



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

**“ADQUISICIÓN DIGITAL DE DATOS APLICADO A UN MÓDULO
DE PRUEBAS FEEDBACK PARA EL MONITOREO DE
PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN MÁQUINAS EN CORRIENTE
ALTERNA”**

AUTOR

Ángel Jonathan Zambrano del Valle

Víctor Manuel Anchundia Bravo

DIRECTOR: Ing. Marcos Millán Traverso

GUAYAQUIL

2020

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros Víctor Manuel Anchundia Bravo portador de la cédula 0921972048 y Ángel Jonathan Zambrano Del Valle portador de la cédula 0926663972, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Guayaquil, noviembre 2020

firma)



firma)



CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Nosotros, Víctor Manuel Anchundia Bravo con documento de identificación N° 0921972048 y Ángel Jonathan Zambrano Del Valle con documento de identificación N° 0926663972, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado **“ADQUISICIÓN DIGITAL DE DATOS APLICADO A UN MÓDULO DE PRUEBAS FEEDBACK PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE MÁQUINAS EN CORRIENTE ALTERNA”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, noviembre 2020

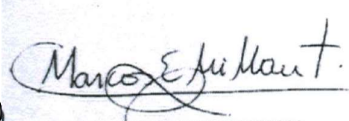
Firma) 

Firma) 

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, Marcos Millán Traverso, director del proyecto de Titulación denominado **“ADQUISICIÓN DIGITAL DE DATOS APLICADO A UN MÓDULO DE PRUEBAS FEEDBACK PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE MÁQUINAS EN CORRIENTE ALTERNA”** realizados por los estudiantes, Víctor Manuel Anchundia Bravo y Ángel Jonathan Zambrano Del Valle certifico que han sido orientados y revisados durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, noviembre 2020

f) 

Nombre del tutor

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a DIOS por permitirme llegar hasta aquí con salud y dejarme culminar esta meta, a mí madre por haberme dado el apoyo necesario para estudiar la carrera de Ingeniería Eléctrica y creer en mí y a las demás personas que de una y otra manera me ayudaron a hacer realidad este sueño. Gracias

.

Ángel Jonathan Zambrano del Valle

Dedico este logro a mis padres, familia, compañeros y docentes que me ayudaron con sus ánimos para poder culminar esta etapa. Gracias

.

Víctor Manuel Anchundia Bravo

AGRADECIMIENTOS

- A nuestros padres, por su infinita entrega hacia nosotros a lo largo de todos estos años de vida.
- A nuestros docentes, por habernos infundido el conocimiento con paciencia y dedicación, especialmente a nuestro tutor.
- A todas las personas quienes aportaron con un grano de arena a que todo este proyecto se realizara exitosamente.

Ángel Jonathan Zambrano del Valle

Víctor Manuel Anchundia Bravo

RESUMEN

Tema: ADQUISICIÓN DIGITAL DE DATOS APLICADO A UN MÓDULO DE PRUEBAS FEEDBACK PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE MÁQUINAS EN CORRIENTE ALTERNA

Palabras Claves: ADQUISICIÓN DE DATOS, PARÁMETROS ELÉCTRICOS, ANALÓGICO, DIGITAL, SOFTWARE, SISTEMA ELÉCTRICO, SENTRON PAC, SIEMENS.

La finalidad del presente proyecto es implementar una mejora en la adquisición de datos de los parámetros eléctricos de un Tablero de Pruebas de motores Feedback; dicha mejora se efectuó con el cambio de los medidores analógicos actuales del tablero, por unos medidores electrónicos de última tecnología.

Esta mejora se implementó con el propósito de utilizar una interfaz que permita interactuar a los estudiantes de las carreras de ingenierías con un software de adquisición de datos y parámetros eléctricos que están presentes en el Tablero de Pruebas Feedback. De esta manera, se ofrece una visión holística a los estudiantes en cuanto al comportamiento eléctrico del sistema, a las mejoras técnicas que se pueden realizar en este tablero y a la tendencia vanguardista de la Industria 4.0; cuyo cometido principal radica en la adquisición de datos para una efectiva gestión técnica.

Se empleó criterios técnicos e instalación de medidores de parámetros SENTRON PAC, de la marca SIEMENS. A su vez, se elaboró un manual de prácticas que simulan las posibles condiciones de operación del sistema y sus equipos; facilitando a los alumnos que cursan la carrera de Ingeniería Eléctrica, el aprendizaje de conceptos, fenómenos y principios de funcionamiento a cerca de Sistemas Eléctricos.

SUMMARY

Theme: DIGITAL DATA ACQUISITION APPLIED TO A FEEDBACK TEST MODULE FOR MONITORING ELECTRICAL PARAMETERS OF MACHINES IN ALTERNATE CURRENT.

Keywords: DATA ACQUISITION, ELECTRICAL PARAMETERS, ANALOGUE, DIGITAL, SOFTWARE, ELECTRICAL SYSTEM, SENTRON PAC, SIEMENS.

The purpose of the following project is to develop an improvement in the acquisition of data of the electrical parameters of an existing board, called Feedback Test Board; this improvement will be supported by a change on its current analogue meters, using the latest technology electronic meters.

This improvement will be implemented with the purpose of using an interface that allows the students of the Electrical Engineering Career to interact with data acquisition software and electrical parameters that will be present in the Feedback Test Board. This way, a holistic vision can be sown in students regarding the electrical behavior of the system, the technical improvements that can be made in this board and the avant-garde trend of 4.0 industry; whose main task lies in the acquisition of data for effective management.

It will be used the technical criteria and installation of SENTRON PAC parameter meters from the world-famous brand SIEMENS. At the same time, a manual of practices will be created, which will simulate the possible operating conditions of the system and its equipment; leading the students from the Electrical Engineering career to the understanding of concepts, phenomena and principles of operation of the Electrical Systems.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

1.	EL PROBLEMA.....	13
1.1.	Descripción del Problema	13
1.2.	Importancia y Alcances	13
1.3.	Delimitación	14
1.4.	Objetivos	14
1.4.1.	Objetivo General	14
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	14
1.5.	Marco Metodológico.....	15
2.	MARCO TEÓRICO.....	16
2.1.	Antecedentes	16
2.2.	Anormalidades	16
2.2.1.	Cortocircuitos	17
2.2.1.1.	Tipos de cortocircuitos.....	17
2.2.1.2.	Cortocircuitos simétricos	17
2.2.1.3.	Fallas asimétricas	18
2.2.1.4.	Circuito equivalente de una falla	19
2.2.1.5.	Intensidad de cortocircuito	20
2.3.	Condiciones de operación.....	20
2.4.	Sistemas de monitoreo y control eléctrico (AMR)	21
2.5.	Infraestructura de Medición Avanzada AMI	22
2.6.	Arquitectura de los sistemas AMI	23
2.7.	Sistema de monitoreo SENTRON POWERMANAGER.....	24
2.7.1.	Principales funciones de SENTRON POWERMANAGER.....	25
2.8.	Circuitos de control.....	26
2.9.	Beneficios en el uso de Software SENTRON POWERMANAGER	28
2.10.	Gestión de informes y análisis.....	29
2.11.	Industria 4.0	30
2.12.	Transformador de corriente.....	31
2.13.	Protocolos Ethernet y Modbus Rtu	32
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	34
3.1.	Memoria descriptiva	34

4. APLICACIÓN REAL EN INDUSTRIA.....	42
4.1.1. Datos de la práctica.....	43
4.1.2. Objetivo general.....	43
4.1.3. Objetivos específicos.....	43
4.1.4. Desarrollo.....	43
4.1.5. Registro de resultados.....	53
5. Referencias.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Cortocircuito trifásico simétrico. Fuente: [2, p. 8].	18
FIGURA 2: Cortocircuito entre fases, aislado. Fuente: [2, p. 8].....	18
FIGURA 3: Cortocircuito entre fases, con puesta a tierra. Fuente: [2, p. 8].	19
FIGURA 4: Cortocircuito fase-tierra. Fuente: [2, p. 8].	19
FIGURA 5: Esquema simplificado de una red. Fuente: [2, p. 9].	19
FIGURA 6: Sistema de lectura automática. Fuente: [4].	21
FIGURA 7: Infraestructura de medición avanzada AMI. Fuente: [5].....	23
FIGURA 8: Arquitectura integral de red en Sistema AMI. Fuente: [6].	24
FIGURA 9: Software SENTRON POWERMANAGER. Fuente: [6].	26
FIGURA 10: Sala de control de una subestación, equipos de medición, indicadores, selectores, relés de protección. Fuente: [7].	27
FIGURA 11: Transformador de corriente. Fuente: [8].	32
FIGURA 12: Ethernet en las capas del modelo OSI. Fuente: [10].	32
FIGURA 13: Condiciones iniciales del tablero. Fuente: Los autores.	34
FIGURA 14: Representación a escala de nuevos elementos de medición. Fuente: Los autores.	35
FIGURA 15: Elaboración de planos a escala para presentación física en tablero. Fuente: Los autores.	35
FIGURA 16: Presentación de propuesta para montaje de nuevos cubículos de medición en tablero feedback existente. Fuente: Los autores.....	36
FIGURA 17: Elaboración de estructura modelo para presentación a fabricante de estructura metalmecánica. Fuente: Los autores.	36
FIGURA 18: Adecuación de espacio para transformadores de corriente de medición. Fuente: Los autores.	37
FIGURA 19: Elaboración de estructura modelo de dispositivos de medición secundarios para presentación a fabricante de estructura metalmecánica. Fuente: Los autores.	38
FIGURA 20: Medición y registro de valores en tablero existente. Fuente: Los autores.....	38

FIGURA 21: Montaje de estructura modelo en tablero existente. Fuente: Los autores.	39
FIGURA 22: Aprobación de estructuras modelo a escala, posterior a montaje de las mismas, dentro de tablero feedback existente. Fuente: Los autores.....	39
FIGURA 23: Elaboración de estructura metalmecánica para medidor de parámetros SENTRON PAC 4200. Fuente: Los autores.....	40
FIGURA 24: Elaboración de estructura metalmecánica para medidor de parámetros SENTRON PAC 2200. Fuente: Los autores.....	41
FIGURA 25: Arquitectura de red de medidores de parámetros Sentron Pac.	45
FIGURA 26: Grupos de medición existentes en planta industrial SMI. Incluye proceso de Soplado, Chillers, Compresores, Inyección, Ventilación y Líneas varias.....	46
FIGURA 27: Gráfica de Opción 1 – Panel; tendencia de medición de máquina Inyectora GL-300, 220 Vac. Fuente: Los Autores.....	47
FIGURA 28: Gráfica de Opción 2 – Valor de conjunto, Magnitudes eléctricas de Carga Inyectora 220 Vac. Fuente: Los Autores.....	48
FIGURA 29: Gráfica de Opción 3 – Valor seleccionados, Permite elegir los valores a visualizar en las reporterías. Fuente: Los Autores.	48
FIGURA 30: Gráfica de Opción 1, Visualización Comparativa de mes anterior vs mes actual, consumo de Tablero TD-21-INY04-HYPET400. Fuente: Los Autores.	49
FIGURA 31: Gráfica de Opción 4, Calidad de Energía de Tablero TD-21-INY04-HYPET400; THD 10% aproximado. Fuente: Los Autores.....	50
FIGURA 32: Gráfica de Opción 5, Armónicos de Linea-Neutro Tablero TD-21-INY04-HYPET400; Visualización por gráficas. Fuente: Los Autores.	50
FIGURA 33: Gráfica de Opción 6, Tendencia de valores en transformador trifásico de 3 MVA; Visualización por gráficas. Fuente: Los Autores.	51
FIGURA 34: Resumen de Transformador Trifásico de 3 MVA. Fuente: Los Autores.	51
FIGURA 35: Opción de emisión de reportes con Software Sentron Power Manager. Opción diaria. Fuente: Los Autores.	52
FIGURA 36: Reporte emitido con Software Sentron Power Manager. Reporte de energía total de planta. Fuente: Los Autores.....	53

INTRODUCCIÓN

El siguiente estudio, “Adquisición digital de datos aplicado a un Módulo de Pruebas Feedback para el monitoreo de parámetros eléctricos en máquinas de corriente alterna”, consiste en implementar una mejora en la adquisición de datos de los parámetros eléctricos de un tablero existente, denominado Tablero de Pruebas Feedback; dicha mejora se llevará a cabo con el cambio de los medidores analógicos actuales del tablero, por unos medidores electrónicos de última tecnología; garantizando siempre la confiabilidad en la adquisición de datos del sistema, y la continuidad en el monitoreo del mismo. Con la implementación de esta mejora, es posible desarrollar estudios posteriores orientados a la optimización técnico-económica de los sistemas eléctricos.

La estructura del presente estudio estará dividida en cuatro partes, siendo la primera la descripción del problema; donde se va a describir de forma detallada cuál es el problema existente y los objetivos propuestos en aras de desenvolver una solución. El segundo; abarca el marco teórico, el cual contiene toda la información técnica y fundamentos necesarios para comprender los detalles de la investigación. En el capítulo siguiente, se representará todo el proceso de implementación de la anteriormente mencionada mejora, junto con soportes fotográficos. Finalmente, el capítulo cuarto, expondrá sobre la experiencia del empleo de este software, orientado a un estudio técnico en la vida real, basada en la adquisición digital de datos para el monitoreo de parámetros eléctricos en máquinas de corriente alterna en una planta industrial.

El presente trabajo puede ser una herramienta muy útil para estudiarla a profundidad, dada su amplia utilidad en la industria.

Este proyecto se va a fundamentar en la instalación de medidores de parámetros; también hará énfasis en la adquisición de datos y finalmente, se enfocará en la gestión efectiva de dichos datos por medio del software SENTRON POWER MANAGER de SIEMENS, para desarrollo de mejoras futuras y toma de decisiones basada en un historial de datos técnico.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

La carencia de innovación en la industria, es un problema que se da debido a que las personas desconocen a cerca de las ventajas técnicas y económicas que se pueden obtener como usuario, si se lleva a cabo una eficiente gestión energética en una infraestructura dada. Para dicho efecto, uno de los puntos a tratar por parte de los clientes industriales, deben ser que dentro de sus instalaciones no se produzcan variaciones ni fenómenos que afecten las redes públicas; por ello, hay que elaborar planes de mantenimiento que salvaguarden los principales parámetros de una Sistema Eléctrico, sea este industrial o comercial. Por este motivo los Profesionales Eléctricos de la Facultad deben conocer y desarrollar una visión técnica y comercial orientada a la optimización de un sistema eléctrico, tratando de implementar mejoras que permitan tenerlo en condiciones similares a las ideales; evitando incurrir en costos por pérdidas en producción y operación.

Actualmente, el módulo Feedback está siendo utilizado como objeto de estudio para este caso, sin embargo, sus medidores análogos no pueden ser utilizados para los fines deseados; por lo cual se va a suministrar los dispositivos necesarios para ejecutar el estudio y aportar con este conocimiento a la Facultad.

1.2. Importancia y Alcances

Este estudio es importante porque permitirá desarrollar en los alumnos de la Facultad el criterio necesario para poder gestionar de manera eficiente las operaciones de una planta industrial; salvaguardando siempre la eficiencia energética de la infraestructura monitoreada.

El alcance de este trabajo es explorar las diferentes utilidades que posee el software SENTRON POWER MANAGER cuando se lo comunica con una red de medidores de campo. Analizar las diversas prestaciones que posee el software para la representación gráfica de datos.

La adquisición de datos es la herramienta para el control, supervisión y monitoreo del comportamiento de la red eléctrica; obteniendo bases de datos de parámetros eléctricos para posterior análisis en sistemas de control, diseños de mejoras en el sistema, eficiencia energética y optimización de consumos; y reducir costos por mano de obra o mantenimientos emergentes.

1.3. Delimitación

A medida que la tecnología ha evolucionado, la adquisición de datos eléctricos ha experimentado un crecimiento progresivo, tanto así que puede ser catalogada como una particularidad dentro de los estudios de la carrera; lo que ha obligado a que las industrias sigan una tendencia de innovación en sus instalaciones, apuntando a la digitalización de su información eléctrica con el fin de avalar el correcto trabajo del Sistema Eléctrico y optimizar el consumo de energía para llevar a cabo los procesos de una forma más eficiente. Respecto al desarrollo del proyecto con el protocolo antes descrito, se espera digitalizar la adquisición de datos para la creación de gráficas para visualización del comportamiento de la red eléctrica, y así determinar las ventajas y bondades que esta plataforma digital ofrece para la correcta gestión técnica del mantenimiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar una mejora técnica en el módulo de pruebas “FEEDBACK” que permita registrar los valores de parámetros eléctricos de manera exacta y confiable; para que posteriormente; de forma digital y en tiempo real; los alumnos de la Carrera puedan familiarizarse con el software de gestión de la energía, SENTRON POWER MANAGER, y estudien las ventajas que existen al implementar este tipo de soluciones en la industria.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el caso de una aplicación real de esta solución, en la industria ecuatoriana.

- Implementar la arquitectura de red “maestro-esclavo” mediante protocolos de comunicación, para realizar la adquisición de datos.

- Identificar las diferentes bondades que proporciona el software de gestión de la energía, para análisis e interpretación de datos.

1.5. Marco Metodológico

El siguiente estudio se va a fundamentar en técnicas de investigación cuantitativa, ya que se propone generar una gran cantidad de datos numéricos que serán analizados de forma parcial.

Posterior a la aprobación del tema por Dirección de Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica sede Guayaquil, se procederá a la adquisición de los equipos necesarios para generación de datos cuantitativos en el tablero FEEDBACK e instalarlos para la ejecución del proyecto.

A través de la arquitectura “maestro-esclavo” se evidenciaría los beneficios de contar con una solución de gestión de energía resaltando sus funciones básicas; como la evaluación de los valores de medición a través de los medidores SENTRON PAC, que son capaces de percibir por separado cuando el Sistema Eléctrico consume energía de la red y/o cuando se la genera hacia ella.

Un ejemplo es, un sistema de ganancia de datos para monitorear el incremento de y comportamiento de sus cargas. Una de las herramientas informáticas es el PowerConfig, la cual nos permitirá un ahorro de tiempo en la descarga de datos, siendo capaz de documentar y parametrizar aparatos de medidas para el sistema de monitoreo de forma confiable a través de las interfaces de comunicación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La nueva Revolución Industrial ha provocado un cambio en la filosofía del uso de los datos e información; muchos procesos están encaminados a ser autosostenibles por medio de la correcta gestión de la información que estos generan. No es diferente el caso con las industrias, en la actualidad, la eficiencia energética está tomando más espacio dentro de los aspectos a considerar al momento de evaluar costos dentro de alguna fábrica u otra infraestructura.

Con el transcurrir del tiempo, el crecimiento y la expansión de cargas eléctricas en una planta toman cabida; y si no se lo hace de forma sistemática y técnica; se pueden ocasionar problemas silenciosos que drenarán los recursos económicos de los dueños. Estos problemas silenciosos pueden ser causados por desbalances, corrientes y tensiones armónicas y pérdidas por efecto Joule.

El Tablero Feedback existente es una buena herramienta para desarrollar estudios y prácticas con el uso de esos nuevos dispositivos de medición; a fin de cumplir los objetivos establecidos anteriormente.

2.2. Anormalidades

Se designan anormalidades a las singularidades que se exponen fuera de las medidas de acción normales; es decir eventualidades.

Cuando se dimensiona una instalación eléctrica hay que considerar las corrientes de operación en estas condiciones singulares para tener contemplado esto en caso de presentarse.

2.2.1. Cortocircuitos

Una falla es una unión entre dos puntos de diferentes niveles de voltaje por medio de un conductor de baja impedancia, tienden a ser destructivos y su valor de corte debe ser tomado en consideración para el dimensionamiento de protecciones eléctricas. Estas fallas provocan cambios en los parámetros de un sistema, por lo que es importante que el mismo esté constantemente censado para poder registrar alteraciones en los valores de registros. Recordar que son diferentes a las sobrecargas ya que estos no tienen una prolongada duración en el tiempo; al contrario; su elevado valor de corriente provoca que sean fenómenos destructivos a considerar [1, p. 127].

Las primordiales peculiaridades de las fallas son [2, p. 8]:

- Permanencia: Temporal o Auto extinguable
- Origen: Puede ser de origen mecánico, como por ejemplo conductores que hacen contacto con superficies metálicas aterrizadas; bajo aislamiento, esta degradación viene dada por elevadas temperaturas o tracciones que dañan el recubrimiento exterior del conductor; y origen eléctrico atmosférico como las sobretensiones.
- Localización: En bornes o en conductores,

Desde otro punto de vista, las fallas pueden ser [2, p. 8]:

- Que involucran una Fase: 80% de las veces.
- Que involucran dos Fases: 15% de las veces. Es el previo aviso de la falla trifásica, suelen producirse a raíz de estos eventos.
- Que involucran tres Fases: de origen, sólo el 5% de las veces.

2.2.1.1. Tipos de cortocircuitos

Pueden ser simétricos o asimétricos; para ambos casos el método de cálculo es el mismo ya que es un proceso normalizado para poder estudiar sistemas eléctricos que por lo general se presentan como desequilibrados; dicho método se llama método de componentes simétricas y es utilizado para realizar estos complejos cálculos.

2.2.1.2. Cortocircuitos simétricos

Envuelven las tres fases, y llevan al sistema a nuevas condiciones de funcionamiento con corrientes muy dominantes, pero manteniendo un estado simétrico y balanceado.

2.2.1.3. Fallas asimétricas

Comprenden aquellas que llevan al sistema a nuevas condiciones de trabajo con corrientes eminentes, pero con un régimen desequilibrado. Este tipo de eventos puede presentar las sucesivas fallas:

- Falla entre fases, llamada falla bifásica aislada.
- Falla entre fases con puesta a tierra, llamado fallas bifásicas a tierra.
- Falla fase-tierra, llamada falla monofásica.

a) cortocircuito trifásico simétrico

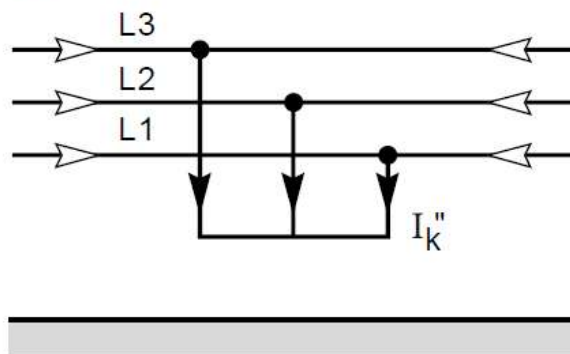


FIGURA 1: Falla trifásico simétrico. Fuente: [2, p. 8].

b) cortocircuito entre fases, aislado

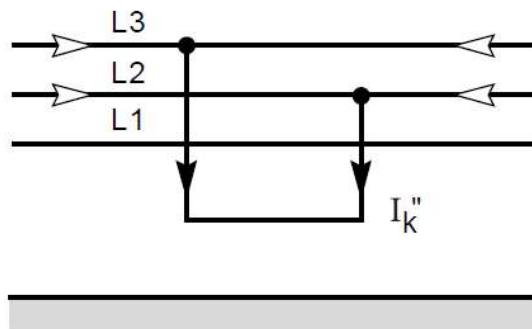


FIGURA 2: Falla entre fases, aislado. Fuente: [2, p. 8].

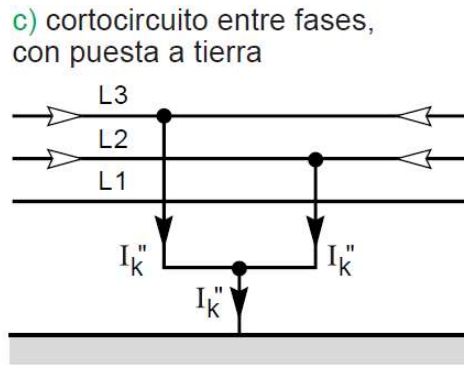


FIGURA 3: Falla entre fases, con puesta a tierra. Fuente: [2, p. 8].

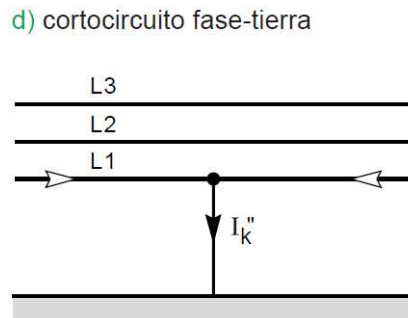


FIGURA 4: Falla fase-tierra. Fuente: [2, p. 8].

2.2.1.4. Circuito equivalente de una falla

Una falla puede representarse de manera simplificada como un arranque de tensión de corriente alterna, un interruptor, una impedancia de cortocircuito Z_{cc} el valor simplificado de todas las impedancias que físicamente se encuentran aguas arriba, y una impedancia Z_s de carga, situada aguas debajo del punto de falla [2].

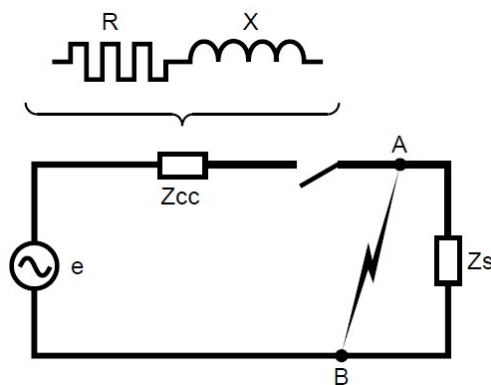


FIGURA 5: Esquema de falla en una red. Fuente: [2, p. 9].

2.2.1.5. Intensidad de cortocircuito

Esta magnitud es imprescindible para poder dimensionar varios aspectos en sistema de potencia. Los equipos como celdas de media tensión; equipos de patio en subestaciones, entre otros; deben tener en cuenta este factor al momento de adquirir equipos de potencia. [3]

La Icc máxima sirve para determinar [1, p. 135]:

- El poder de corte último de los interruptores y fusibles del sistema.
- El poder de cierre del equipamiento del conductor.
- Dimensionar conductores y equipos según las diferentes necesidades.

La Icc nos ayuda a determinar lo siguiente [1, p. 136]:

- Si el alimentador queda resguardado en toda su recorrido frente a un cortocircuito, ya que es algo de carácter obligatorio que la intensidad de avería mínima sea igual o mayor que la corriente de accionamiento magnético del interruptor automático, o igual o mayor que la corriente de fusión de los elementos de protección de sobrecarga en cinco segundos, si es que se llegara a utilizar fusibles para la protección del conductor [1, p. 136].

2.3. Condiciones de operación

El sistema eléctrico está en constante funcionamiento, sin embargo, es de suma importancia determinar las condiciones de operación de una planta, ya que eso será clave para poder gestionar la toma de decisiones asertiva de la que se menciona previamente para poder optimizar el uso del sistema eléctrico. En plantas industriales suelen haber diferentes líneas de producción; determinar los tiempos y operación de las máquinas de manera sistemática puede orientar a una mejora en los costos de producción; sin embargo, para esto hay que llevar a cabo levantamiento de datos previamente para poder gestionar forma más eficiente las paradas para mantenimientos correctivos o preventivos.

Visto desde un rango de tiempo más amplio; las condiciones de operación del sistema, serán datos muy útiles para determinar incluso los comportamientos de cada línea de producción.

2.4. Sistemas de monitoreo y control eléctrico (AMR)

Los sistemas de medición, control y monitoreo eléctrico son importantes porque permiten visualizar información en tiempo real sobre las variables del sistema eléctrico para posteriormente utilizar esta información para accionar diferentes dispositivos de campo. Un sistema de lectura automática, es un procedimiento que está contemplado para llevar a cabo las lecturas de mediciones en campo, de manera automática y con mayor eficiencia; monitoreando la fluctuación de energía y administrando de forma clave la operación de la planta. [4]

Los sistemas AMR contemplan protocolos de comunicación para poder establecer contacto con los equipos que trabajan desde bajo nivel hasta los que operan en alto nivel, estos sistemas han evolucionado tecnológicamente y tienen incorporado tecnologías remotas, móviles y de red, basados en telefonía y redes inalámbricas. [5]

En este sistema se identifica como recursos principales: medidores, pasarelas, protocolos de comunicación, y los centros de control. Estos sistemas pueden ser llamados como infraestructuras avanzadas de medición AMI [6, p. 3].

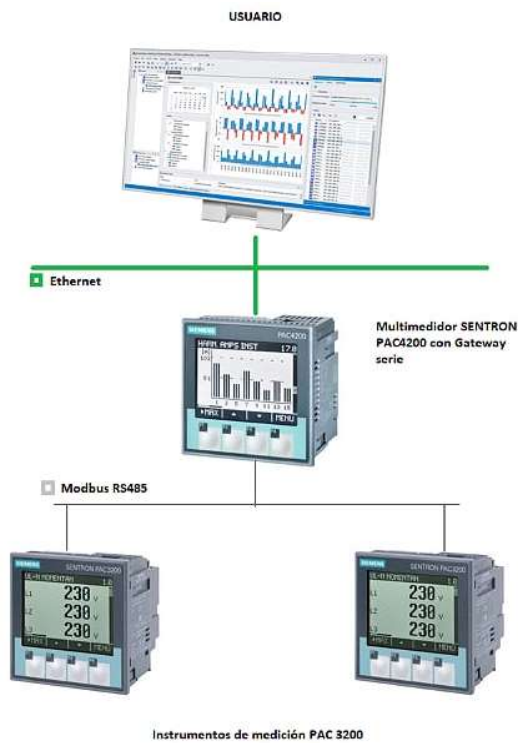


FIGURA 6: Sistema de lectura automática. Fuente: [7, 5].

2.5. Infraestructura de Medición Avanzada AMI

Esta infraestructura (AMI dado su nombre en inglés) es una red integral de medición cuya tecnología y prestaciones, permiten incrementar la eficiencia en el proceso de distribución eléctrica de plantas y edificaciones varias. La Infraestructura de medición avanzada completa, incluye el hardware, software, sistemas de energías alternativas, red de comunicación, y el software de gestión de energía y manejo de datos de medidores inteligentes. Este tipo de infraestructura de medición brinda la oportunidad de integrar medidores inteligentes a la red, supervisar el manejo de tarifas y costos, análisis de calidad de la energía, monitoreo y control de operaciones y finalmente, reducción de pérdidas de energía. [8]

Este tipo de redes, manejan medidores inteligentes digitales con funciones bidireccionales para poder cuantificar flujos inversos de energía existente entre los abonados y las empresas proveedoras del servicio, esto es con el objetivo de actualizar datos de consumos de facturación y reducir costos; estos poseen funciones de control a distancia que permite accionar y activar dispositivos, también registrar el estado de la red y supervisión de variables eléctricas dentro de un sistema [6, p. 3].

Las aplicaciones que un sistema de medición avanzada posee, son:

- Medición en tiempo real de variables de consumo eléctrico.
- Accionamiento remoto de equipos de maniobra.
- Detección de interrupciones.
- Detección de fallas.
- Monitoreo de energía generada y distribuida.
- Gestión de operaciones en la red.
- Supervisar el status de la red de comunicaciones.
- Generar alerta de mantenimientos predictivos sobre posibles fallas.

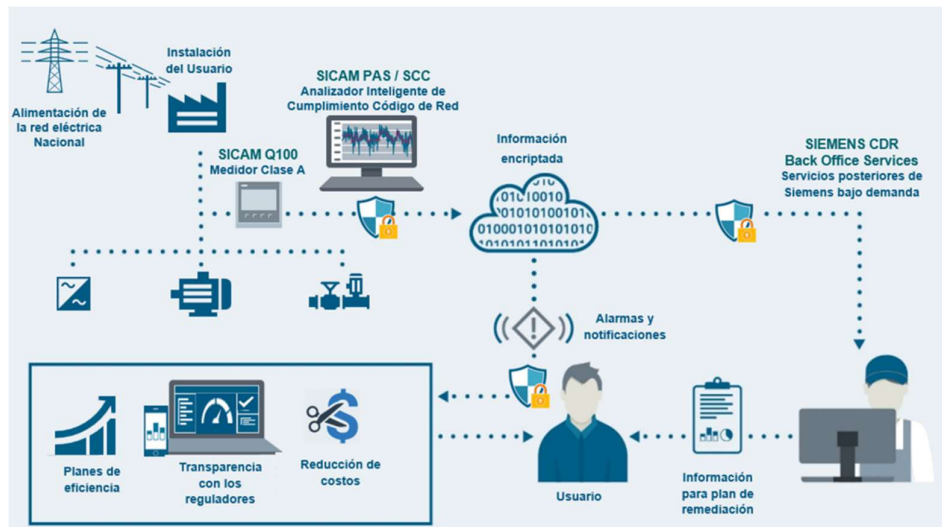


FIGURA 7: Infraestructura de medición avanzada AMI. Fuente: [9, 10].

2.6. Arquitectura de los sistemas AMI

Dentro de las diferentes configuraciones de red de los sistemas de monitoreo automático, destacan las siguientes:

➤ Adquisición de Datos

Se denomina DAQ y es la acción de recolectar datos de campo por medio de dispositivos de medición o registradores, transmitirlo por medio de una red de comunicación industrial para que finalmente estos sean procesados de la forma pertinente del caso.

➤ Red de Comunicaciones

Se denomina red de comunicación a las diferentes tecnologías de comunicaciones que hacen posible la transmisión y procesamiento de los datos desde un punto del sistema a otro.

➤ Infraestructura Avanzada de Medición

Es el conjunto de Hardware y Software que control la red de medición; es decir toda la red como tal.

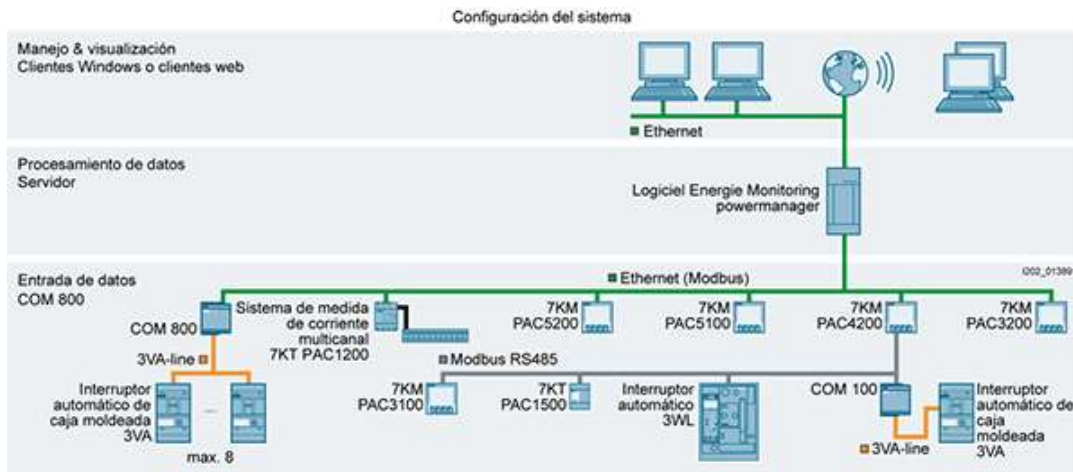


FIGURA 8: Arquitectura integral de red en Sistema AMI. Fuente: [10].

2.7. Sistema de monitoreo SENTRON POWERMANAGER.

Vigilar el consumo de energía ofrece beneficios en numerosos niveles: además del ahorro de costos a través del consumo optimizado, el monitoreo de las redes de energía y la calidad de la energía en las infraestructuras y plantas industriales garantiza una mayor confiabilidad. Al mismo tiempo, el monitoreo sistemático de la energía crea conciencia sobre el consumo de energía real y, por lo tanto, también es un requisito previo importante para una mayor eficiencia energética. Integrados en sistemas operativos abiertos de IoT como MindSphere, estos potenciales de optimización se pueden aumentar aún más. [10]

Con un sistema de monitoreo de energía simple, está allanando el camino para auditorías de energía regulares y un sistema de administración de energía operacional de acuerdo con ISO 50001 e ISO 50003. [11]

El software de monitoreo de energía powermanager analiza el consumo de energía al mostrar características importantes para dispositivos individuales y para todo el sistema en un tablero fácil de entender. Las medidas de ahorro pueden derivarse directamente y las fallas pueden localizarse rápidamente, para una mayor conciencia con respecto al consumo de energía y menores costos.

Los flujos de potencia se ven libres de consumos parásitos, esto permite identificar oportunidades de ahorro. [5]

2.7.1. Principales funciones de SENTRON POWERMANAGER.

- Software independiente de monitoreo de energía basado en PC basado en comunicación Modbus
- Opciones de expansión desde la aplicación estándar simple hasta una solución de cliente totalmente flexible
- Escalabilidad en términos de cantidades y funciones del dispositivo
- Integración optimizada de dispositivos de medición PAC 7KT / 7KM y disyuntores 3WL / 3VL / 3VA
- Integración de cualquier dispositivo de terceros a través de controladores genéricos MODBUS
- Captura, visualización, archivo y evaluación de valores de medición.
- Monitoreo de estado, límites y generación de alertas.
- Entrada manual de valores energéticos
- Cálculos y dispositivos virtuales.
- Pantallas de tablero para una visión general rápida
- Interfaces de usuario predefinidas y vistas de valores medidos / estado
- Salida digital y control de conmutación remota.
- Visualización de la curva de carga de datos archivados y en línea.
- Gestión de usuarios con diferentes niveles de permisos.
- Estructura multiservidor distribuida
- Instalación cliente-servidor
- Acceso a través del navegador web
- Monitoreo de carga
- Informes básicos con plantillas predefinidas para un inicio fácil
- Evaluación de valores de consumo
- Análisis anual
- Informes avanzados basados en EXCEL para informes definidos por el usuario
- Cálculos y visualización de KPI [12]



FIGURA 9: Software SENTRON POWERMANAGER. Fuente: [10]

2.8. Circuitos de control.

La continuidad del servicio es un punto fundamental en el criterio para diseñar sistemas eléctricos; los circuitos de control son implementados con el objetivo de brindar al sistema más seguridad y restricciones de operación y volviéndolo más confiable y seguro. Los circuitos de control son utilizados en su mayoría en relés de protección, automatización de procesos, circuitos de monitoreo o medición y respaldos de energía [6, p. 295].

Respecto a la Ingeniería de Potencia, la buena práctica de incorporar protecciones y medición dentro de las subestaciones, por medio de circuitos de control automático, brinda seguridad a los operadores ya que esto implica que la subestación no se encuentre propensa a maniobras equivocadas por causa equivocaciones humanas; por este motivo se deben prever y dimensionar con mucha pericia y detalle los sistemas de control, analizando los distintos escenarios de operación del sistema, cuando una u otra condición se cumple [6, p. 295].

En la práctica, los circuitos de control son alimentados por lo general por baterías de corriente continua cuyos niveles de tensión aplicadas, 48, 125, 240 VDC; lo imprescindible es que el circuito de control de un sistema eléctrico quede siempre energizado para que así las protecciones accionadas que actúan como seguridad; no cambien de estado ni se produzcan siniestros en las instalaciones del sistema; esto hace

que las fuentes ininterrumpidas de corriente de se vuelvan elementos infaltables dentro de una instalación eléctrica de potencia [6, p. 296].

Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos al momento de diseñar un sistema de control para subestaciones; se deben emplear criterios que faciliten en un futuro la expansión del sistema de control a causa de los cambios en que pueda incurrir el sistema de potencia; se recomienda el uso de sistemas redundantes cuando las cargas son críticas, esto permite tener un respaldo de suministro en el circuito en caso de presentarse un desperfecto en el alimentador principal en un tiempo mínimo posible [6, p. 296].



FIGURA 10: Sala de control de una subestación, equipos de medición, indicadores, selectores, relés de protección. Fuente: [13].

El software de monitoreo de energía, sentron powermanager, puede gestionar el uso de accionamientos por medio de circuitos de control a base de señales de información recibidas desde campo. Esta aplicación innovadora hace que esta solución sea atractiva para muchas aplicaciones industriales y técnicas que se basan en el uso de energía.

Al recibir señales de campo se pueden configurar alarmas por sobretensiones o sobre corrientes y dichas alarmas pueden emitir pulsos a circuitos de control con la finalidad de cuidar las instalaciones y cargas del sistema. Esta aplicación es muy útil porque nos permite proteger a nuestros equipos por medio de tecnología de circuitos de control.

2.9. Beneficios en el uso de Software SENTRON POWERMANAGER

El software de monitoreo de energía powermanager se puede agregar al hardware e infraestructura existentes. Los informes y mensajes predefinidos, así como el mapeo de las cifras clave de una empresa, facilitan la implementación del sistema. El software es escalable, ya que los paquetes de licencia se pueden ampliar de manera flexible en cualquier momento. [10]

- Los informes están integrados en powermanager con su propia vista
- La generación de informes se realiza internamente, no se requiere EXCEL
- Informes disponibles como xls, pdf y csv
- Generación manual y basada en el tiempo.
- Plantillas para: Asignación de centros de costo, Distribución de frecuencias, Consumo absoluto y total de energía, Análisis de desviaciones, Evaluación anual, Informe estándar
- Correo electrónico con informe generado a través del servidor SMTP (con / sin inicio de sesión) - sin MS Outlook
- El software de monitoreo de energía powermanager analiza el perfil de carga e identifica las cargas pico. Mediante la comparación directa de varios procesos, cargas o componentes del sistema, puede descubrir ineficiencias y establecer una base para optimizar los acuerdos de suministro de energía. El consumo puede asignarse con precisión a los centros de costos individuales, incluso en todas las ubicaciones. Esto permite la evaluación comparativa y la optimización de los acuerdos de suministro.
- El monitoreo continuo de la distribución de energía permitirá la detección temprana de estados críticos del sistema. Esto permite evitar irregularidades y fallas del dispositivo. Además, asegura una mejor calidad de energía identificando fallas de manera oportuna. En general, el monitoreo inteligente previene fallas, destrucción o tiempo de inactividad del sistema.

- Selección del punto de datos de la estructura de árbol del proyecto, depende del idioma en el inicio de sesión [5]

2.10. Gestión de informes y análisis

Un informe contiene los datos exportados desde una base de datos durante un período de tiempo específico. Los valores se recopilarán y escribirán en una tabla y se creará un gráfico. Por lo tanto, tiene una visión general sobre el proceso de un valor durante un período más largo (por ejemplo, un año). Los procesos de consumo de energía se pueden evaluar con un informe de: [14]

➤ Energía absoluta:

este informe ofrece una visión general del consumo de energía absoluto de los puntos de datos para intervalos de tiempo seleccionados. Muestra el punto de datos que tiene la mayor influencia en el consumo total de energía. El informe se puede crear con gráfico de barras o área.

➤ Asignación de centros de costos:

La asignación de centros de costos calcula el consumo total de energía y los costos para diferentes medios asociados con cada centro de costos. El informe se puede utilizar para la asignación de costos internos de la empresa.

➤ Análisis de energía: [8]

Este informe analiza el consumo de energía y el valor de demanda de energía correspondiente durante un período de un año. Da una visión general de las curvas de demanda de energía para el año y cada mes. Además, el informe muestra el valor de consumo de energía de cada mes y el valor máximo de demanda de energía correspondiente. Dos años también se pueden comparar.

➤ Curva de duración de carga:

Este informe muestra los valores de demanda de energía y la duración de cada valor de demanda de energía utilizado en el período de tiempo seleccionado. Muestra una vista detallada de los 50 valores más altos de demanda de energía del intervalo de tiempo seleccionado y también un análisis de estos valores durante el día.

➤ **Análisis de varianza de carga:**

Este informe muestra los valores de demanda de energía para el período de tiempo seleccionado y muestra el rango de los valores de demanda de energía para cada vez. Basado en esto, verá cuán amplia es la variación de la carga durante un cierto período de tiempo.

➤ **Estándar:**

Este informe se puede usar para cualquier valor de medición archivado. Este informe muestra todos los valores de los puntos de datos seleccionados para un período de tiempo seleccionado en una tabla.

➤ **Energía total:**

Este informe muestra el consumo total de energía de los puntos de datos seleccionados para el período de tiempo seleccionado. El informe se puede crear con gráfico de barras o gráfico circular [8]

2.11. Industria 4.0

El término de Industria 4.0 hace referencia a una nueva ideología que enfoca una manera más eficiente de organizar los medios de producción de una planta. El Objetivo es la puesta en marcha de una fábrica Smart Factory, con la capacidad de ser más adaptable a los procesos, así como también enfocarse en hacer un uso más eficiente de los recursos. La idea de la industria 4.0 tiene varios fundamentos, entre ellos, se enfoca principalmente en la concepción de un Sistema de producción inteligente, es decir que la adquisición de datos tendrá una interacción con los procesos de forma integral, y retroalimentada. El seguimiento y análisis de datos es otro fundamento importante de esta tendencia ya que la finalidad es poder ser más asertivo en la toma de decisiones técnico-económicas de los procesos de la planta; para esto es importante conocer las etapas y tiempos que intervienen en un determinado proceso. La monitorización remota para ser más eficiente y evitar fallos, esto con el fin de mejorar la producción los sistemas para que tomen decisiones según el análisis de datos. [5]

Los pilares fundamentales de esta tendencia se enfocan en Big Data análisis, simulación y análisis de datos en tiempo real; Robótica, con el objetivo de reducir costo de mano de obra; IOT y Cloud Computing también permiten sustentar el perfeccionamiento de la industria 4.0; para lo cual se necesita del uso de aplicaciones y datos simultáneos.

En un entorno cada vez más competitivo, se debe evolucionar e integrar las tecnologías para garantizar la competitividad de nuestras empresas. Con la implementación de la nueva tecnología es necesario aportar más estabilidad en los procesos, teniendo sensores y sistemas predictivos de control de forma digitalizada y correlacionada y con softwares para analizar en tiempo real propuestas de acciones correctivas para un sistema. [15]

2.12. Transformador de corriente

Estos instrumentos sirven para poder transformar la corriente censada en lado primario del circuito de potencia a corrientes pequeñas en el lado secundario, con las que se pueda trabajar en procesamiento de señales con fines de protección; así mismo, el hecho de que estos equipos aíslan el lado de alta tensión, de los dispositivos de medición y protección; suma en ellos una ventaja técnica [6, p. 116].

De manera comercial, estos instrumentos se los puede encontrar en el mercado con corrientes secundarias de 1 a 5 amperios; con el objetivo de aplicar una conversión analógica digital en aplicaciones de medición y control; que se encarguen de transformar proporcionalmente la corriente primaria con la secundaria [6, p. 116].

Los transformadores de corriente poseen pocas espiras en devanado primario; donde se conecta con el circuito de potencia a medir. El devanado secundario posee más espiras y va en serie con los equipos de medición protección. [6, p. 116].

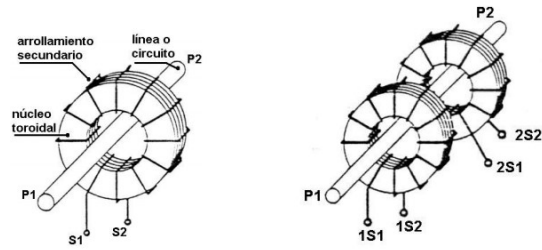


FIGURA 11: Transformador de corriente. Fuente: [16].

2.13. Protocolos Ethernet y Modbus Rtu

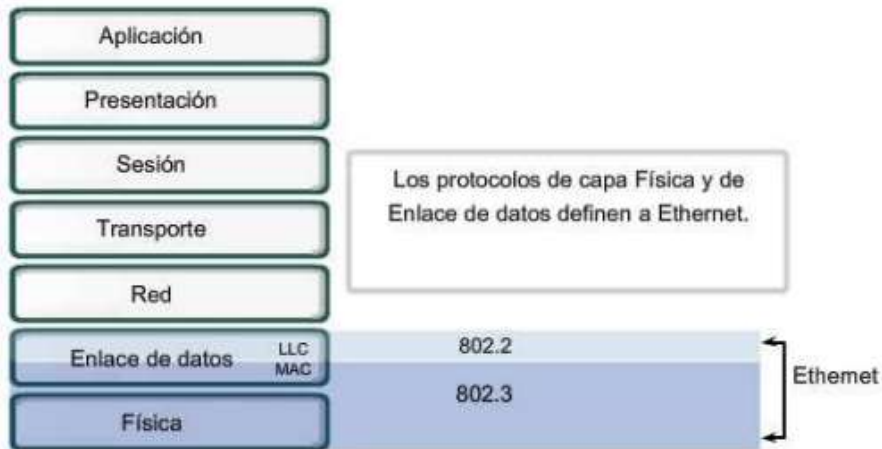


FIGURA 12: Ethernet en las capas del modelo OSI. Fuente: [17]

Ethernet, también llamado protocolo 802.3, es la forma estandarizada de poder conectar una computadora a una red. Principalmente, esta norma se fundamentó en mejoras para la transmisión de datos, como tener en cuenta el tipo de cable o medio de transmisión de datos, así como también la categoría de cable, ya que estos se diferencian por cuanto más velocidad se transmiten. Uno de los puntos a tener en cuenta es que el largo máximo de cable de red permitido es de 100 mts, los datos se pueden perder, o perder velocidad. [17]

En el ámbito industrial, probablemente existan redes locales con plc, hmi o work station, incorporados; estos dispositivos pueden comunicarse entre si por ethernet.

Ethernet es una tecnología que conecta redes LAN cableadas y permite que los dispositivos se conecten entre si por un protocolo en común.

Este protocolo trabaja a través de dos capas del modelo OSI. [17]

En la capa física de Ethernet se pueden encontrar cableado de comunicación como el par trenzado, switches o routers que conectan múltiples computadoras, los Gateway o bridge que se usan para conectar varias redes ethernet. [14]

Modbus RTU es un protocolo de comunicación que conecta diversos equipos en entornos industriales. Se basa en las capas 1, 2 y 7 del modelo OSI. Básicamente este protocolo se basa en una relación maestro-esclavo o cliente-servidor; se ha convertido en uno de los protocolos más usado debido a su disponibilidad para la comunicación. El tipo de mensaje RS232 con el que trabaja, es el mismo que se usa vía TCP/IP [10].

Modbus RTU utiliza una forma de transmisión de datos orientada a comunicación serial, alguna vez fue la mejor forma de transmisión de datos; En aplicaciones industriales, este protocolo es capaz de reconocer si existe comunicación con diferentes dispositivos como plc, u otros módulos, hmi, computadoras, drivers de motores, sistemas varios.

Cuando se trabaja con este protocolo de comunicación basado en esta forma de mensajerías, RS2323, hay que tener en cuenta las desventajas existentes tales como la velocidad de transmisión, lo cual es muy lento para la actualidad, adicionalmente la máxima longitud del cable que se permite en instalaciones es de 50 pies

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Memoria descriptiva

El tablero existente posee compartimientos de medición a base de dispositivos analógicos. El diseño de este cubículo de expansión está enfocado en implementar un sistema de medición moderno para gestión de energía y monitoreo de parámetros eléctricos del sistema y poder gestionar de manera eficiente las decisiones respecto al accionar de las cargas eléctricas.

Esto se logra implementando también una red de comunicación de los dispositivos de medición, con la computadora principal que va a adquirir los datos.

Inicialmente se realizó una presentación a escala de los nuevos cubículos de medición dentro del tablero existente.

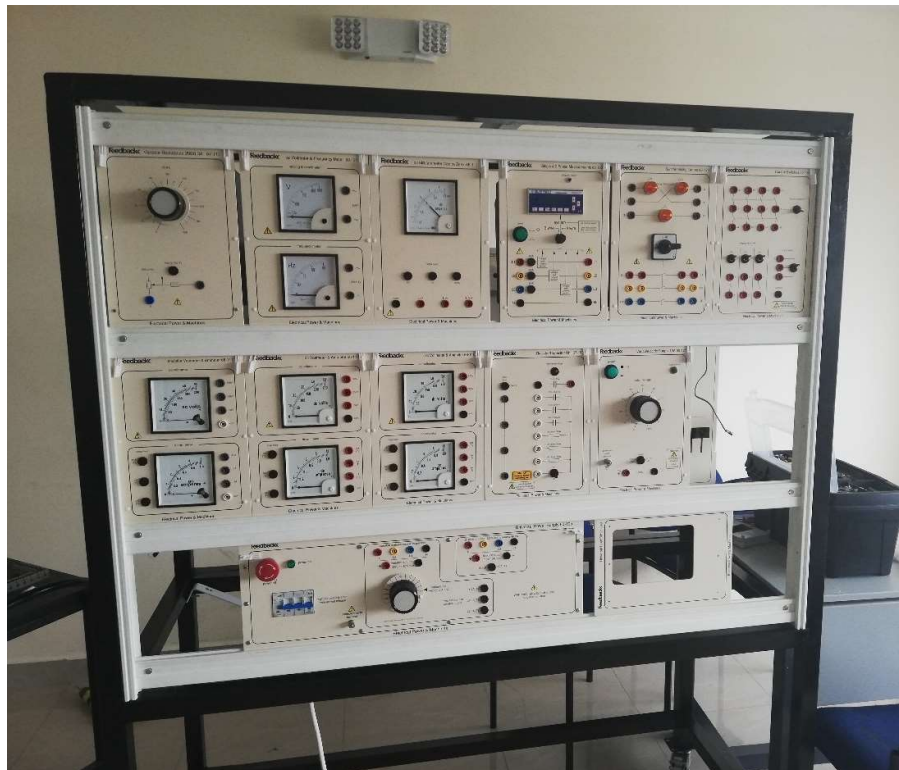


FIGURA 13: Condiciones iniciales del tablero. Fuente: Los autores.

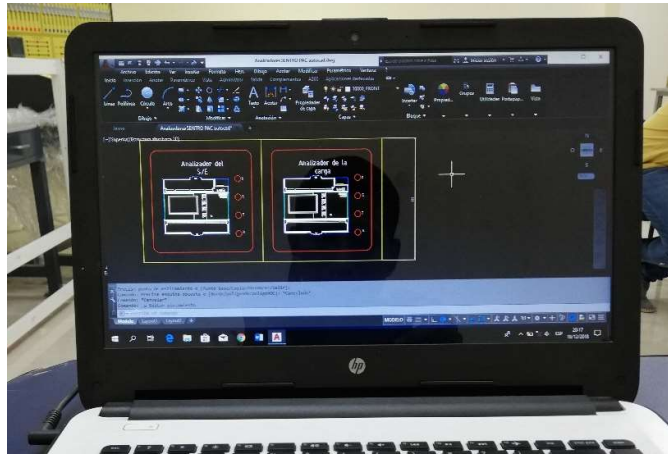


FIGURA 14: Representación a escala de nuevos elementos de medición. Fuente: Los autores.

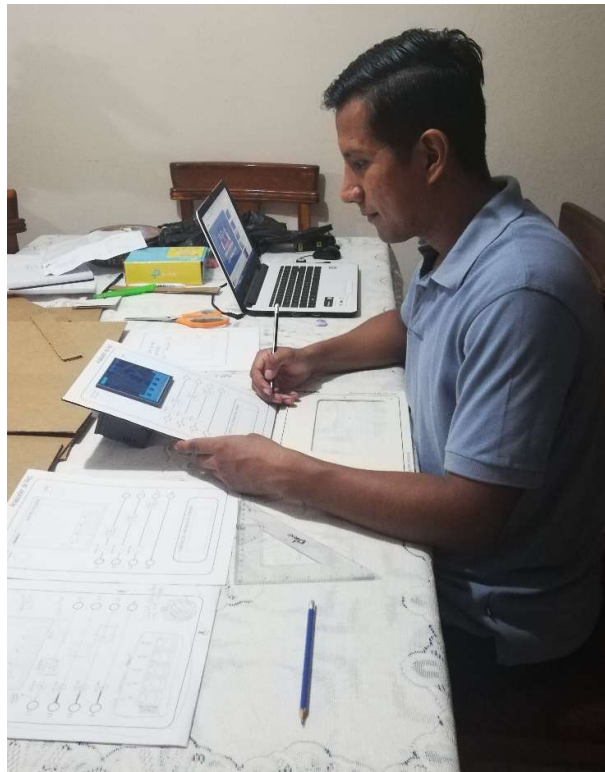


FIGURA 15: Elaboración de planos a escala para presentación física en tablero. Fuente: Los autores.

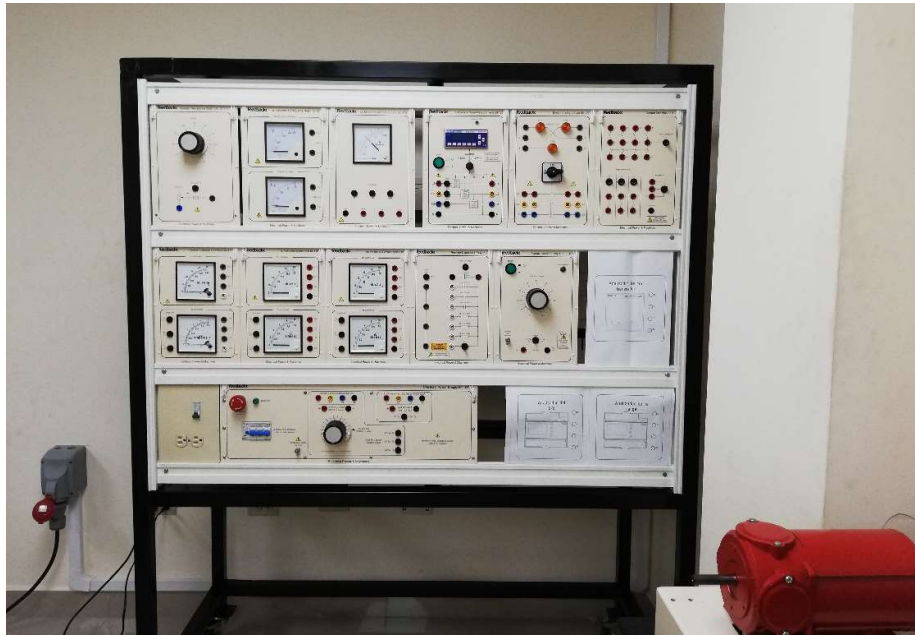


FIGURA 16: Presentación de propuesta para montaje de nuevos cubículos de medición en tablero feedback existente. Fuente: Los autores.

Una vez tomadas las medidas reales de los cubículos que se van a instalar, se procedió a elaborar una estructura modelo para llevar al fabricante y construir la estructura metalmecánica final.



FIGURA 17: Elaboración de estructura modelo para presentación a fabricante de estructura metalmecánica. Fuente: Los autores. [18]

Es importante mencionar que dentro de estos compartimientos adicionales hay que adecuar el espacio necesario para instalar los transformadores de corriente para medición. En este caso en particular se utilizarán transformadores de corriente toroidales de aplicación industrial. Estos serán encargados de manipular la señal de corriente para que pueda ser recibida por el dispositivo de medición.



FIGURA 18: Adecuación de espacio para transformadores de corriente de medición. Fuente: Los autores. [19]



FIGURA 19: Elaboración de estructura modelo de dispositivos de medición secundarios para presentación a fabricante de estructura metalmecánica. Fuente: Los autores.



FIGURA 20: Medición y registro de valores en tablero existente. Fuente: Los autores. [3]

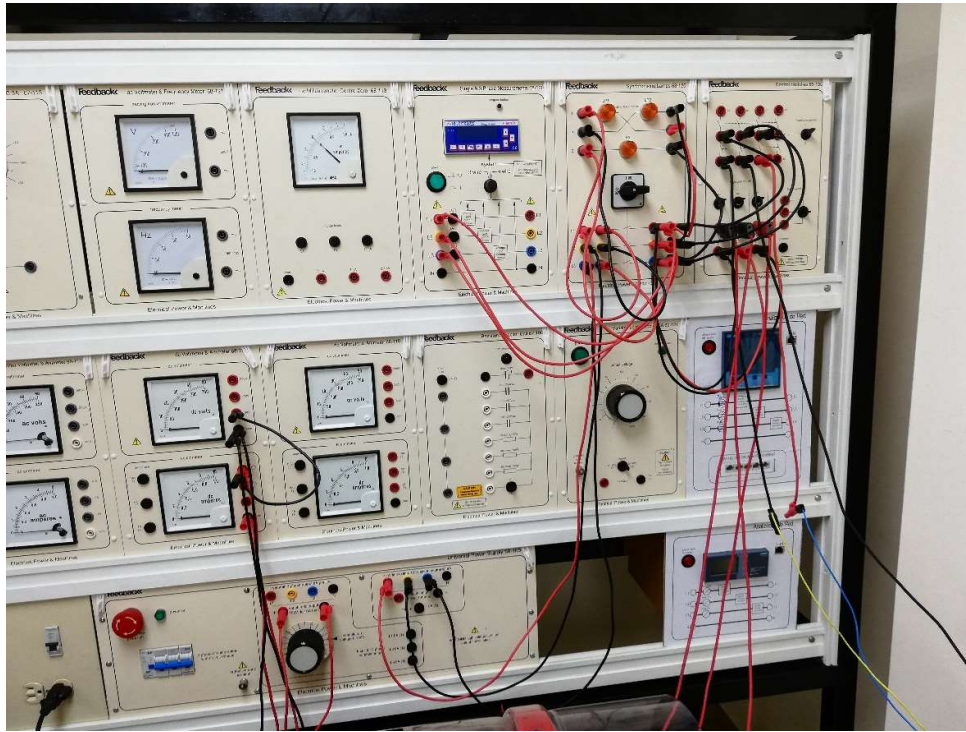


FIGURA 21: Montaje de estructura modelo en tablero existente. Fuente: Los autores.



FIGURA 22: Aprobación de estructuras modelo a escala, posterior a montaje de las mismas, dentro de tablero feedback existente. Fuente: Los autores

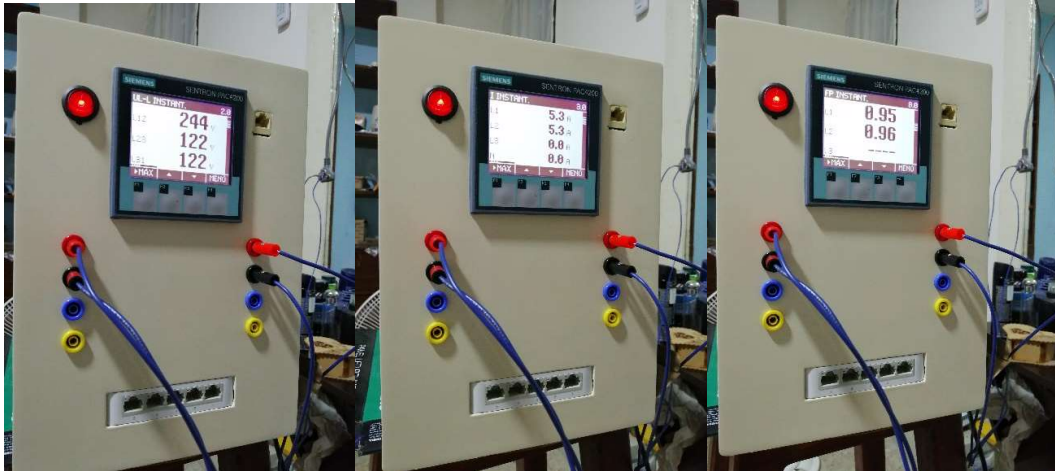


FIGURA 23: Elaboración de estructura para medidor de parámetros SENTRON PAC 4200. Fuente: Los autores

Una vez elaborado el cubículo de medición para el SENTRON PAC 4200, se procedió a calibrar sus valores de manera manual, con los datos existentes respecto a la tensión de la red y relación entre el devanado primario y secundario de los transformadores de corriente.

La polaridad de los transformadores de corriente es muy importante en cuando a la conexión se refiere, debido a que puede provocar mediciones inversas; provocando un registro de valores erróneo cuando se desee cuantificar magnitudes de energía.

Este efecto también se traduce de manera negativa en aplicaciones de protección eléctrica que requiere el uso de transformadores de corriente. Una polaridad equivocada puede provocar el malfuncionamiento de alguna protección eléctrica como lo es la protección diferencial, por ejemplo.



FIGURA 24: Elaboración de estructura metalmecánica para medidor de parámetros SENTRON PAC 2200. Fuente: Los autores

CAPÍTULO 4

4. APLICACIÓN REAL EN INDUSTRIA

Para el desarrollo del capítulo cuatro de este trabajo de titulación, mediante ilustración, se expondrá la aplicación del uso de este sistema de medición en la empresa SMI.

Hace un año y medio, la planta industrial San Miguel Industries (SMI) ubicada en la vía a Durán-Tambo, expandió su infraestructura y aumentó un galpón entero para proceso de elaboración de tapas y cucharas plásticas. San Miguel Industries es una corporación dedicada a la fabricación de preformas de plástico, así mismo la elaboración de botellas, tapas y cucharas plásticas. Trabajan de manera conjunta con otras industrias de bebidas a nivel internacional. El año 2014, SMI construyó su primer proyecto, el cual se basaba en 2 galpones industriales para montar una planta de plásticos. Inicialmente, la potencia instalada era de 5MVA. Hoy en día, ha incrementado a 8MVA.

Actualmente, la importancia de poseer un sistema de gestión de energía, radica en su capacidad de realizar mejoras en eficiencia energética de los procesos a medir.

El Sentron Power Manager es un software de gestión de energía utilizado para visualizar las mediciones que se realizan en campo por los diferentes instrumentos de medición, se pueden añadir al sistema medidores de energía eléctrica, medidor de aire, medidor de agua, medidor de vapor y medidor de gas, adicionalmente puede guardar la información medida para luego analizarla y que posteriormente el recurso humano de la planta pueda tomar decisiones para una mejora continua.

El software tiene bondades que serán útiles para realizar análisis estratégico, como los indicadores de desempeño o KPIs, informes de consumo energético por día, mes, años y adicionalmente, podemos ver curvas de calidad de energía como tal, lo cual va a depender del equipo de medición. Por ejemplo. En la línea Siemens, hay un medidor de análisis de energía en el cual vamos a poder visualizar la distorsión armónica. [5]

Finalmente, con este software de medición de energía se pueden realizar diagnósticos de equipos en tiempo real, los cuales ayudan a tener un mejor tiempo de respuesta para los mantenimientos que se puedan realizar a futuro.

Basado en todas las ventajas que brinda al usuario el poseer un software de gestión de energía y dado el incremento de carga que ha vivido la industria SMI en los últimos años; las políticas de gerencia de producción hacen hincapié en el cuidado y eficiencia energética de la planta, para poder optimizar los costos de energía eléctrica dentro de sus procesos. Para este efecto, la industria incorporó en sus instalaciones, un sistema de medición con comunicaciones; basado en el mismo principio del sistema de medición implementado en el módulo de pruebas feedback. Esto se realizó con la finalidad de gestionar de una mejor manera el funcionamiento de las diferentes líneas de producción y programar de manera estratégica los mantenimientos de la planta, con el objetivo de reducir costos.

4.1.1. Datos de la práctica

Tema: Observación de aplicación real de Software Sentron Power Manager; se procederá con el análisis del uso de esta herramienta de medición dentro de la planta industrial SMI.

4.1.2. Objetivo general

Determinar el alcance de las mejoras que se pueden lograr en el sistema eléctrico tras haber incorporado un sistema de medición con comunicaciones, que incluya software de gestión de energía.

4.1.3. Objetivos específicos

- Identificar los diferentes grupos de medición que se encuentran en la planta SMI.
- Identificar las diferentes opciones que brinda el Software Sentron Power Manager.
- Identificar la arquitectura de red necesaria para comunicar los equipos de medición con la red.

4.1.4. Desarrollo

Para poder implementar este sistema de medición, se debe cumplir ciertos parámetros que se indican a continuación.

- Debe haber un equipo cuya función sea centralizar los demás periféricos para posteriormente enviar una sola señal de comunicación aguas arriba de la red. El dispositivo de medición SENTRON PAC 4200 cumple la función de un Gateway.
- El Software Sentron Power Manager debe estar actualizado con la licencia que se utiliza según sea el caso, para que el programa pueda trabajar con la cantidad específica de medidores que el usuario posee.
- Todos los periféricos de la red de medición deben estar conectados a través del mismo protocolo de comunicación. En muchas ocasiones se deben incorporar módulos de comunicación adicionales para que el equipo que carece de dicho protocolo, pueda comunicarse con los demás de la red. [5]

En la gráfica mostrada a continuación se puede apreciar un esquema básico de cómo está conformada la arquitectura de red del sistema de medición SENTRON.

Los equipos de bajo nivel se encuentran comunicados por medio del protocolo de comunicación Modbus RTU. Para cambiar de nivel de comunicación se utiliza el medidor SENTRON PAC 4200, el cual se lo puede utilizar de Gateway y así hacer posible la comunicación vía Ethernet con los equipos de alto nivel. El medidor SENTRON PAC 4200 puede conectarse a un switch Ethernet o directamente a la computadora donde se encuentra alojado el software de gestión de energía Sentron Power Manager. [11]

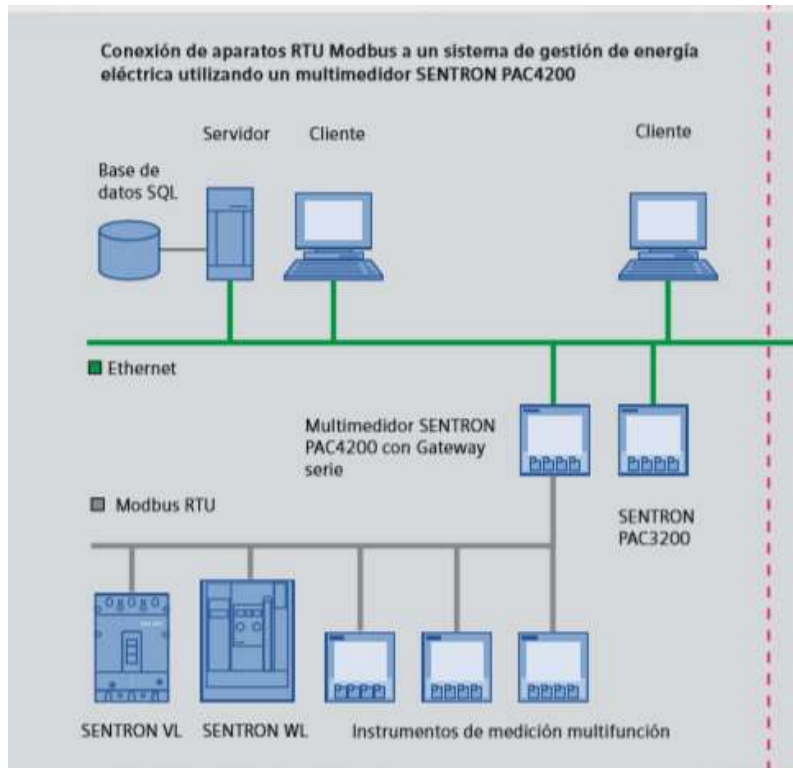


FIGURA 25: Arquitectura de red de medidores de parámetros Sentron Pac.

Fuente: Siemens – Sentron Power Manager [12]

En la planta industrial SMI, existen más de 50 medidores de parámetros. Hay un medidor de parámetros por cada tablero eléctrico de distribución.

Dentro del proceso de producción en SMI, intervienen diferentes sistemas como Inyección, Soplado, Chillers, Compresores, Ventilación y Servicios Generales.

Así mismo, hay equipos que funcionan a tensión de 220 Vac y otros que funcionan a tensión de 460 Vac.

Para agrupar los diferentes equipos de medición del sistema eléctrico en SMI; una vez implementada la red de comunicación que se indica en la gráfica anterior, se deberá direccionar a cada periférico con una dirección IP específica y una numeración determinada para que el Software se pueda comunicar con él.

Ordenadamente; dentro de la ventana del software se crean nuevos dispositivos virtuales; que al asignarles las direcciones previamente establecidas en los medidores de campo; se podrán visualizar en la pantalla de la PC controladora del Software.

Todos estos dispositivos virtuales se pueden agrupar en diferentes categorías, dependiendo de la nomenclatura que se maneje en la planta. Por ejemplo; en SMI, hay sistema de Inyección a 220 Vac y 460 Vac. El Software Sentron Power Manager permite crear una categoría específica que sea capaz de abarcar un determinado número de dispositivos de medición; según la forma en la que el programador desee agrupar. En esta planta hay 8 Inyectoras a 220 Vac y 10 Inyectoras a 460 Vac; el Software puede contabilizar toda la energía de una misma categoría; en este caso; la categoría de Inyección 220, la cual abarca 8 medidores diferentes; llevará el registro de la energía total consumida por las 8 máquinas inyectoras.

Es importante mencionar que una categoría nueva no necesariamente puede ser un nuevo medidor físico. Esto es un contador Virtual que es creado a partir de un algoritmo algebraico sumador, el cual registrará los valores y tendencias sumados de cada uno de los medidores que lo conforman.

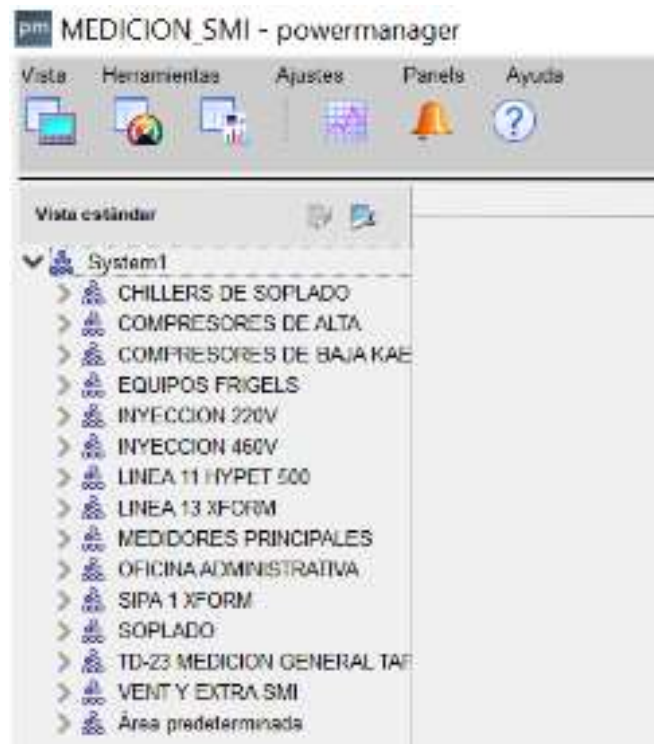


FIGURA 26: Grupos de medición existentes en planta industrial SMI. Incluye proceso de Soplado, Chillers, Compresores, Inyección, Ventilación y Líneas varias.

Fuente: Los Autores.

Analizamos el caso de la Inyectora GL300 - 220 Vac; Cuando el Software se comunica con el medidor es capaz de registrar sus valores diarios de consumo y almacenarlos para una posterior reportaría. Hay varias opciones; estudiaremos la primera.

En la imagen que se muestra a continuación se puede visualizar la gráfica de tendencia en barras y en espectro. Esta es la opción de **PANEL**. Se pueden observar 3 indicadores; el primero indica la potencia activa; el segundo la potencia aparente y el tercero el factor de potencia.

Notamos que visualmente podemos notar que los dos indicadores del inicio están casi iguales, y esto es porque la potencia aparente se asemeja mucho a la potencia activa; con lo cual podemos determinar que el factor de potencia es elevado; y esto lo corroboramos con el indicador tercero; que marca un valor muy próximo a la unidad.

En esta gráfica también se puede apreciar que la máquina estuvo apagada en ciertos días; y que luego volvió a operar con normalidad. [8]

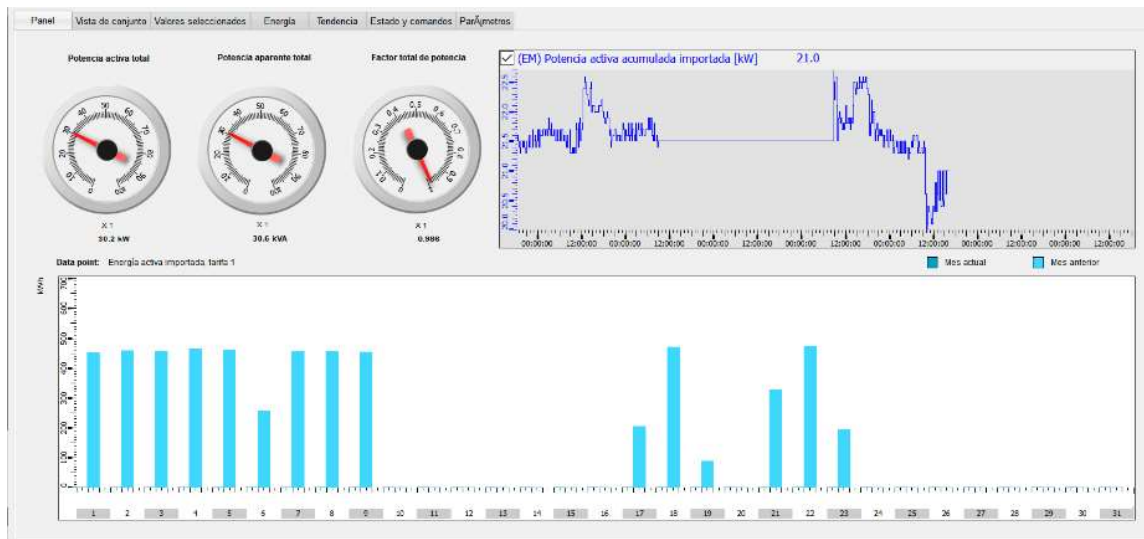


FIGURA 27: Gráfica de Opción 1 – Panel; tendencia de medición de máquina Inyectora GL-300, 220 Vac. Fuente: Los Autores.

La segunda opción del Software, **VALOR DE CONJUNTO**, Permite visualizar las magnitudes de Potencia activa, Potencia reactiva, Potencia aparente, Corriente, Tensiones, Factor de Potencia y Frecuencia. Su utilidad es importante para determinar los valores de las magnitudes anteriormente mencionadas. [3]

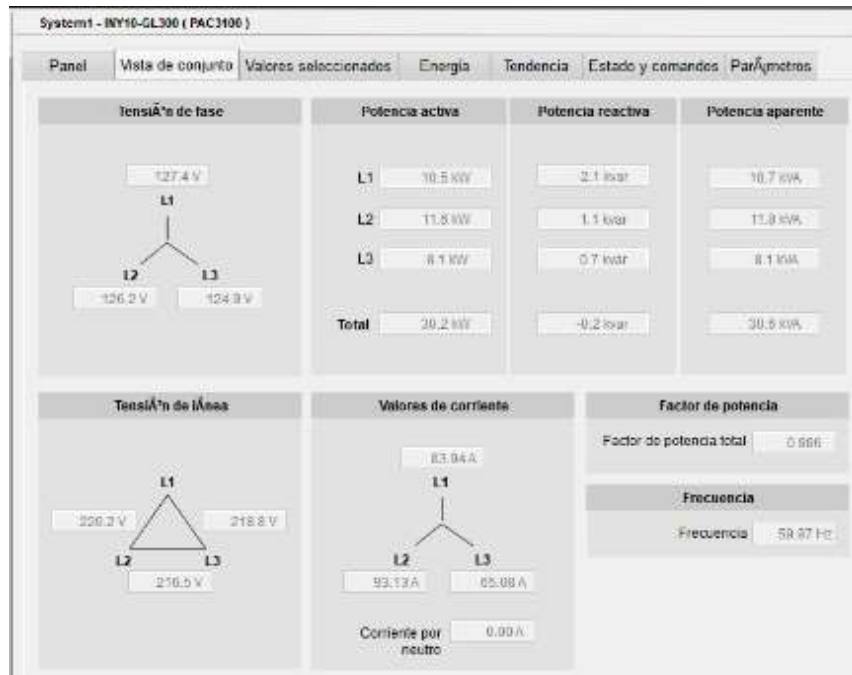


FIGURA 28: Gráfica de Opción 2 – Valor de conjunto, Magnitudes eléctricas de Carga Inyectora 220 Vac. Fuente: Los Autores.

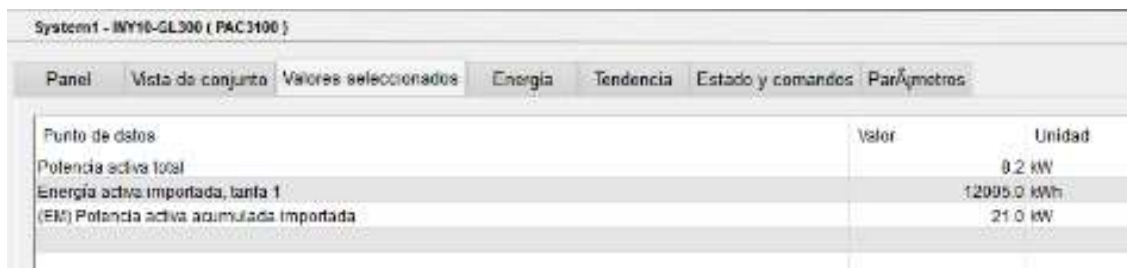


FIGURA 29: Gráfica de Opción 3 – Valor seleccionados, Permite elegir los valores a visualizar en las reporterías. Fuente: Los Autores.

Otra ventaja adicional del Software es que permite visualizar de manera comparativa los consumos del mes anterior vs el mes actual. En el caso que se detalla a continuación, podemos notar que el mes anterior no hubo consumo durante la segunda semana del mes.

De color turquesa se puede visualizar el consumo eléctrico del mes anterior; de color azul oscuro se puede visualizar el consumo del presente mes.

Con estos datos se pueden tomar decisiones de producción y de mantenimiento; por lo que es una ventaja muy positiva en esta aplicación. [3]

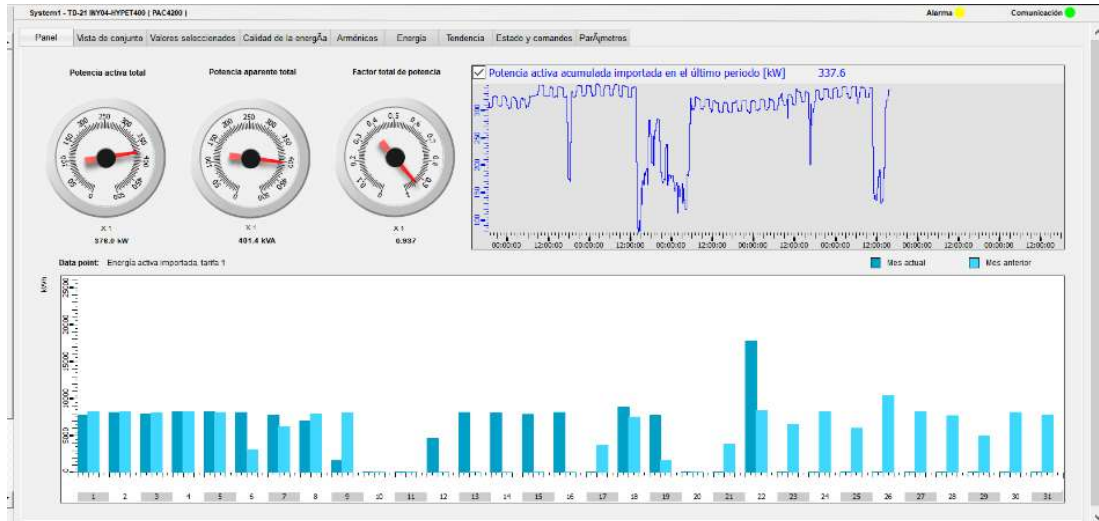


FIGURA 30: Gráfica de Opción 1, Visualización Comparativa de mes anterior vs mes actual, consumo de Tablero TD-21-INY04-HYPET400. Fuente: Los Autores.

En la opción 4, podemos obtener datos referentes a la calidad de energía que visualiza ese medidor específico. En la gráfica que se encuentra a continuación, podemos ver el resumen de los valores de THD en las corrientes y voltajes del sistema [5]. El THD es un factor de Distorsión Armónica Total que sirve como indicador para poder determinar la criticidad que juegan los armónicos en dicha instalación eléctrica. Las corrientes armónicas provocan un incremento en los valores de corriente y por consecuente las pérdidas por efecto Joule se incrementan. Esta opción es una de las bondades más útiles del sistema. Se pueden planificar mantenimientos teniendo el registro continuo de esta variable. La opción 5 permite visualizar los armónicos de cada una de las líneas trifásicas; armónicos tanto de voltajes como de corrientes. [14]

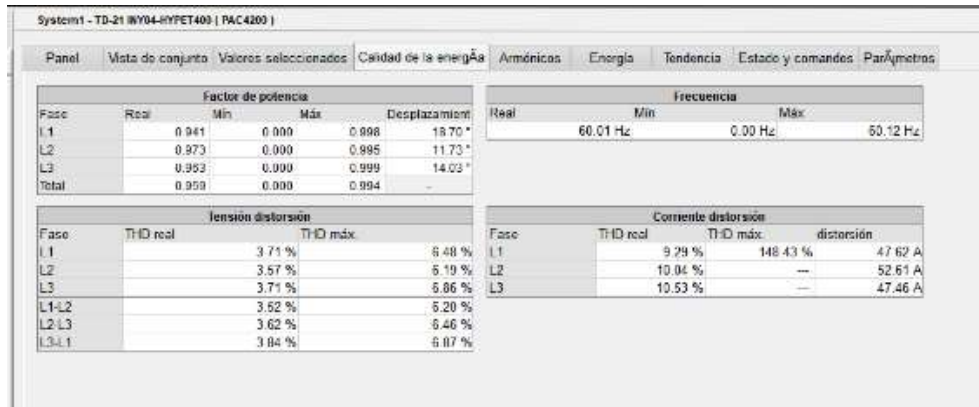


FIGURA 31: Gráfica de Opción 4, Calidad de Energía de Tablero TD-21-INY04-HYPET400; THD 10% aproximado. Fuente: Los Autores.

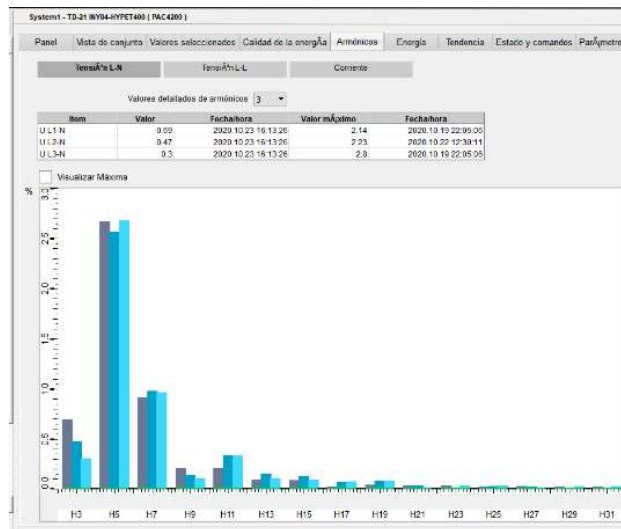


FIGURA 32: Gráfica de Opción 5, Armónicos de Línea-Neutro Tablero TD-21-INY04-HYPET400; Visualización por gráficas. Fuente: Los Autores.

Finalmente, la opción de Tendencia permite visualizar las desviaciones de los valores de Potencia activa, Factor de potencia, tensiones y corrientes trifásicas [4]

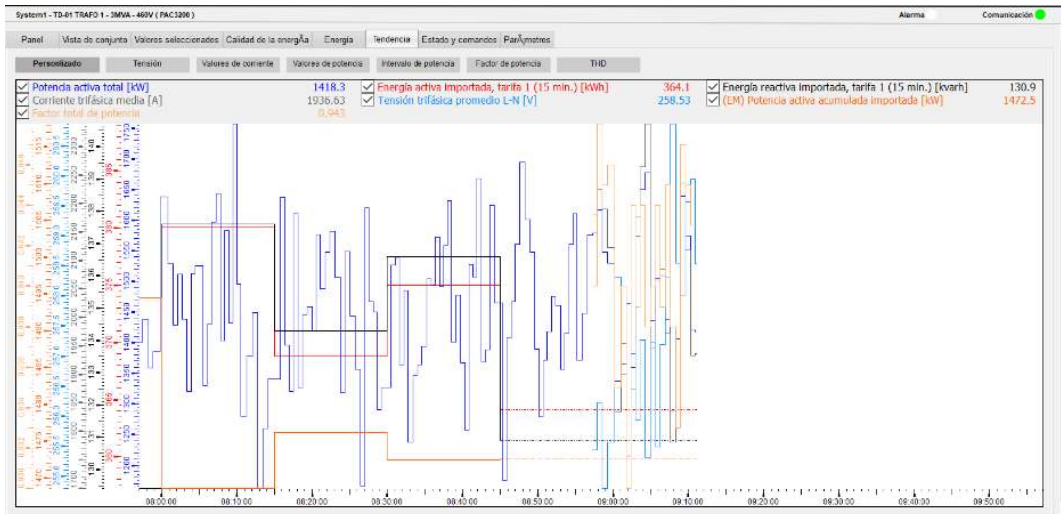


FIGURA 33: Gráfica de Opción 6, Tendencia de valores en transformador trifásico de 3 MVA; Visualización por gráficas. Fuente: Los Autores.

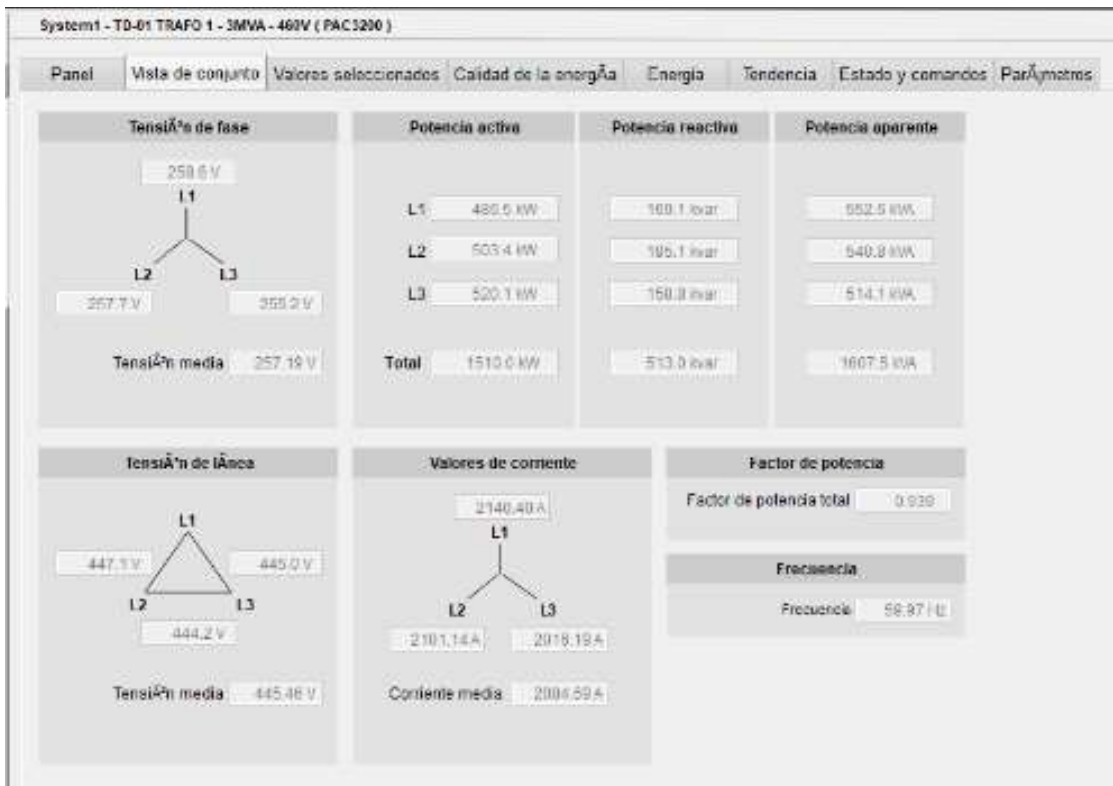


FIGURA 34: Resumen de Transformador Trifásico de 3 MVA. Fuente: Los Autores.

Finalmente; La ventaja más práctica que posee este Software, es su capacidad para emisión de reportes. Con esta opción se puede seleccionar un rango de tiempo y se puede seleccionar una categoría o varios medidores para la generación del reporte.

Una vez emitido el reporte; el gerente técnico de mantenimiento podrá implementar mejoras estratégicas en la operación de sus máquinas y procesos; en aras de buscar la optimización energética de la planta. [4, 20]

Energía total - Energía planta

Crear reporte: Programación

Parámetros de programación:

Intervalo de programación: Diario

Próximo disparador: 2020.10.24 08:30:00.000

Estado: Activo

Parámetros de datos:

Dirección: Día

Tipo de diagrama: Barra

Parámetros de reporte:

Tipo de archivo: Excel PDF

Ruta: C:\SENTRON\MEDICION_SM\data

Email

mantenimiento

Guardar

FIGURA 35: Opción de emisión de reportes con Software Sentron Power Manager. Opción diaria. Fuente: Los Autores.

powermanager					
Tipo de reporte	Energía total				
Disparador de tipo	Manual				
Creado por	noel				
Creado en	23/10/2020 16:22				
Rango de tiempo	22/10/2020 00:00 to 22/10/2020 23:59				
Nombre de dispositivo	Ubicación	Punto de datos	Energía total (kWh) - 21/10/2020 00:00 to 21/10/2020 23:59	Energía total (kWh) - 22/10/2020 00:00 to 22/10/2020 23:59	Diferencia (%)
TD-11 INV01-SIPA-XFORM	INYECCION 460V	TD-11 INV01-SIPA-XFORM Energía activa importada, tarifa 1	0,00	28393,05	
TD-12 INV02-GL300	INYECCION 460V	TD-12 INV02-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	11930,39	
TD-44 INV02-GL300	INYECCION 220V	TD-44 INV02-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	826,17	
TD-15 INV03-GL300	INYECCION 460V	TD-15 INV03-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	14366,06	
TD-44-3 INV03-GL300	INYECCION 220V	TD-44-3 INV03-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1145,28	
TD-21 INV04-HYPET400	INYECCION 460V	TD-21 INV04-HYPET400 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	17635,83	
TD-43-3 INV04-GL300	INYECCION 220V	TD-43-3 INV04-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1487,55	
TD-02S INV07-SIPA PFS	INYECCION 460V	TD-02S INV07-SIPA PFS Energía activa importada, tarifa 1	0,00	493,08	
TD-16 INV08-GL300	INYECCION 460V	TD-16 INV08-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	20741,66	
TD-46 INV08-GL300	INYECCION 220V	TD-46 INV08-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	981,30	
TD-34 INV09-HYPET 400	INYECCION 460V	TD-34 INV09-HYPET 400 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	28391,05	
TD-43-2 INV09-GL300	INYECCION 220V	TD-43-2 INV09-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1686,46	
INV10-GL300	INYECCION 460V	INV10-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	16114,35	
INV10-GL300	INYECCION 220V	INV10-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	0,00	
INV11-hypet 500	INYECCION 460V	INV11-hypet 500 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	29912,47	
INV11-hypet 500	INYECCION 220V	INV11-hypet 500 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	0,00	
TD-31 INV12 - GL300	INYECCION 460V	TD-31 INV12 - GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	18277,81	
TD-43-4 INV12-GL300	INYECCION 220V	TD-43-4 INV12-GL300 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	2502,76	
GENERAL INV13	LINEA 13 XFORM	GENERAL INV13 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	25240,31	
CHILLER FRIGOMECAINICA	CHILLERS DE SOPLADO	CHILLER FRIGOMECAINICA Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1393,30	
CHILLER PICOVAH	CHILLERS DE SOPLADO	CHILLER PICOVAH Energía activa importada, tarifa 1	0,00	550,24	
COMP. HORIZON 1200	COMPRESORES DE ALTA	COMP. HORIZON 1200 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	5653,42	
COMP. HORIZON 1400	COMPRESORES DE ALTA	COMP. HORIZON 1400 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	4917,90	
COMP. 4BIS A, BIS	COMPRESORES DE ALTA	COMP. 4BIS A, BIS Energía activa importada, tarifa 1	0,00	530,43	
COMP. 4BIS	COMPRESORES DE ALTA	COMP. 4BIS Energía activa importada, tarifa 1	0,00	0,00	
FRIGEL 1,12	EQUIPOS FRIGELS	FRIGEL 1,12 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	6010,62	
FRIGEL 3,4	EQUIPOS FRIGELS	FRIGEL 3,4 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	7373,83	
FRIGEL 6,6	EQUIPOS FRIGELS	FRIGEL 6,6 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	5641,80	
SOP01 SIDEL SB06 UNIV	SOPLADO	SOP01 SIDEL SB06 UNIV Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1546,93	
SOP02 SIPA_SFL	SOPLADO	SOP02 SIPA_SFL Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1193,68	
SOP03 SIDEL 2F	SOPLADO	SOP03 SIDEL 2F Energía activa importada, tarifa 1	0,00	556,21	
SOP04 SIDEL SB06 SERIES 2	SOPLADO	SOP04 SIDEL SB06 SERIES 2 Energía activa importada, tarifa 1	0,00	0,00	
SOP05 SIPA_SFL_REPPET	SOPLADO	SOP05 SIPA_SFL_REPPET Energía activa importada, tarifa 1	0,00	1036,49	
SACMI - TAPAS	TD-23 MEDICION GENERAL TAPAS	SACMI - TAPAS Energía activa importada, tarifa 1	0,00	0,44	

FIGURA 36: Reporte emitido con Software Sentron Power Manager. Reporte de energía total de planta. Fuente: Los Autores.

4.1.5. Registro de resultados

➤ **Cuestionario:**

¿Qué ventajas se adquieren al implementar un sistema de medición avanzado que permita la adquisición de datos y emisión de reportes de energía?

➤ **Conclusiones:**

Se han identificado las mejoras que se pueden alcanzar cuando se incorpora al sistema eléctrico una red de medición comunicada con un software de gestión de energía. El Tablero FEEDBACK existente, gozará de estas mejoras técnicas y los registros genuinos del siguiente documento, tomados en la planta SMI, podrán ser útiles como objeto de estudio o ejemplo para que los estudiantes de Facultad, se relacionen con este tipo de soluciones industriales.

Los grupos de medición que están configurados en el software de gestión de energía en SMI son, Inyección 220V, inyección 460V, Línea 11, Línea 13, Oficina Administrativa, Soplado, Sipa X form, Ventilación, Chillers, Compresores de alta y Compresores de baja. Están agrupados en esta forma para tener un orden en la emisión de reportes y obtener los registros de medición por procesos de producción.

Implementar un sistema de medición con comunicaciones permite ofrecer a la industria una alternativa tecnológica para llevar a cabo una gestión estratégica del consumo de energía y costos de operación. Con esta facilidad es posible permitir optimizaciones en el sistema basado en la norma EN 16001.

Dentro de las diferentes opciones que brinda el Sentron Power Manager se incluyen; visualización de graficas de energía y gastos; acceso directo vía web y reducción en costos por concepto de Ingeniería, ya que, al poseer el software de gestión de energía, se maneja de manera más óptima la información de campo.

➤ **Recomendaciones**

Se sugiere incorporar un software de gestión de energía en sistemas eléctricos de elevado costo de facturación para poder gestionar de mejor manera las decisiones respecto a mantenimiento y producción.

Analizar los diferentes tipos de reportes que el Software de Gestión de Energía, Sentron Power Manager, es capaz de generar para análisis e interpretación de resultados.

Utilizar equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.

Tomar acciones correctivas cuando se detectan anomalías o condiciones de operación sospechosas para reducir pérdidas de energía.

Tener en cuenta las normas IEC 61000-2-2/4 e IEEE 1159 para evaluar si el sistema eléctrico está en condiciones aceptables de funcionamiento.

5. Referencias

- [1] A. Colmenar Santos y J. L. Hernández Martín, Instalaciones eléctricas en baja tensión, Bogotá, Colombia: Editorial Ediciones de la U, 2014.
- [2] Metz-Noblat, Benoit de; Dumes, Frédéric; Thomasset, Georges, *"Reproducción del Cuaderno Técnico no.158 de Schneider Electric, Cálculo de corrientes de cortocircuito"*, España: Schneider Electric España S.A., 2000.
- [3] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, Colombia: "British Aerospace Australia", traducido por Eduardo Rozo Castillo, Ingeniero Electricista y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Tercera Edición.
- [4] G. Enríquez Harper, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, México, D.F.: Editorial Limusa S.A., 2011.
- [5] SIEMENS, «Power Monitoring Made Simple,» Siemens, 2020. [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/low-voltage/components/sentron-measuring-devices-and-power-monitoring.html>.
- [6] J. C. Romero Escobar, *Diseño de subestaciones eléctricas*, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2014.
- [7] «www.aquaingenieria.com,» [En línea]. Available: <http://aquaingenieria.com.co/wp-content/uploads/2016/02/RED-ELECTRICA.jpg>. [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [8] Fluke Corporation, «Analizador trifasico de energia y calidad de la energía eléctrica,» 2012.
- [9] «www.dicyt.com,» [En línea]. Available: <http://www.dicyt.com/data/78/26278.jpg> . [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [10] Siemens, «Industry mall,» 2019. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/34261595/manual-de-sistema-mult%C3%ADmetro-sentron-pac4200?dti=0&lc=es-WW>.
- [11] M. S. Alam, «Research gate, Energy management y power distribution systems,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/334435719_Energy_Management_in_Power_Distribution_Systems_Review_Classification_Limitations_and_Challenges.

- [12] SIEMENS, «Power Management,» [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/topics/totally-integrated-power/markets/power-management.html>.
- [13] [En línea]. Available: <http://previews.123rf.com/images/huilsh/huilsh1411/huilsh141100107/34055716-Sala-de-control-de-la-subestacion-Foto-de-archivo.jpg>. [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [14] Fluke Corporation, «PowerLog Application Software,» 2007.
- [15] ROCKWELL AUTOMATION, «Energy management,» [En línea]. Available: <https://www.rockwellautomation.com/en-au/capabilities/industrial-energy-management.html>.
- [16] [En línea]. Available: <http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1LQDXJQSF-R2WGXB-1XTT/Transformadores%20de%20corriente.png>. [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [17] INP CORP, «Industrial Network Protocols,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/industrial-network-protocol>.
- [18] I. Siemens Energy and Automation, «Supplementary Protectors». Patente 5SX2, N-type 55 mm mounting depth.
- [19] Siemens Energy and Automation, Inc., *Componentes para instalaciones eléctricas industriales, comerciales y prediales.*, Brasil: Siemens.
- [20] «www.reinhausen.com,» [En línea]. Available: http://www.reinhausen.com/es/PortalData/1/Resources/rg/sectors_and_applications/title/scaled/Hermetiktrafo_xl.JPG. [Último acceso: 4 diciembre 2016].