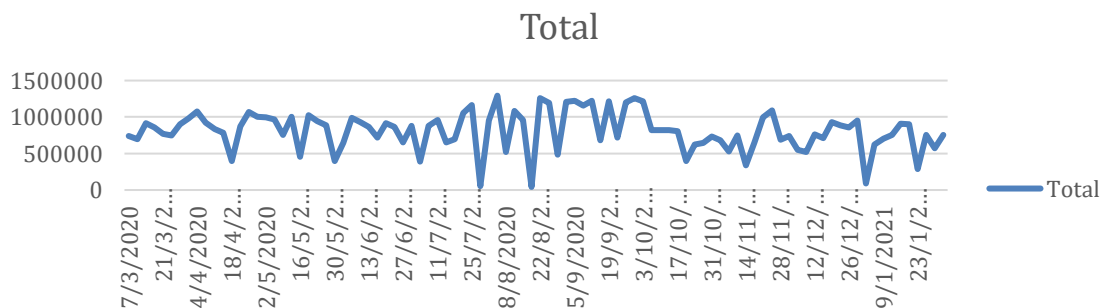
7:



Análisis de correlación del Proceso 9 con la variable relevante producción general de la planta:



Gráfica de histórico de consumo del Proceso 9:



De los valores capturados se eliminan los que son atípicos y se obtiene un consumo promedio:

Toma de la muestra	Valor promedio	Consumo
1	5965,42	6390,361
2	5965,42	4956,903
3	5965,42	5988,059

4	5965,42	5576,932
5	5965,42	5773,126
6	5965,42	5976,523
7	5965,42	6627,904
8	5965,42	6006,771
9	5965,42	5779,358
10	5965,42	6488,587
11	5965,42	5257,946
12	5965,42	6061,38
13	5965,42	6423,385
14	5965,42	5992,523
15	5965,42	6181,541

De la tabla se calculan los valores de consumo promedio, desviación estándar y porcentaje de la desviación estándar con el promedio:

Descripción	Resultado
Promedio	5965,42
Desviación estándar	455,29
% de desviación con el promedio	7.63 %

Anexo 3.

Carta de aprobación del filólogo.



Filólogos Bórea Costa Rica
Revisión de tesis | Corrección de estilo

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 02 de diciembre de 2021

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *Implementar un sistema de monitoreo y administración de la energía en las instalaciones de FHACASA en Barranca Puntarenas en el 2020*, sustentado por Albert Méndez González y Robinson Morera Zeledón.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa del autor.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Técnica Nacional.

ANA ELENA
REDONDO
X CAMACHO (FIRMA)
Firmado digitalmente por
ANA ELENA REDONDO
CAMACHO (FIRMA)
Fecha: 2021.12.07 11:52:28
-06'00'

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

DANIEL ALBERTO
GONZALEZ
X MONGE (FIRMA)
Firmado digitalmente por
DANIEL ALBERTO GONZALEZ
MONGE (FIRMA)
Fecha: 2021.12.07 11:50:54
-06'00'

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245