UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO.

TEMA:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA NORMATIVA INTERNA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y MONITOREO DEL CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA EMPRESA SEIUS S.A.

AUTOR:

LUIS ENRIQUE TINOCO JARAMILLO

TUTOR:

HAMILTON LEONARDO NUÑEZ VERDEZOTO

Quito, mayo de 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, autorizo 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.

Quito, mayo de 2015

_____

Luis Enrique Tinoco Jaramillo

C.C. 0704453422

DEDICATORIA

A Dios, a mi mamá, a mi esposa y a mi difunto compañero y amigo por apoyarme en mi educación y en cada momento de dificultad en mi vida, por enseñarme a valorar a las personas y los momentos junto a ellos.

Son un tesoro valioso en mi vida, los amo.

Luis

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana y a mis profesores por los conocimientos, enseñanzas y consejos que me brindaron para el desarrollo de esta tesis.

Luis

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO 1 2
ANTECEDENTES 2
1.1. Título del proyecto. 2
1.2. Planteamiento del problema. 2
1.3. Objetivos. 3
1.3.1. Objetivo general. 3
1.3.2. Objetivos específicos: 3
1.4. Alcance. 3
1.5. Justificación. 4
1.6. Beneficiarios. 5
CAPÍTULO 2 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1. Sistema de calidad de energía. 6
2.1.1. Armónicos. 6
2.1.2. Transitorios electromagnéticos. 7
2.1.3. Factor de potencia. 8
2.1.4. Sobretensiones. 9
2.1.5. Subtensiones. 9
2.1.6. Calidad de energía. 9
2.1.7. Sistema de calidad de energía. 10
2.2. ¿Qué dice el plan nacional del buen vivir con respecto al consumo energético? 11
2.3. Productividad y eficiencia energética. 12
2.4. Normas internacionales de calidad de energía. 12
2.4.1. Norma para la tensión. 13
2.4.2. Norma para la corriente armónica. 14
2.4.3. Norma para armónicos. 15
2.4.4. Norma sobre variaciones de frecuencia. 16
2.4.5. Norma para transitorios. 16

2.4.6. Norma de calidad de energía. 17
2.5. Normas nacionales de calidad de energía. 19
2.6. Sistema de monitoreo de energía. 19
2.7. Definición de SCADA. 20
2.8. Definición de HMI. 21
2.9. Aplicación de una hmi en un sistema de calidad de energía. 21
2.10. Sistema SCADA de calidad de energía. 22
2.11. Sistema de transferencia automática de energía. 23
CAPÍTULO 3 24
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN 24
3.1. Partes del sistema de calidad de energía. 24
3.2. Contenido del manual de normativa interna para la construcción de sistemas de calidad de energía. 24
3.3. Caracterización de los equipos. 25
3.3.1. Caracterización de los componentes del tablero de transferencia. 25
3.3.2. Caracterización de los componentes del sistema de monitoreo. 34
3.4. Arquitectura de red. 38
3.5. Diagramas de conexión. 41
3.5.1. Simbología Eléctrica. 41
3.5.2. Diagrama de conexión para centrales de medida. 42
3.5.3. Diagrama del sistema de calidad de energía. 44
3.5.4. Diagrama de entradas y salidas del PLC. 45
3.6. Identificación de elementos. 47
3.7. Montaje del tablero de transferencia. 50
3.8. Conexión de los dispositivos de red Modbus. 52
3.8.1. Construcción del cable RS-485. 52
3.9. Flujograma del proceso de transferencia. 55
3.10. Implementación de la red Modbus RTU – TCP/IP. 57
3.10.1. Configuración de los parámetros de comunicación en las centrales de medida. 57
3.10.2. Configuración de la pasarela EGX100. 58
3.10.3. Configuración del DIP SWITCH de la Pasarela EGX100 para comunicación 2 hilos. 59
3.10.4. Asignación de direcciones IP a los equipos de la red Ethernet. 60

3.11. Power Monitoring Expert. 61
3.11.1. Caracterización del software Power Monitoring Expert. 62
3.11.2. Management Console. 62
3.11.3. Vista. 66
3.11.4. Asignación de registros. 76
3.12. Web server. 77
3.12.1. Gadget para los cuadros de mando. 78
3.12.2. Visualización de diagramas. 80
3.12.3. Tabulaciones y gráficas. 81
3.12.4. Informes. 82
CAPÍTULO 4 87
PRUEBAS Y RESULTADOS 87
4.1. Pruebas de la comunicación del sistema. 87
4.1.1. Pruebas de comunicación de las PM810. 87
4.1.2. Prueba de comunicación de la Micrologic 6.0H. 93
4.2. Aplicaciones del web server. 94
4.2.1. Los Cuadros de Mando. 94
4.2.2. Pruebas de monitoreo en los diagramas unifilares. 96
4.2.3. Tablas de visualización de datos. 97
4.2.4. Alarmas. 97
4.2.5. Pruebas de generación de Informes. 99
4.3. Aplicaciones del sistema de calidad de energía. 99
4.3.1. Monitoreo de la red Eléctrica. 100
4.3.2. Análisis de Energía. 101
4.4. Análisis del costo del sistema de calidad de energía. 103
CONCLUSIONES 105
RECOMENDACIONES 106
LISTA DE REFERENCIAS 107
ANEXOS 108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites según la norma EN50160. 14
Tabla 2. Límites de corriente armónica para los equipos clase A según la norma 61000-3-2. 15
Tabla 3. Límites de corta y larga duración según norma IEEE 1159. 17
Tabla 4. Consideraciones para evaluar la calidad de energía. 18
Tabla 5. Caracterización Gabinete eléctrico. 26
Tabla 6. Caracterización del Breaker Motorizado. 27
Tabla 7. Caracterización Interbloqueo Eléctrico. 28
Tabla 8. Caracterización PLC Zelio. 29
Tabla 9. Caracterización Supervisor de Voltaje. 30
Tabla 10. Caracterización Breaker Termomagnético. 31
Tabla 11. Caracterización Breaker Termomagnético DC. 31
Tabla 12. Caracterización Paro de Emergencia. 32
Tabla 13. Caracterización Switch Selector. 32
Tabla 14. Caracterización Pulsador. 33
Tabla 15. Caracterización Luces Piloto. 33
Tabla 16. Caracterización Fuente de 24Vdc. 34
Tabla 17. Caracterización Medidores. 35
Tabla 18. Caracterización Breaker Principal del suministro. 36
Tabla 19. Caracterización Pantalla Magelis Touch con Windows. 36
Tabla 20. Caracterización Pasarela Ethernet. 37
Tabla 21. Caracterización Concentrador Modbus RTU. 37
Tabla 22. Dispositivos de la red. 38
Tabla 23. Direcciones RTU de los dispositivos de la red. 40
Tabla 24. Direcciones TCP/IP de los dispositivos de la red Ethernet. 40
Tabla 25. Simbología eléctrica. 41
Tabla 26. Entradas del PLC. 46
Tabla 27. Salidas del PLC. 47
Tabla 28. Identificación de los elementos de control. 48
Tabla 29. Identificación de los elementos de protección. 49
Tabla 30. Borneras y pines de la PM810 y el conector RJ45. 53

Tabla 31. Borneras de la Micrologic y concentrador. 54
Tabla 32. Borneras del concentrador y la pasarela EGX100. 55
Tabla 33. Caracterización Power Monitoring Expert. 62
Tabla 34. Acciones de la pantalla Inicio. 67
Tabla 35. Acciones de la pantalla tableros. 69
Tabla 36. Acciones de la pantalla Micrologic. 70
Tabla 37. Acciones de la pantalla Medidores de Suministro. 71
Tabla 38. Acciones de la pantalla Medidores de Generación. 72
Tabla 39. Acciones de la pantalla de presentación de mediciones. 73
Tabla 40. Acciones de la pantalla Unifilares. 74
Tabla 41. Comparación de mediciones de la PM1. 88
Tabla 42. Comparación de mediciones de la PM3. 89
Tabla 43. Comparación de mediciones de la PM5. 90
Tabla 44. Comparación de mediciones de la PM7. 91
Tabla 45. Comparación de mediciones de la PM9. 92
Tabla 46. Comparación de mediciones de la Micrologic. 93
Tabla 47. Análisis de costo. 103
Tabla 48. Comparación del software PME con otros para SCADA. 104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Onda con contenido armónico. 7
Figura 2. Arquitectura de red..... 39
Figura 3. Diagrama de Fuerza para una central de medida. 42
Figura 4. Diagrama de comunicación para una central de medida..... 43
Figura 5. Diagrama del sistema de calidad de energía. 44
Figura 6. Diagrama del PLC..... 45
Figura 7. Elementos de control..... 48
Figura 8. Dispositivos de protección y pasarela Ethernet. 49
Figura 9. Equipos de control..... 50
Figura 10. Diseño del tablero de transferencia..... 51
Figura 11. Diagrama de conexión Modbus RTU. 52
Figura 12. Cable RS-485. 53
Figura 13. Conexión de la pasarela EGX100. 54
Figura 14. Flujograma de la transferencia automática. 56
Figura 15. Ingreso a la pasarela EGX100..... 59
Figura 16. Configuración del puerto serial..... 59
Figura 17. Configuración 2 hilos..... 60
Figura 18. Asignación de direcciones IP. 61
Figura 19. Ventana del Management Console..... 63
Figura 20. Crear sitio Ethernet. 64
Figura 21. Añadir dispositivos de medición..... 65
Figura 22. Añadir dispositivos de medición..... 65
Figura 23. Dispositivos de medición añadidos al sistema..... 66
Figura 24. Pantalla de Inicio..... 67
Figura 25 . Pantalla de Tableros..... 68
Figura 26. Mediciones Micrologic. 69
Figura 27. Medidores de suministro..... 70
Figura 28. Medidores de Generación. 71
Figura 29. Parámetros de los medidores..... 72
Figura 30. Unifilar del sistema. 74
Figura 31. Flujograma de saltos de pantallas. 75

Figura 32. Asignar registro de voltaje. 76
Figura 33. Visualización de registros de voltaje..... 77
Figura 34. Crear Gadget. 79
Figura 35. Configuración del Gadget. 80
Figura 36. Visualización de la pantalla inicio. 81
Figura 37. Generar una tabulación. 82
Figura 38. Ventana de informes. 83
Figura 39. Tendencia del factor de potencia..... 84
Figura 40. Ingresos de Energía y demanda..... 85
Figura 41. Informe de costo de Energía. 86
Figura 42. Ventana de mediciones de la PM1. 88
Figura 43. Diagrama Unifilar del PM3..... 89
Figura 44. Ventana de mediciones de la PM5. 90
Figura 45. Diagrama Unifilar del PM7..... 91
Figura 46. Diagrama Unifilar del PM9..... 92
Figura 47. Estado del Breaker de Micrologic. 93
Figura 48. Estado del Breaker de Micrologic. 94
Figura 49. Web Server. 95
Figura 50. Visualización Diagrama. 96
Figura 51. Tabla de suministro. 97
Figura 52. Alarmas del sistema. 98
Figura 53. Diagnostico de conexión. 99
Figura 54. Magelis montada en tablero. 100
Figura 55. Tabulación de las corrientes de línea. 101
Figura 56. Tendencias de las corrientes de línea. 102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. En la instalación del equipo de control. 108
Anexo 2. En la implementación del tablero de transferencia. 109
Anexo 3. En la configuración de las centrales de medida. 110
Anexo 4. Análisis de costos. 111
Anexo 5. Costo referencial del software PME. 112
Anexo 6. Costo referencial del software SENTRON. 113

RESUMEN

El desperdicio de energía eléctrica y el excesivo consumo de electricidad son factores que no solo afectan al medio ambiente sino también a la calidad de producción de las empresas, dando como resultado mayores costos de producción y elevados precios al mercado.

El presente proyecto propone la elaboración de un manual para la construcción de sistemas de calidad de energía, normalizando los pasos a seguir para su implementación y puesta en marcha; el cual será entregado a la Empresa SEIUS S.A. para promover el uso de este sistema a las empresas industriales que carecen de un control de consumo de energía eléctrica.

Un sistema de calidad de energía permite tomar medidas de ahorro de energía identificando las áreas de mayor consumo y de la misma forma prevenir el envejecimiento prematuro de los equipos debido a la presencia de armónicos en la red de distribución eléctrica.

El sistema de calidad de energía propuesto en este proyecto permitirá realizar un monitoreo de energía y un análisis de calidad, generar informes de consumos de energía, tabulaciones, gráficas y tendencias; cuenta con equipos específicos en el proceso de monitoreo de la red eléctrica y de tecnología actual.

ABSTRACT

Wasting power and excessive consumption of electricity are factors that affect not only the environment but also the quality of production companies, resulting in higher production costs and higher market prices.

This project proposes the development of a manual for the construction of power quality systems, standardizing the steps for implementation and commissioning: it will be delivered to the Company Seius SA to promote the use of this system and industrial companies that ability to control power consumption.

A quality electrical system allows taking energy dash saving measures identifying areas of higher consumption and, in the same way, prevent premature aging of equipment due to the presence of harmonics in the power distribution network.

The proposed system in this project will allow for mandatory quality of electrical system monitoring, and power quality analysis, reporting of energy consumption, tabulations graphs, and trends; has specific teams in the monitoring process of the grid and current technology.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se habla de promover la producción y el uso eficiente de la energía eléctrica como parte de los objetivos de alta prioridad en el Plan Nacional del Buen Vivir, donde sugiere e incentiva al sector industrial al ahorro de energía, a la mejora de su productividad optimizando el rendimiento de sus máquinas y de los procesos, facilitando un correcto mantenimiento. El ahorro de energía no implica únicamente la reducción del consumo, sino también la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente.

Otro de los problemas que tiene que contemplar las industrias en cuanto al consumo energético es la excesiva demanda facturada sobre el costo del servicio de energía eléctrica y penalizaciones por el bajo factor de potencia. El bajo factor de potencia genera también un esfuerzo eléctrico y deterioro prematuro sobre la vida útil en los equipos y máquinas eléctricas, ocasionando mayores pérdidas a la industria.

Desde hace algunos años se está tomando conciencia sobre la calidad de la energía eléctrica, si bien las nuevas tecnologías aumentan considerablemente el consumo de energía eléctrica, debido a que el desarrollo tecnológico va ligado con la utilización de la energía eléctrica, siendo cada vez más alto el porcentaje de uso del consumo de energía eléctrica en el país, afectando así cada vez más al medio ambiente y al verdadero costo de la producción. Pero con la aparición de más problemas surgen también nuevas tecnologías para compensar pérdidas y ayudar a tomar medidas preventivas como lo es un sistema de calidad de energía.

El termino calidad para referirse al sistema de calidad de energía no debe ser interpretado como excelencia en un sentido comparativo, sino en sentido cuantitativo para una evaluación técnica con respecto al consumo de energía eléctrica; para expresar si el nivel de productividad de la empresa con respecto al uso de energía eléctrica fue excelente, alta, baja, media, buena o mala.

La importancia de utilizar un sistema de calidad de energía es aumentar la productividad y competitividad de las empresas minimizando el consumo energético.

CAPÍTULO 1
ANTECEDENTES

1.1. Título del proyecto.

Diseño e implementación de una normativa interna para la construcción de sistemas de calidad de energía y monitoreo del consumo energético para la empresa SEIUS S.A.

1.2. Planteamiento del problema.

Las pérdidas económicas debido a las multas impuestas por parte de quienes ofertan los servicios de energía eléctrica pueden ser causadas por equipos en mal estado, variaciones en el factor de potencia, maquinarias operando innecesariamente, los cuales provocan el aumento del flujo de energía eléctrica para solventar la demanda. Por lo que su pronta solución resulta imprescindible y la búsqueda a este problema debe ser precisa y urgente.

La ausencia de un manual para la implementación de una normativa interna para la construcción de sistemas de calidad de energía y monitoreo del consumo energético dentro de la empresa, constituye en muchos casos un gran inconveniente a nivel de procesos industriales, siendo un aspecto importante el mantenimiento periódico de la maquinaria en cada uno de los departamentos de producción industrial, sea por el tipo de motores presentes en la máquina e itinerarios extendidos de operación, la ubicación de consumos excesivos lleva consigo mucho tiempo y la facturación por parte de la entidad que presta el servicio es altamente costosas.

La elaboración de manuales para la implementación de sistemas de calidad de energía tiene como objetivo dar un servicio de instalación al sector industrial que necesita identificar los gastos innecesarios de energía eléctrica, compensar el bajo factor de potencia y realizar un monitoreo del consumo energético para realizar evaluaciones del costo de producción en relación a la producción.

El sistema de calidad de energía propuesto en los manuales de implementación bajo una normativa interna de construcción, ofrece un proceso de mejora continua que

permite identificar problemas para tomar una decisión acerca de los hay que implementar para compensar pérdidas y ahorrar energía eléctrica.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

- Diseñar e implementar una normativa interna para la construcción de un sistema de calidad de energía y monitoreo del consumo energético para la empresa SEIUS S.A.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de monitoreo de energía utilizando medidores inteligentes en una red Modbus para la obtención de los consumos de energía y visualización en un HMI y en un ordenador de oficina en comunicación Ethernet.

- Construir e implementar un tablero de distribución y automatizar la transferencia utilizando supervisores de voltaje y un autómata para el control, adicionalmente un dispositivo de seguridad mecánico y un electrónico.

- Elaborar un manual de usuario con el procedimiento paso a paso del sistema de calidad de energía con transferencia automática.

1.4. Alcance.

En el presente proyecto se pretende elaborar un manual para la instalación de sistemas de calidad de energía, que permita tomar medidas a los beneficiados para ahorrar energía, aumentar su productividad reduciendo costos por consumo energético y la identificación de problemas y toma de decisiones preventivas.

Para el desarrollo de esta propuesta se implementará un sistema de calidad de energía, utilizando equipos de alta capacidad dentro de una red para la obtención de datos y registros en un servidor que funciona con la instalación del software Power

Monitoring Expert para obtención de reportes de consumo energético, de donde se podrá ingresar a un portal Web para monitorear en tiempo real los valores de consumo desde una computadora conectada a la red Ethernet del sistema para futuros estudios y decisiones preventivas de ahorro de energía.

En este proyecto se plantea un proceso de mejora continua que consiste en un conjunto de pasos dentro de un ciclo continuo que tiene la finalidad de logar una eficiencia energética; refiriéndose a eficiencia energética como el ahorro de energía eléctrica sin reducir los niveles de producción.

1.5. Justificación.

Basándose en el plan Nacional del Buen Vivir, en cuanto al ahorro energético propuesto por el Gobierno Nacional, se desea implementar un sistema de calidad de energía para monitoreo del consumo energético para la elaboración de manuales bajo una normativa interna, de tal forma que las empresas beneficiadas por este sistema puedan tener acceso a una base de datos para generar reportes de un determinado periodo de tiempo; de esta forma puedan tomar futuras medidas de ahorro de energía.

SEIUS S.A. es una empresa privada que brinda servicio de automatización, instrumentación e instalación de equipos de calidad de energía a otras compañías que requieren cumplir con las normas propuestas por el estado en cuanto al suministro de energía eléctrica, es por ese motivo que el proyecto se desarrollará para dicha empresa.

Un sistema de calidad de energía es utilizado para monitoreo del consumo energético de una empresa y de esta manera ayuda a diagnosticar el estado de las instalaciones eléctricas, identificar perdidas por procesos innecesarios ó excesivos en la producción. En este contexto la elaboración de un manual para la implementación de sistemas de calidad de energía y monitoreo del consumo energético eléctrico permitirá reducir penalizaciones por el bajo factor de potencia, tomar medidas para ahorro de energía, prevenir el daño prematuro de la vida útil de las maquinas industriales, minimizar costos de producción y aumentar la eficiencia en la producción.

1.6. Beneficiarios.

El proyecto se encuentra dirigido al personal de la Empresa SEIUS S.A. quienes harán uso de este manual para la implementación de este tipo de sistemas, conforme a las necesidades de sus clientes.

Y la empresa NESTLE, cliente de la empresa SEIUS S.A., quienes son el beneficiario directo de este proyecto debido a que se llevó a cabo la instalación en la planta de la ciudad de Cayambe.

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de calidad de energía.

Para conocer de qué se trata un sistema de calidad de energía primero es necesario definir algunos términos.

2.1.1. Armónicos.

Cuando la forma de onda senoidal de voltaje o corriente del suministro eléctrico presentan deformaciones, se dice que la señal está distorsionada debido a la presencia de armónicos.

La distorsión por armónicos en las señales puede deberse a fenómenos transitorios tales como los arranque de motores, conmutación de capacitores, cortocircuitos ó efectos de tormentas.

El teorema de Fourier define a los armónicos como la presencia de funciones senoidales integradas en una función periódica de frecuencias múltiples.

Una forma de onda senoidal debe tener una amplitud y frecuencia constante, cuando esta forma de onda presenta alteraciones en su amplitud es el efecto producido por la presencia de armónicos, resultado de cargas no lineales; las cargas no lineales son aquellas que ante una señal sinusoidal presentan una respuesta no sinusoidal como motores e inductancias.

Los efectos de los armónicos son destructivos para los equipos, aceleran el tiempo de vida útil de los mismos; los más afectados son: cables eléctricos, transformadores, motores, capacitores, entre otros.

En conclusión se puede definir a los armónicos como distorsiones periódicas de diferente frecuencia presentes en las señales sinosoidales de voltaje o corriente producidas por cagas no lineales que traen como consecuencia el envejecimiento prematuro en los dispositivos electrónicos.

Onda con contenido armónico

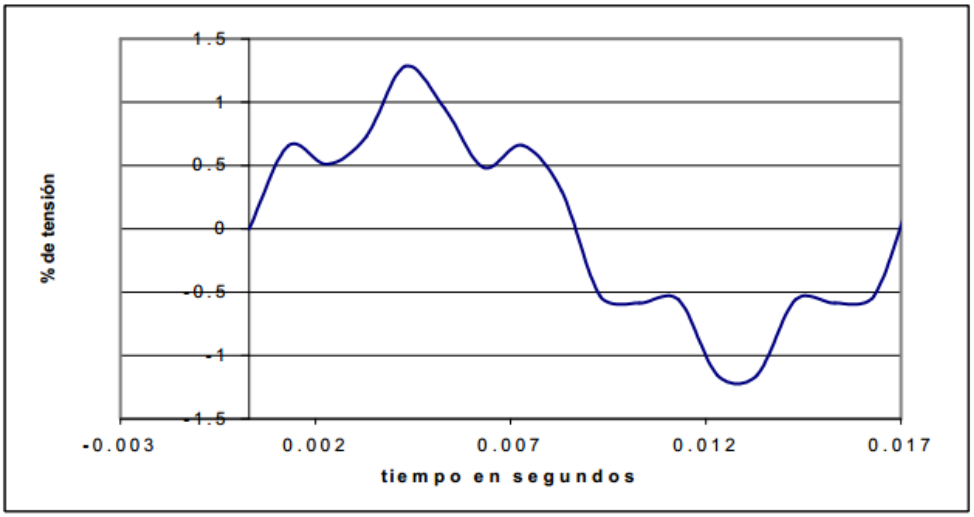


Figura 1. Armónicos en sistemas eléctricos IBE S.A.

Elaborado por José Arcila.

2.1.2. Transitorios electromagnéticos.

Los efectos transitorios son eventos indeseables de naturaleza momentánea que producen variaciones en los sistemas de potencia. Los transitorios electromagnéticos son impulsos de tensión que pueden generar altas y bajas de voltaje ó corriente en una red eléctrica.

Los transitorios electromagnéticos pueden ser clasificados en dos categorías: transitorios de impulso y transitorios oscilatorios.

Un transitorio de impulso es un cambio repentino de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas y es unidireccional en polaridad positivo o negativo.

Un transitorio Oscilatorio es un cambio repentino de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas, que incluye tanto valores positivos como negativos.

Los rayos son una de las más comunes causas capaces de generar un efecto transitorio electromagnético en la red de suministro eléctrico, por lo cual se recomienda que un sistema de distribución eléctrica tenga un supresor de transientes para proteger los dispositivos eléctricos.

2.1.3. Factor de potencia.

El factor de potencia es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. Se define al factor de potencia como la relación entre la potencia activa P y la potencia aparente S.

$$FP = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{S}} \qquad \textbf{Ecuación 1.}$$

La potencia activa es el consumo de energía de una carga durante un periodo tiempo para producir un trabajo eficiente.

La potencia aparente es la demanda total de voltaje y corriente que necesitan las cargas para ejecutar su trabajo.

Por lo tanto, se puede decir que el factor de potencia es la división entre el verdadero consumo de energía que produjo trabajo para el total de consumo de energía que necesitaron las cargas para ejercer dicho trabajo. Entonces cuando el factor de potencia es igual a 1 se dice que todo el consumo de energía eléctrica fue trabajo eficaz, si el valor es menor a 1 significa que la demanda de energía total entregada a la carga fue mayor a la necesaria para producir el trabajo.

La causa más común para que exista un factor de potencia bajo se debe a la existencia de cargas inductivas (motores, lámparas, fluorescentes, equipos de refrigeración, microondas, entre otros), que como parte de su funcionamiento al momento de ejercer un arranque hasta estabilizarse generan mayor demanda de corriente y por lo tanto la potencia reactiva es mayor.

El sobrecalentamiento de motores, cables, entre otros se debe al bajo factor de potencia, es decir a la demanda excesiva de corriente por el sistema de distribución eléctrica para suministrar a las cargas inductivas; por lo tanto en un circuito de carácter netamente inductivo se hablará de un factor de potencia en retraso (corriente retrasada respecto a la tensión), mientras que se dice en adelanto cuando es de carácter capacitivo (corriente adelantada respecto a la tensión).

2.1.4. Sobretensiones.

Se considera una sobretensión al incremento en la tensión mayor en un 10% de la suministrada a la frecuencia nominal por un tiempo superior a un minuto.

Las sobretensiones son generalmente el resultado de maniobras como la apertura de grandes cargas o la energización de condensadores. Las sobretensiones son muy comunes cuando un sistema es muy endeble para la regulación de la tensión deseada ó existe un control de tensión inadecuado.

2.1.5. Subtensiones.

La subtensión es un decremento en la tensión menor en un 10% de la tensión suministrada a la frecuencia nominal por un tiempo superior a un minuto.

Las subtensiones son el resultado de los eventos inversos que causan las sobretensiones, como puede ser el cierre de una carga o la apertura de un banco de condensadores.

2.1.6. Calidad de energía.

Cuando se habla de calidad de energía se dice que son todas las características de la electricidad en un punto dado de una red de suministro de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia para cumplir con una norma.

En general, se puede considerar a un sistema de distribución ó de suministro eléctrico como calidad cuando este cumple con los parámetros establecidos de calidad de voltaje y calidad de corriente, entendiéndose como lo contrario, a la falta de calidad de energía como un sistema que presenta desviación en sus magnitudes de forma ideal, por lo que, cualquier desviación se considera como una perturbación o como una pérdida en su calidad.

El problema es complejo por naturaleza, debido a que una de las particularidades más notorias que tiene la electricidad es que su utilización por parte de los consumidores modifica de alguna o otra forma sus características iniciales; entonces como es posible mantener al sistema de distribución eléctrica en una calidad energética, si entre más demanda mayor es la responsabilidad y esta depende del total de corriente que circula por el sistema de distribución proporcional a la demanda de la carga conectada al mismo.

Un sistema de distribución eléctrica de suma demanda tiene mayor tendencia a presentar problemas como: sobretensión, subtensiones, armónicos y en secuela bajo factor de potencia; lo que significa que es un sistema deficiente y trae como consecuencias pérdidas tales como: sobre facturación en la planilla del consumo de energía y penalizaciones por el bajo factor de potencia, gastos en mantenimiento por el mal funcionamiento o la avería de los equipos y reemplazo de maquinarias.

El efecto más importante que produce la pérdida de la calidad de la energía eléctrica es el mal funcionamiento o la avería de los equipos conectados a la red de distribución. Los equipos eléctricos y electrónicos, como los computadores personales, autómatas programables, equipos de iluminación, equipos de electrónica de consumo, entre otros, pueden funcionar de forma incorrecta si la energía eléctrica suministrada se interrumpe solamente durante unas décimas de segundo o incluso centésimas de segundo. Este mal funcionamiento de los equipos puede originar problemas importantes en un entorno residencial ó comercial, pero los efectos económicos que pueden producir en los procesos industriales, la parada o el daño de los equipos pueden ser económicamente significativos.

En conclusión, calidad de energía se refiere a un adjetivo calificativo usado para definir a un sistema de distribución eléctrica que cumple en su mayoría con un conjunto de parámetros técnicos para su buen funcionamiento.

2.1.7. Sistema de calidad de energía.

Los sistemas eléctricos tienen como finalidad básica, dar atención a los consumidores dentro de padrones de continuidad, grados de adecuación, seguridad aceptables y al menor costo global posible. Evidentemente a pesar de todos los esfuerzos que se vayan a realizar, los sistemas estarán siempre sujetos a problemas que puedan llevar a la interrupción y mala calidad del suministro de energía a los consumidores.

La interrupción y mala calidad del suministro eléctrico puede ocasionar perdidas grandes en la producción industrial, pérdida de la materia prima y la para total o parcial de las instalaciones y mano de obra, entre otros, lo que significa una pérdida de dinero muy grande para el sector industrial.

Conociendo los problemas que ocasiona un sistema de distribución eléctrica con falla en su calidad de energía, podemos definir a un sistema de calidad de energía como aquel que puede resolver e identificar total o parcialmente los problemas de calidad de energía; entendiendo como un problema de calidad de energía a cualquier fenómeno de origen eléctrico que puede interrumpir el correcto funcionamiento de los sistemas y equipos eléctricos.

Técnicamente un sistema de calidad de energía es aquel que permite mantener al suministro eléctrico con tensiones y corrientes equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes; características a través de las cuales el producto y el servicio de suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente.

2.2. ¿Qué dice el plan nacional del buen vivir con respecto al consumo energético?

La demanda de energía eléctrica en Ecuador crece proporcionalmente a medida que crece la demanda de producción y tecnología en las industrias pequeñas y grandes; como consecuencia el medio ambiente se ve afectado debido a las emisiones de gases contaminantes que inducen al cambio climático por el efecto invernadero.

En consecuencia al crecimiento de la demanda eléctrica es necesario la construcción de nuevas plantas de energía eléctrica, lo que significa un daño más al medio ambiente.

Una de las metas propuestas en el Plan Nacional del Buen Vivir en el 2013, es reducir el consumo energético en un 11%. Meta que puede ser posible con un sistema de calidad de energía y un plan de ahorro energético.

El Plan Nacional del Buen Vivir menciona el siguiente apartado con respecto a la generación, transmisión y distribución de energía:

“El desarrollo del sector energético es estratégico para el Ecuador. En esta perspectiva el desarrollo del sector deberá garantizar el abastecimiento energético a partir de una apuesta a la generación hidroeléctrica que permita reducir de manera progresiva la generación termoeléctrica y un fortalecimiento de la red de transmisión y sub-transmisión, adaptándola a las actuales y futuras condiciones de oferta y demanda de electricidad. Esto deberá complementarse con la inserción paulatina del país en el manejo de otros recursos renovables: energía solar, eólica, geotérmica, de

biomasa, mareomotriz; estableciendo la generación de energía eléctrica de fuentes renovables como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo.

Todas estas intervenciones deberán mantener el equilibrio ecológico de las fuentes para lo cual deberán respetarse exigentes normativas ambientales. Todo ello estará acompañado por políticas de distribución equitativa de la energía, pues es un insumo imprescindible para la industria nacional y el desarrollo productivo del país."

En este concepto, el desarrollo de sistemas de calidad de energía no solo implica el ahorro energético sino también la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente.

2.3. Productividad y eficiencia energética.

Las mejoras en la productividad se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos, facilitando un correcto uso de la energía, es decir una supervisión energética permite garantizar la continuidad del suministro, maximizar el tiempo operativo de su proceso productivo, y alcanzar los requerimientos de calidad y tiempo de respuesta.

La eficiencia energética es el modo más rápido, económico y limpio de reducir el consumo energético y reducir así las emisiones de gases de efecto invernadero de esta forma se cumple con el Plan Nacional del Buen Vivir y el uso de la energía eléctrica.

Las acciones locales de eficiencia energética tienen un importante efecto productivo debido a las perdidas en la generación y en la red eléctrica de distribución, por lo tanto aprender a adaptar y manejar el consumo energético, los costos de la energía y los contaminantes es el deber de cada industria.

2.4. Normas internacionales de calidad de energía.

Entre las normas que hacen referencia a calidad de energía están: la norma Española (EN), Las normas de la Comisión Electrónica Internacional (IEC) que actualmente tiene 60 países miembros y algunas normas de la IEEE (Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos).

2.4.1. Norma para la tensión.

La Norma EN50160, describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por la red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales y en el punto de entrega al cliente. Como dice su primer apartado: “esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no los valores típicos en la red general de distribución”.

Define los límites para la frecuencia nominal de la tensión suministrada, la amplitud de la tensión, las variaciones de la tensión suministrada, las variaciones rápidas de la tensión (amplitud de las variaciones y severidad de los parpadeos), los huecos de tensión, las interrupciones de corta y larga duración del suministro, las sobretensiones temporales y transitorias, el desequilibrio de la tensión suministrada, las tensiones armónicas e inter armónicas y la transmisión de señales de información por la red, así como los protocolos de medida.

El objetivo fundamental de esta norma es descubrir las características principales de la tensión suministrada por una red pública de distribución de baja y media tensión, en las condiciones normales de explotación.

Es importante resaltar que la norma solo es aplicable en condiciones normales de operación e incluye una lista de operaciones en las que los límites no son aplicables, como las operaciones realizadas después de una falla, acciones industriales o cortes de suministro debidos a eventos externos.

En tabla 1 se indica las magnitudes según la norma EN50160 para definición de los eventos de la tensión de suministro.

Tabla 1.

Límites según la norma EN50160.

Evento en la tensión de suministro	**Magnitud**	**Duración**
Baja tensión o subtensiones.	90% al 1% del Voltaje nominal.	> 1 minuto.
Interrupción de suministro	< 1% del Voltaje nominal	< 3 minutos (breve) > 3 minutos (larga).
Sobretensiones temporal	>110%	> 1 minuto
Transitorios de tensiones.	>110%	Algunos milisegundos.

Nota. IEEE

La Norma IEC 61000-4-30, menciona que se produce una variación de tensión cuando hay un aumento o una disminución en el valor eficaz de la tensión de alimentación. La amplitud y la duración son los parámetros característicos de una variación de tensión.

Para esta norma una variación de tensión nominal se puede ser mayormente de un ±20% y en una duración relativamente elevada de 1 minuto. Considera que los valores de referencia y límites entre fases es de 230V para sistemas de tres hilos en sistemas de distribución trifásica. Y para sistemas de cuatro hilos, 230 entre fase y neutro y 400V entre fases.

Para equipos de Clase A, esta norma declara una exactitud del ±0,1% de la tensión declarada en la entrada del equipo de medición.

2.4.2. Norma para la corriente armónica.

La norma IEC 61000-3-2 se refiere a los límites que se deben tener para las emisiones de corriente, específicamente para equipos en los cuales su entrada de corriente por fase sea ≤16A y que se pretendan conectar a redes públicas de baja tensión.

En la tabla 2 se indica la corriente máxima permitida para el orden de los armónicos según la norma 61000-3-2.

Tabla 2.

Límites de corriente armónica para los equipos clase A según la norma 61000-3-2.

Orden armónico (h)	**Corriente armónica máxima permitida (A).**
2	1,08
3	2,30
4	0,43
5	1,14
6	0,30
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$8 \leq$ h pares ≤ 40	1,84/h par
$15 \leq$ h impares ≤ 39	0,25/h impar

Nota. IEC

Para los equipos clase B se utilizan los valores de la tabla 2 multiplicados por un factor de 1,5.

2.4.3. Norma para armónicos.

La norma IEC 61000-2-4 establece los niveles de compatibilidad para las perturbaciones a nivel industrial, se puede aplicar en redes de distribución de 50 a 60 Hz, en baja y media tensión; los parámetros de variación de tensión que define son: frecuencia, forma de onda, amplitud y equilibrio de fases. Para la utilización de esta norma se debe tener en cuenta e identificar los diferentes equipos y sus características, para de esta manera establecer la clase en la cual se encuentran y así aplicar la norma.

Los equipos de clase 1 se consideran muy sensibles a perturbaciones en el suministro de energía, los de clase 2 se relaciona a puntos de conexión común y puntos de conexión interior en el entorno de la industria. Y los de clase 3 para alimentaciones a través de convertidores, máquinas de gran consumo de energía o motores grandes con arranques frecuentes.

2.4.4. Norma sobre variaciones de frecuencia.

Según la Norma EN50160 define la frecuencia de la tensión de alimentación como la tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo determinado. Cualquier cambio sobre ésta (50 Hz ó 60 Hz), sobrepasando ciertos límites constituye una variación de frecuencia.

Los valores de referencia y límites según la norma EN50160, la frecuencia nominal de la tensión de alimentación debe ser de 50Hz. En condiciones normales de operación, el valor de la frecuencia fundamental media en periodos de 10 segundos debe situarse en los intervalos siguientes:

- Redes acopladas por conexión síncrona a un sistema interconectado:
    - 50Hz ± 1% durante el 95% de una semana.
    - 50Hz +4%/-6% durante el 100% de una semana.
- Para redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes que existen en sistemas aislados de la red general):
    - 50Hz ± 2% durante el 95% de una semana.
    - 50Hz ±15% durante el 100% de una semana.

Según la IEC 61000-4-30 (Clase A), la medida de frecuencia se obtiene cada 10 segundos, como relación entre ciclos enteros contados en un intervalo de 10 segundos, y su duración total. Los ciclos no completos se descartan. En otras palabras, la exactitud en la medida para equipos de clase A debe ser ±0,01%.

2.4.5. Norma para transitorios.

La norma IEEE 1159 define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia. Cada tipo se clasifica en instantáneo momentáneo o temporal dependiendo de su duración. En el caso de las variaciones de corta duración (Swells, Sags e interrupciones sostenidas) se producen casi siempre por condiciones de fallo, por la conexión de cargas que requieren grandes corrientes de arranque. La tabla 3 indica los ciclos de duración de un efecto transitorio de acuerdo a su categoría:

Tabla 3**.**

Límites de corta y larga duración según norma IEEE 1159.

Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
Variaciones corta duración		
Instantánea		
Hueco	0.5-30 ciclos	0.1-0.9 p.u.
Swell	0.5-30 ciclos	1.1-1.8 p.u.
Momentánea		
Interrupción	0.5 ciclos-30s	<0.1 p.u.
Hueco	30 ciclos-3s	0.1-0.9 p.u.
Swell	30 ciclos-3s	1.1-1.4 p.u.
Temporal		
Interrupción	3 s-1 min	<0.1 p.u.
Hueco	3 s-1 min	0.1-0.9 p.u.
Swell	3 s-1 min	1.1-1.2 p.u.
Variaciones larga duración		
Interrupción	>1 min	0.1 p.u.
Subtensión	>1 min	0.8-0.9 p.u.
Sobretensión	>1 min	1.1-1.2 p.u.

Nota. IEEE

2.4.6. Norma de calidad de energía.

La norma IEC 61000-4-30 define los métodos de medida de los parámetros de calidad de suministro de energía y el modo de interpretar los resultados.

En la norma se establece un estándar que define los métodos con los cuales se detectan y evalúan: las sobretensiones, subtensiones y las interrupciones de la tensión de suministro eléctrico.

De esta manera define dos formas de utilización de la norma, la primera denominada clase A se refiere a medidas de baja incertidumbre y verificación del cumplimiento de la norma; la segunda es más compleja y se la denomina clase B, está destinada a estudios estadísticos para dar solución a los problemas en instalaciones eléctricas relacionadas con la calidad de energía.

La norma propone los siguientes intervalos de agregación para las mediciones:

- Las medidas de tensión, armónicos, intearmónicos y desequilibrios se deben llevar a cabo ciclo a ciclo.
- A efectos de evaluación de la medida, se deben promediar los resultados obtenidos a nivel de ciclo durante un tiempo superior. La norma propone 4 intervalos de agregación:
    - Ventana base de observación (200ms): agregación de 10 ciclos.
    - Intervalos muy cortos (3s): agregación de 15 ventanas base.
    - Intervalos cortos (10 min): agregación de 200 intervalos muy cortos.
    - Intervalos largos (2h): agregación de 12 intervalos cortos.

En un sistema de calidad de energía los parámetros a evaluar más comúnmente son los siguientes:

- La Frecuencia.
- Tensión de alimentación.
- Sobretensiones.
- Interrupciones del suministro.
- Transitorios.
- Armónicos

Para lo cual se toma en consideración la tabla 4.

Tabla 4**.**

Consideraciones para evaluar la calidad de energía.

Parámetros	**Medida**	**Clase A**		**Clase B**
		Intervalo	**Exactitud**	**Procedimiento**
Frecuencia	Hz	10s	± 10mHz	De acuerdo al fabricante.
Tensión de alimentación	Vrms	10 ciclos	± 0.1 %	De acuerdo al fabricante.
Sobretensiones	Vrms, t, T	Vrms 1/2 ciclo (10ms)	±0,2%	Vrms 1/2 ciclo
Armónicos	THD	CEI 61000-4-7		De acuerdo al fabricante.

Nota. IEEE

2.5. Normas nacionales de calidad de energía.

Es la empresa de distribución de energía eléctrica la llamada a velar por la calidad del servicio, por esto las regulaciones establecen que esta debe monitorear y corregir los problemas en la calidad de energía para el bien de los usuarios.

En Ecuador el encargado de cuidar que se cumpla con las regulaciones es el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad).

En la regulación del CONELEC No. 004/01, la misma que menciona que las mediciones sean tomadas en puntos significativos de los sistemas de distribución para consumidores de alto, medio y baja tensión. Tomando en cuenta los siguientes rangos para los parámetros de calidad de energía:

- Variaciones en la tensión de ±8% con respecto al nominal para medio y bajo voltaje en zonas urbanas y ±10% de zonas rurales.
- Para alto voltaje las variaciones no deben superar el 5% del voltaje nominal.
- Para la distorsión armónica de voltajes, en un nivel de tensión mayor a 40KV el limite armónico THD es igual a 3; y menor a 40KV el limite THD es de 8.
- Para armónicos se considera la misma estipulada por la norma EN50160.
- El factor de potencia es el parámetro que define la calidad de energía del sistema de distribución y debe ser mayor a 0,92 para evitar penalizaciones.

2.6. Sistema de monitoreo de energía.

Un sistema de monitoreo de energía es aquel capaz de registrar todas aquellas variables eléctricas de interés que en determinado momento proporcionen información para establecer el comportamiento de un sistema de distribución eléctrica.

Contar con un sistema de monitoreo de energía ayuda a localizar las áreas de mayor consumo energético, tomar medidas para ahorro de energía sustentados en una base real de comparación, mejoras en el sistema de distribución eléctrica y una buena administración de la energía.

El monitoreo permanente de la red de distribución eléctrica se convierte en una herramienta muy precisa para determinar los costos reales del consumo energético en relación al costo por unidad de producción lo que vuelve a las empresas competitivas

en el mercado ya que los precios de los productos se determinarían bajo una base real y no un supuesto.

Información estadística de la IEEE menciona que simplemente por instalar un sistema de monitoreo de energía eléctrica, se tienen ahorros del 1% en promedio con respecto al costo de producción en un año. La compañía Schneider Electric, especialista global en gestión de energía, asegura que se puede lograr un ahorro de energía eléctrica del 30% utilizando las soluciones y tecnologías disponibles en la actualidad.

Las ventajas y beneficios de instalar un sistema de monitoreo de energía eléctrica, en resumen son:

- Detectar áreas de oportunidad relacionadas con una disminución de la facturación.
- Llevar a cabo facturación interna a partir de los consumos por línea de producción.
- Analizar alternativas que permitan hacer un uso más racional y eficiente de la energía.
- Determinar los KVAR necesarios para la corrección optima del factor de potencia.
- Identificar aquellas cargas que contribuyen en mayor medida al consumo de energía, demanda máxima y bajo factor de potencia.
- Determinar la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en una empresa.
- Detección de problemas relacionados con regulación y desbalance de voltaje.
- Determinar el estado de los bancos de capacitores.
- Establecer el nivel de carga de transformadores y alimentación.

2.7. Definición de SCADA.

SCADA son las siglas de: “Supervisory control and data acquisition”; utilizadas para hacer referencia a un sistema de adquisición de datos, control y supervisión. Se define a un SCADA como un sistema que permite supervisar una planta o un proceso por medio de una estación central que hace de servidor (conocida también como

MTU, Unidad Terminal Maestra) y una o varias unidades remotas (RTU) por medio de las cuales se hace control, adquisición de datos.

2.8. Definición de HMI.

HMI son las siglas de:"Interfaz Hombre-Máquina", es un dispositivo que permite a un operador (humano) interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (encendido o apagado) o magnitud de los dispositivos o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.

Una HMI puede ser tan simple como un interruptor para encender un motor y una lámpara indicadora del mismo, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar en un monitor representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores en tiempo real de las variables presentadas en ese momento en la planta.

Una HMI forma parte en un sistema SCADA.

2.9. Aplicación de una hmi en un sistema de calidad de energía.

En un sistema de calidad de energía, la importancia de monitorear el consumo energético y otros parámetros de la red de distribución eléctrica, crea la necesidad de instalar una HMI que permita al operador desde visualizar datos de voltaje, corrientes, factor de potencia, potencias, consumos y alarmas activas hasta reiniciar los contadores de eventos de alarma y volver a cero los parámetros de medición en un caso de primera instancia.

A continuación se menciona algunas aplicaciones de una HMI en un sistema de calidad de energía con monitoreo energético:

- Visualizar la fuente de energía activa.
- Supervisar alarmas.
- Tomar datos de las mediciones del sistema de distribución eléctrica para generar tabulaciones y reportes.
- Reiniciar contadores de eventos.
- Reiniciar medidores a cero.
- Localizar áreas de mayor consumo.

2.10. Sistema SCADA de calidad de energía.

Un sistema SCADA de calidad de energía se compone de las siguientes partes:

- Adquisición de datos: Servidor encargado de la recopilación de mediciones del sistema.
- Control: Transferencia automática de fuentes.
- Supervisor: HMI para Monitoreo del consumo energético.

Un sistema de calidad de energía cuenta con un servidor (Computador) de alta definición encargado de adquirir y almacenar históricamente la información de los dispositivos encargados de realizar las mediciones correspondientes del sistema de distribución eléctrica.

No puede existir un excelente sistema de calidad de energía si el sistema de distribución eléctrica presenta interrupciones en el suministro parando la producción y operadores por tiempos de larga duración; es por eso que un sistema de calidad de energía cuenta con el control automático de transferencia de fuentes, es decir si el sistema detecta la baja de tensión o interrupción del suministro, automáticamente desconecta el breaker principal y entra en funcionamiento el Breaker secundario con generación de energía, de esta forma se evita el paro de producción o pérdidas costosas por procesos interrumpidos.

Por último un sistema de calidad de energía cuenta con una HMI para el monitoreo del consumo energético, de esta forma el operador puede analizar, supervisar y generar tabulaciones y gráficos estadísticos a partir de los históricos de la base de datos para tomar decisiones en la mejora de la red de suministro y ahorro de energía.

2.11. Sistema de transferencia automática de energía.

Un sistema de transferencia automática de suministro de energía eléctrica es aquel que permite mantener con tensión a la carga conectada al sistema de distribución eléctrica cuando existe alguna interrupción, falla, sobretensión ó subtensión en una de las fuentes de energía.

Existen dos tipos de transferencia automática, el primero por generación y el segundo de Bypass de energía regulada; ambas bajo el mismo concepto de funcionamiento.

Un Sistema de transferencia de generación está conformado por una fuente auxiliar de energía generada por un generador eléctrico. Cuando la fuente principal de suministro eléctrico entra en estado de falla, el sistema de distribución automáticamente abre el paso del breaker principal que alimenta con esta fuente para luego cerrar el breaker secundario que alimenta a la red de distribución con generación.

En cambio un sistema de transferencia de bypass de energía regulada, funciona con la fuente de un sistema ininterrumpido de energía (UPS) que alimenta al breaker principal de la red de distribución, cuando el UPS entra en falla ocurre el cambio automático de fuentes de energía; el sistema abre el breaker principal de energía regulada para cerrar el Breaker secundario alimentado de la red de suministro eléctrico de energía no regulada. Comúnmente este tipo de transferencias se las utiliza para cargas muy débiles a cambios bruscos de tensión, como por ejemplo: computadoras, pantallas táctiles de operación, entre otros.

CAPÍTULO 3
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Partes del sistema de calidad de energía.

El presente proyecto de grado propone la implementación de un sistema de calidad de energía, el mismo que consta de las siguientes partes:

- Un tablero de distribución con transferencia automática de fuentes de energía (suministro y generador eléctrico).
- Sistema de monitoreo de energía en una HMI.
- Servidor para adquisición de datos utilizando el software Power Monitoring Expert de Schneider Electric.

3.2. Contenido del manual de normativa interna para la construcción de sistemas de calidad de energía.

El manual de procedimiento para la construcción de sistemas de calidad de energía contiene los siguientes puntos:

- Normas y formatos para la elaboración y entrega de diagramas, unifilares e informes.
- Normas Eléctricas que cumplen los equipos de Schneider Electric para la instalación del sistema de calidad de energía.
- Manuales de prueba y configuración de cada equipo del sistema.
- Manual de procedimiento para la construcción del sistema de calidad de energía.
- Manual para la configuración y aplicación del software Power Monitoring Expert (PME).
- Y manuales de operador.

Se aplican los manuales entregados a la Empresa SEIUS S.A. para la implementación de un sistema de calidad de energía, el cual se realiza en la ciudad de Cayambe en la Empresa NESTLE, uno de los clientes de la Empresa SEIUS S.A.

3.3. Caracterización de los equipos.

Para caracterizar todos los elementos que se utiliza en la implementación, se divide en dos partes, las mismas que conforman al sistema de calidad de energía, de la siguiente manera:

- Componentes del tablero de transferencia.
- Componentes del sistema de monitoreo de energía.

3.3.1. Caracterización de los componentes del tablero de transferencia.

Los componentes utilizados en el tablero de transferencia y para su control automático son de la marca Schneider Electric, compañía internacional experta en tecnología para sistemas de calidad de energía en media y baja tensión.

Los materiales que se utilizan en la implementación de la transferencia automática son:

- 1 Tablero o Gabinete eléctrico.
- 2 Breaker Motorizados.
- 1 Interbloqueo eléctrico ó enclavamiento eléctrico.
- 1 PLC de 6 entradas discretas y 4 salidas tipo relé.
- 2 Supervisores de voltaje.
- 2 Breaker termomagnéticos de 1A.
- 1 Breaker termomagnético DC de 3A.
- 1 Paro de emergencia.
- 1 Selector de 2 posiciones fijas para automático y manual.
- 1 Pulsador de marcha.
- 2 Luces piloto color verde.
- 1 Fuente de voltaje DC.

El gabinete utilizado para montar el tablero de distribución con transferencia automática cumple con la norma IEC62208 para envolventes universales y la IEC 60529 del grado de protección IP55. En la tabla 5 se muestra las características del gabinete.

Tabla 5.

Caracterización Gabinete eléctrico.

Parámetros	**Descripción**
	Gabinete eléctrico. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** NSYSF2012802DP **Cantidad:** 1 **Material:** Acero.
Medidas	2000x1200X800 mm
Accesorios	Barras de cobre de capacidad 1000 A.
Descripción	Gabinete para distribución con transferencia automática.
Grado de protección	IP55 – IK10
Norma	IEC62208 para envolventes. IEC60529 para IP55 IEC62262 para IK10

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

Los breaker motorizados son necesarios para realizar una transferencia automática, los masterpact son los más útiles en este proyecto debido a su fácil instalación, los cuales cumplen con la norma IEC60947-3 que menciona la capacidad de interrupción de los mismos. En la tabla 6 se muestra las características del breaker masterpact NT08.

Tabla 6**.**

Caracterización del Breaker Motorizado.

Parámetros	**Descripción**
	Breaker Motorizado. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** Masterpact NT08 **Cantidad:** 2 **Capacidad:** 800A.
Accesorios	Micrologic 2.0, unidad de control de disparo. Bloqueo mecánico.
Descripción	2 Breaker's, uno alimentado del suministro de la Empresa eléctrica y otro del Generador.
Norma	IEC60947-3 Para Breaker's, capacidad de cierre e interrupción en corto tiempo.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

Uno de los elementos que hacen el control de la transferencia es el interbloqueo eléctrico ó enclavamiento eléctrico, que además sirve para como una protección electrónica. En la tabla 7 se muestra las características del interbloqueo Eléctrico.

Tabla 7**.**

Caracterización Interbloqueo Eléctrico.

Parámetros	**Descripción**
	Interbloqueo Eléctrico. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** IVE **Cantidad:** 1 **Alimentación:** 220 Vac
Accesorios	Manga de conexión.
Descripción	Permite la apertura y cierre de los Breaker motorizados con la orden respectiva. No admite cerrar los dos Breaker's al mismo tiempo.
Descripción	Autómata para el control de la transferencia de fuentes.
Grado de protección	IP40
Norma	IEC60947-3, capacidad de cierre e interrupción en corto tiempo.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

El control de la transferencia automática se hace mediante un PLC Zelio, debido a que es suficiente para este tipo control, además tiene un display para visualizar la ejecución del programa y poner al PLC en estado operativo (RUN) ó en alto (STOP).

Los PLC Zelio son una clase de autómata muy sencillo de utilizar y de bajo costo pero eficiente para procesos de control debido a su rápida respuesta. Además trabaja con el software libre Zelio-Soft descargable de la página de Schneider Electric, que presenta un ambiente amigable de programación en lenguaje de contactos ó por bloques según el gusto del programador.

El PLC Zelio funciona con una alimentación de 24Vdc, tiene 8 entradas discretas que funcionan a 24Vdc de las cuales se ocupan 6 para las condiciones de transferencia

que provienen de: un selector para la opción de automático y manual, un pulsador para la re-transferencia, un contacto seco del breaker del suministro de empresa eléctrica para confirmación que el breaker se encuentra cerrado y otro contacto del breaker de generación para confirmar que este se encuentra cerrado, por último un contacto de confirmación del supervisor de voltaje de suministro y otro del supervisor de generación. Y cuenta con 4 salidas tipo relé, lo cual es muy útil por los contactos secos, estas salidas van conectadas a las órdenes del interbloqueo eléctrico para abrir y cerrar los breaker del suministro de la Empresa eléctrica o del grupo de emergencia.

A continuación en la tabla 8 se muestra las características del PLC Zelio.

Tabla 8**.**

Caracterización PLC Zelio.

Parámetros	**Descripción**
	PLC Zelio. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** SR2B121BD **Cantidad:** 1 **Alimentación:** 24 Vdc **Salidas:** 4 Tipo relé **Entradas:** 8 Discretas
Descripción	Autómata para el control de la transferencia de fuentes.
Grado de protección	IP40
Normas	IEC60947-5-1 Durabilidad eléctrica de 500000 ciclos a 0,6A con alimentación de 24Vdc. IEC60947-1 Resistencia al impulso de tensión de 4KV.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

Los supervisores de voltaje son relés que cambian el estado de sus contactos cuando miden voltaje en sus entradas, estos son utilizados como condiciones principales para realizar la transferencia. En la tabla 9 se muestra las características de los supervisores de voltaje.

Tabla 9**.**

Caracterización Supervisor de Voltaje.

Parámetros	**Descripción**
	Supervisor de voltaje. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** RM4TU02 **Cantidad:** 2 **Rango de medición:** 290-484Vac **Contactos:** 2 NO y 2NC **Polos:** 3P
Descripción	Supervisor Trifásico de voltaje.
Grado de protección	IP50
Normas	IEC61000-4-4 level 3 Resistencia a Transitorios. IEC61000-4-2 level 3 Resistencia a descargas electrostáticas.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

Se utilizaron dos breaker’s termomagnéticos de tres polos 1A como protección para los supervisores de voltaje, estos cumplen con la norma IEC60947-2 sobre la capacidad de interrupción. En la tabla 10 se muestra la caracterización correspondiente.

Tabla 10**.**

Caracterización Breaker Termomagnético.

Parámetros	**Descripción**
	Breaker Termomagnético. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** 24344 **Cantidad:** 2 **Capacidad:** 1A **Polos:** 3P **Curva de disparo:** Tipo C
Descripción	Protección termomagnética para los supervisores de voltaje.
Normas	IEC60947-2 Capacidad de interrupción.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 11 se muestra la caracterización del breaker termomagnético DC utilizado para protección de los equipos electrónicos que necesitan de alimentación DC.

Tabla 11.

Caracterización Breaker Termomagnético DC.

Parámetros	**Descripción**
	Breaker Termomagnético DC. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** MGN61502 **Cantidad:** 1 **Capacidad:** 3A **Polos:** 1P **Curva de disparo:** Tipo C
Descripción	Protección para los equipos DC.
Normas	IEC60947-2 Capacidad de interrupción.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 12 se muestra la caracterización del paro de emergencia, el mismo que sirve para detener el proceso automático de transferencia.

Tabla 12**.**

Caracterización Paro de Emergencia.

Parámetros	**Descripción**
	Paro de Emergencia. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** XB4BT42 **Cantidad:** 1 **Contactos:** 1 NC **Color:** Capuchón Rojo
Descripción	Pulsar para desenclavar.
Grado de protección	IP66.
Normas	IEC947-1 Tensión asignada de aislamiento.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 13 se muestra la caracterización del switch selector, el mismo que tiene la función de habilitar el proceso automático ó manual de transferencia.

Tabla 13.

Caracterización Switch Selector.

Parámetros	**Descripción**
	Switch Selector. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** XB4BD21 **Cantidad:** 1 **Contactos:** 1 NA **Posiciones:** 2 fijas
Descripción	Switch selector de manija negra, para automático y manual.
Grado de protección	IP66.
Normas	IEC947-1 Tensión asignada de aislamiento.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 14 se muestra la caracterización del pulsador, el mismo que sirve para iniciar el proceso de re-transferencia.

Tabla 14.

Caracterización Pulsador.

Parámetros	**Descripción**
	Pulsador. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** XB4BA31 **Cantidad:** 1 **Contactos:** 1 NA **Color:** Verde
Descripción	Botón Pulsador Rasante Verde de marcha.
Grado de protección	IP66.
Normas	IEC947-1 Tensión asignada de aislamiento.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 15 se muestra la caracterización de las luces piloto, utilizados para indicar la fuente en estado de encendido que suministra a la carga.

Tabla 15**.**

Caracterización Luces Piloto.

Parámetros	**Descripción**
	Luces Piloto. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** XB4BVM3 **Cantidad:** 2 **Contactos:** 1 NA **Color:** Verde
Descripción	LED verde, indicador de estado ON, para señalizar al Breaker motorizado que está cerrado.
Grado de protección	IP66.
Normas	IEC947-1 Tensión asignada de aislamiento.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 16 se muestra la caracterización de la fuente de voltaje DC, de alimentación 110 a 220 Vac y de salida 24Vdc, utilizada para los equipos electrónicos debido a que cumple con la norma IEC61000-4-4 sobre rápidos transitorios.

Tabla 16**.**

Caracterización Fuente de 24Vdc.

Parámetros	**Descripción**
	Fuente de 24Vdc. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** ABL8REM24030 **Cantidad:** 1 **Alimentación:** 110 a 220 Vac / Vdc **Salida:** 24 Vdc **Corriente:** 3A.
Descripción	Fuente de 24 Vdc para alimentación de elementos de control.
Grado de protección	IP20.
Normas	IEC61000-4-2. Respecto a descargas electrostáticas. IEC61000-4-4. Rápido contra Transitorios.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

3.3.2. Caracterización de los componentes del sistema de monitoreo.

Los componentes instalados en el sistema de monitoreo son:

- 10 Centrales de medida.
- El breaker principal y la micrologic 6.0H con comunicación Modbus.
- Pasarela Ethernet
- Concentrador Modbus RTU.

Las centrales de medida de Schneider Electric de la serie PM800, realizan cálculos de potencia y consumo energético de un sistema de distribución eléctrica mediante las mediciones de voltajes y corrientes; guarda los cálculos en sus registros de memoria. El dispositivo soporta comunicación Modbus RTU de esta forma puede compartir sus datos con otros dispositivos de lectura. En la tabla 17 se muestra la caracterización de las centrales de medida PM810.

Tabla 17**.**

Caracterización Medidores.

Parámetros	**Descripción**
	Medidores. **Marca:** Schneider Electric **Referencias:** PM810 **Cantidad:** 10 **Alimentación:** 110 a 220 Vac **Mediciones:** Voltaje, Corrientes, Armónicos, Frecuencia, Factor de potencia, Potencias, Consumos. **Comunicación:** Modbus RTU.
Descripción	Realiza las mediciones del sistema de distribución eléctrico.
Grado de protección	IP20.
Normas	IEC61000-4-2. Respecto a descargas electrostática. IEC61000-4-4. Rápido contra Transitorios.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

El breaker principal del suministro de la empresa eléctrica tiene una Micrologic 6.0H que hace las mediciones de voltaje, corriente, factor de potencia, y consumo total, además al igual que las centrales de medida soporta la comunicación Modbus RTU lo que permite unir este dispositivo a la red. En la tabla 18 se muestra la caracterización del breaker principal del suministro.

Tabla 18**.**

Caracterización Breaker Principal del suministro.

Parámetros	**Descripción**
	Breaker Principal del suministro. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** Masterpact NT08 **Cantidad:** 1 **Capacidad:** 3200ª **Comunicación:** Modbus RTU.
Accesorios	Micrologic 6.0 H, Para análisis de armónicos.
Descripción	Breaker Principal del suministro eléctrico.
Norma	IEC60947-3 Capacidad de apertura y cierre.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la Tabla 19 se muestra la caracterización de la pantalla Touch, conocida por la marca Schneider Electric como Magelis, su principal característica es que incluye Windows XP para acceder a la red del supervisor y monitorear los voltajes de los tableros de distribución.

Tabla 19**.**

Caracterización Pantalla Magelis Touch con Windows.

Parámetros	**Descripción**
	Pantalla Magelis Touch con Windows. **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** MPCKT22NAX20N **Cantidad:** 1 **Alimentación:** 10-240 Vac. **Sistema Operativo:** Windows XP Professional **Resolución:** 1024x768 pixeles
Descripción	HMI para visualización de consumos.
Norma	IEC61131-2.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 20 se muestra la caracterización de la pasarela Ethernet, encargada de ser el intermediario entre la red Modbus RTU para las centrales de medida y la red Modbus TCP/IP.

Tabla 20**.**

Caracterización Pasarela Ethernet.

Parámetros	**Descripción**
	Pasarela Ethernet **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** TSXETG100 **Cantidad:** 1 **Alimentación:** 24Vdc **Comunicación:** Modbus TCP/IP (Ethernet).
Descripción	Dispositivo de comunicación que ofrece conectividad entre Ethernet y dispositivos Modbus RTU en serie.
Norma	ICES-003 sobre equipos generadores de interferencias.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

En la tabla 21 se muestra la caracterización del concentrador Modbus RTU, en donde se conectan todos los dispositivos Modbus.

Tabla 21.

Caracterización Concentrador Modbus RTU.

Parámetros	**Descripción**
	Concentrador Modbus RTU **Marca:** Schneider Electric **Referencia:** LU9GC3 **Cantidad:** 1 **Comunicación:** Modbus RTU.
Descripción	Concentrador de equipos Modbus RTU.
Norma	ICES-003 sobre interferencias.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

3.4.Arquitectura de red.

La arquitectura corresponde a un sistema de distribución eléctrica con transferencias automáticas de fuentes, la cual distribuye energía por el suministro de la Empresa Eléctrica (EE) ó por generación (GEN), dentro de un sistema de monitoreo de energía que consta de 10 centrales de medida (PM800) ubicados en 5 tableros de distribución que son: NUEVO UHT, SSGG2, SSGG1, LEP, UHT; 2 en cada tablero, uno para el monitoreo de consumo por parte de la EE y otro para GEN. En la tabla 22 se muestra la ubicación y descripción de las centrales de medida.

Tabla 22.

Dispositivos de la red.

N° de Central	Ubicación	Descripción
PM1	Nuevo Tablero UHT	Medidor de Empresa Eléctrica.
PM2	Nuevo Tablero UHT	Medidor para Generador
PM3	Tablero SSGG2	Medidor de Empresa Eléctrica.
PM4	Tablero SSGG2	Medidor para Generador
PM5	Tablero SSGG1	Medidor de Empresa Eléctrica.
PM6	Tablero SSGG1	Medidor para Generador
PM7	Tablero LEP	Medidor de Empresa Eléctrica.
PM8	Tablero LEP	Medidor para Generador
PM9	Tablero UHT	Medidor de Empresa Eléctrica.
PM10	Tablero UHT	Medidor para Generador
Micrologic.	Tablero principal.	Medidor de Empresa Eléctrica..

Nota. Ubicación de los medidores en los tableros de distribución

Elaborado por: Luis Tinoco

El sistema establece una red Modbus RTU entre las 10 centrales y de la Micrologic del breaker principal del suministro de energía eléctrica, que llegan a un concentrador independientemente una de otra, para luego por medio de una Pasarela EGX100 convertir el protocolo de comunicación Modbus RTU en Modbus TCP/IP para acceder a la lectura de los parámetros de voltaje y corriente de los tableros de distribución.

En la figura 2 se muestra la arquitectura de red implementada en el proyecto.

Arquitectura de red

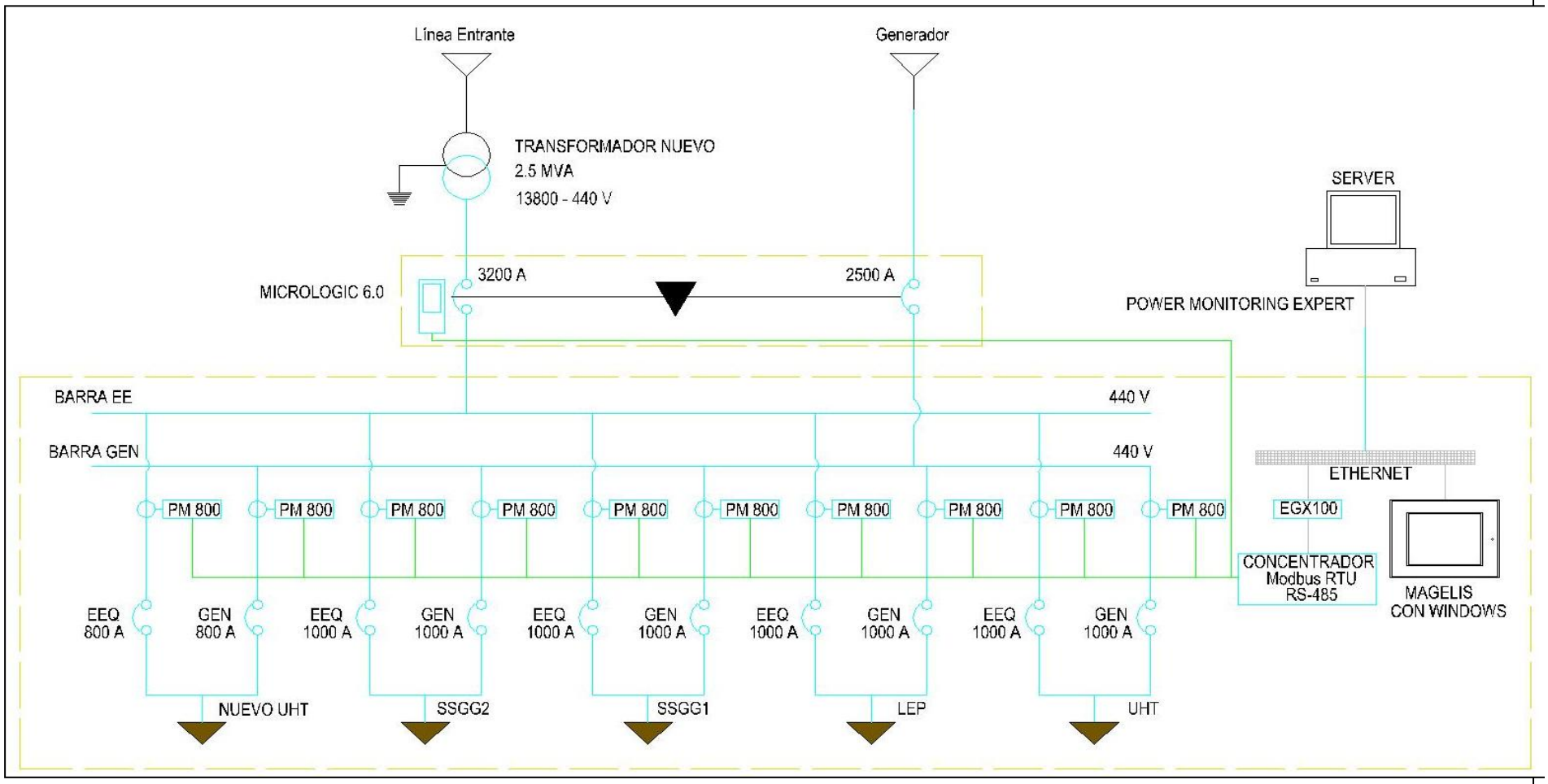


Figura 2. Diagrama unifilar del tablero principal y tableros de distrucuión.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Los 11 dispositivos se diferencian dentro de la red Modbus RTU con una dirección a pesar que comparten la misma dirección IP en la red Modbus TCP/IP. En la tabla 23 se muestra la asignación de direcciones y el nombre configurado en el software.

Tabla 23**.**

Direcciones RTU de los dispositivos de la red.

N° de Central	**Nombre dentro del software**	**Dirección Modbus RTU**
PM1	PM1_EE_NUEVO_UHT	1
PM2	PM2_GEN_NUEVO_UHT	2
PM3	PM3_EE_SSGG2	3
PM4	PM4_GEN_SSGG2	4
PM5	PM5_EE_SSGG1	5
PM6	PM6_GEN_SSGG1	6
PM7	PM7_EE_LEP	7
PM8	PM8_GEN_LEP	8
PM9	PM9_EE_UHT	9
PM10	PM10_GEN_UHT	10
Micrologic 6.0H	Micro	11

Nota. Ubicación de los medidores en los tableros de distribución

Elaborado por: Luis Tinoco

La pasarela EGX100 es configurada con la dirección IP correspondiente a los equipos de la red Ethernet, y sirve de intermediario entre la red Ethernet y los dispositivos Modbus RTU. En la red Ethernet se encuentra conectada una Pantalla Touch (Magelis) con Windows XP para acceder a supervisar las centrales de medida y de esta forma supervisar las características de la red eléctrica; Y el servidor, en el cual se encuentra instalado el software Power Monitoring Expert (PME) de Schneider Electric para la adquisición de datos y obtención de reportes y análisis. En la tabla 24 se muestra las direcciones IP de los dispositivos conectados a la red Ethernet.

Tabla 24**.**

Direcciones TCP/IP de los dispositivos de la red Ethernet.

Dispositivo	**Descripción**	**Dirección IP**
Pasarela EGX100	Convertidor de Modbus RTU a Ethernet.	10.101.100.76
Servidor	Power Monitoring Expert (PME)	10.101.100.75
Magelis	Pantalla Tactil con Windows XP	10.101.100.74

Nota. Direcciones IP configuradas en los equipos de la red Ethernet.

Elaborado por: Luis Tinoco

3.5.Diagramas de conexión.

Antes de indicar los diagramas de conexión correspondientes al sistema de calidad de energía, se definen los símbolos eléctricos utilizados en la elaboración de los diagramas.

3.5.1. Simbología Eléctrica.

Los símbolos y las reglas alfanuméricas que deben utilizarse para diagramas eléctricos se definen por las normas EN60617 aprobada por el CENELEC (Comité Europeo de la Normalización Electrotécnica) y la norma internacional IEC60617. En la tabla 25 se muestran los símbolos eléctricos utilizados para graficar los diagramas.

Tabla 25**.**

Simbología eléctrica.

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
K A1 A2	Bobina de Relé.	QB:	Breaker de 1 Polo.
K 3 4	Contacto N.O.	QB:	Breaker de 2 Polos.
K 1 2	Contacto de apertura o normalmente cerrado (N.C.)	QB:	Breaker de 3 Polos.
P0 E 3 4	Pulsador de Paro de Emergencia	F	Fusible
P1 E	Pulsador de Marcha.	X:	Borneras.
S	Selector.		Centrales de medida
H	Luz Piloto		
T	Transformador de Tensión		
TC S+ S-	Transformador de Corriente		
G	Fuente de voltaje DC		

Nota. Esta simbología es utilizada en todos los diagramas eléctricos del proyecto.

Elaborado por: Luis Tinoco

3.5.2. Diagrama de conexión para centrales de medida.

Una central de medida, con respecto a su conexionado, cuenta con dos partes fundamentales que son: Para medición y para comunicación. En la figura 3 se indica el diagrama de fuerza (para medición de voltajes y corrientes y alimentación del dispositivo correspondiente a un sistema eléctrico de distribución trifásico sin neutro en 440V de corriente alterna.

Diagrama de Fuerza para una central de medida

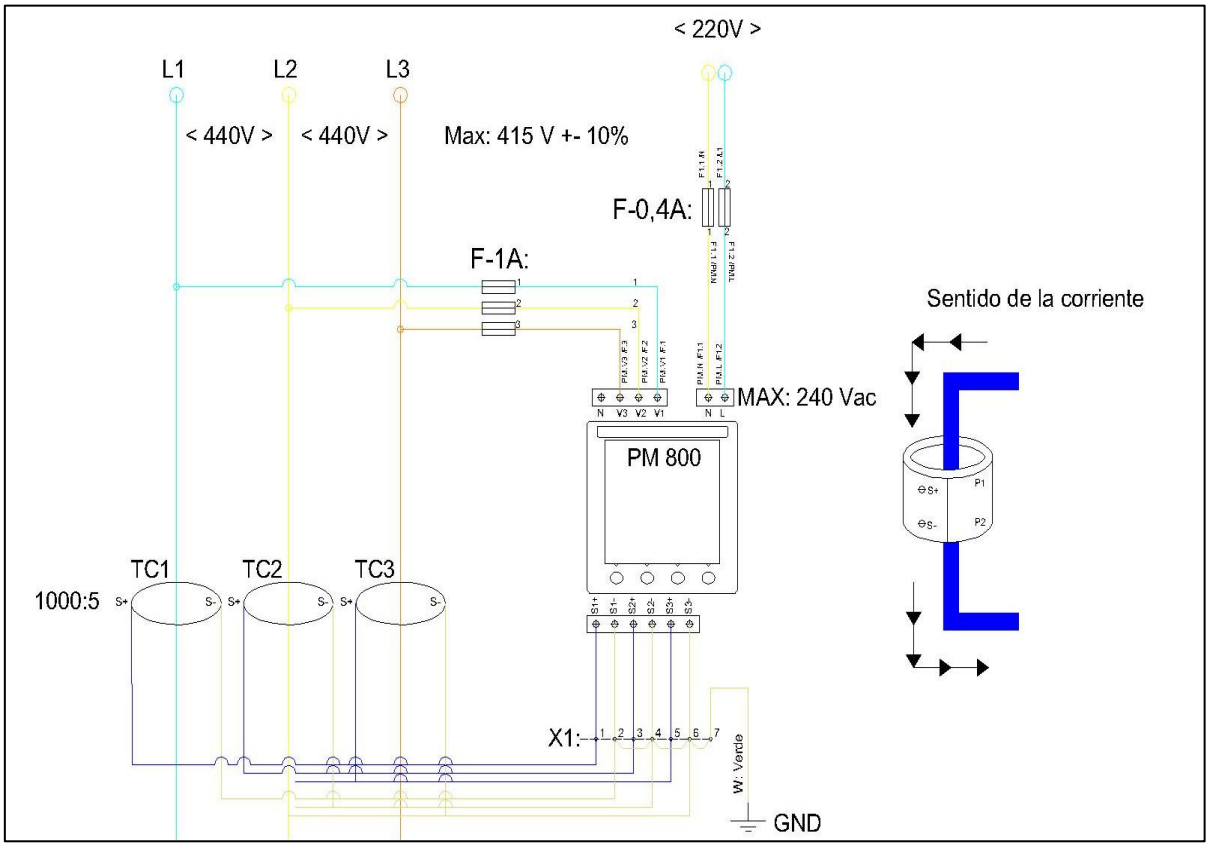


Figura 3. Alimentación de voltajes y corrientes.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Y en la figura 4 el diagrama de comunicación de la central de medida.

Diagrama de comunicación para una central de medida

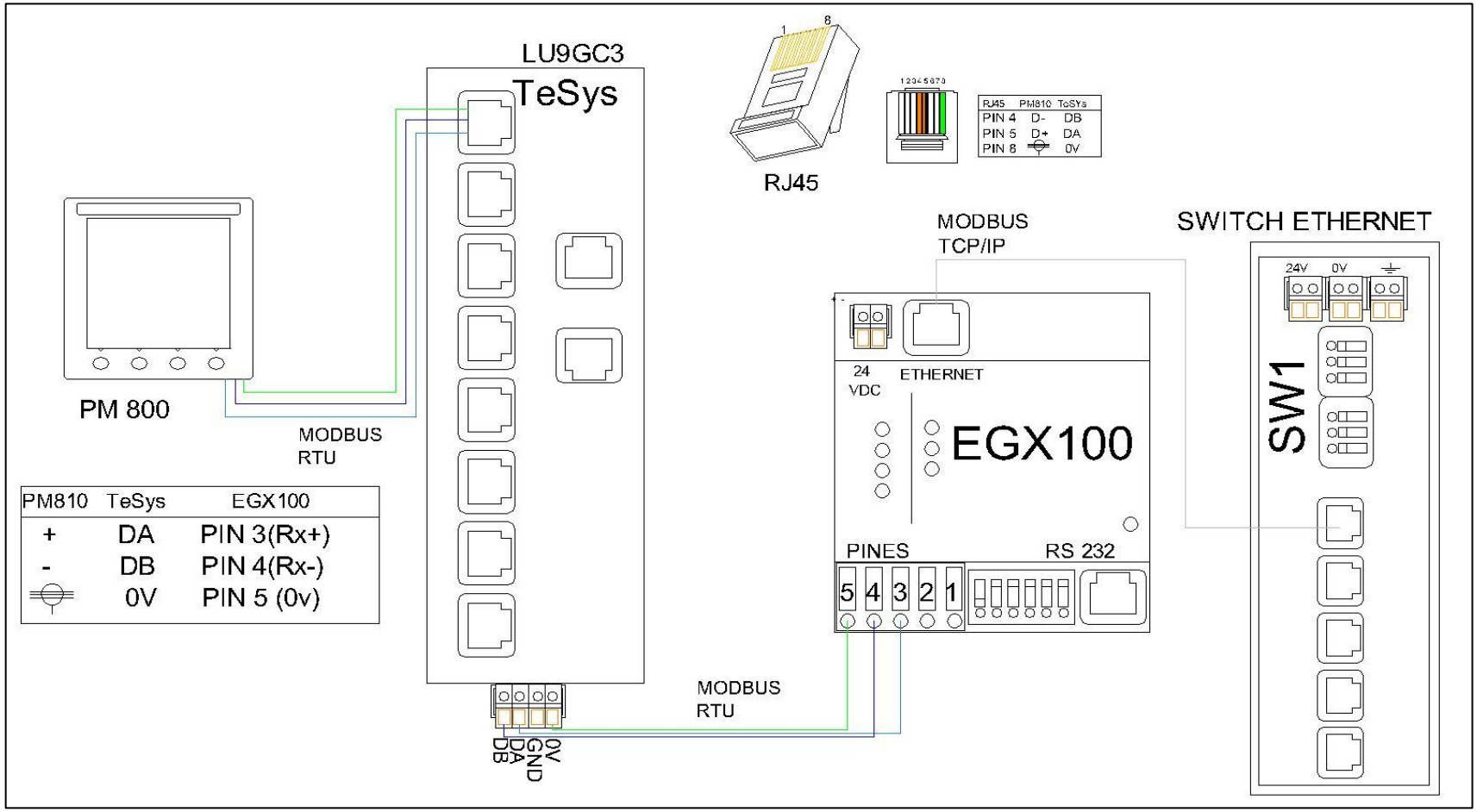


*Figura 4.*Comunicación dos hilos.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.5.3. Diagrama del sistema de calidad de energía.

En la figura 5 se muestra el diagrama eléctrico del sistema de calidad de energía.

Diagrama del sistema de calidad de energía

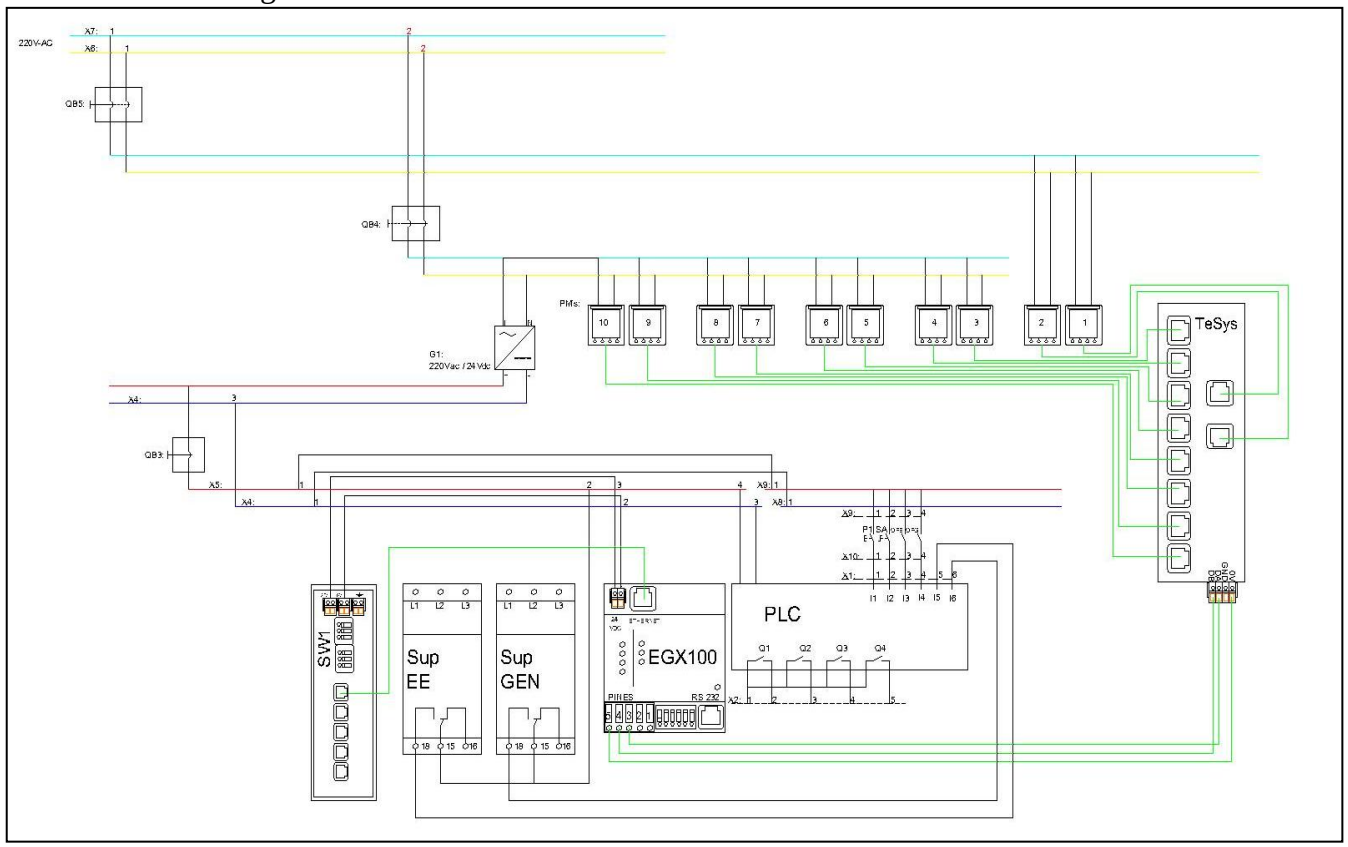


Figura 5. Circuito de alimentación a los elementos de control.

Elaborado por: Luis Tinoco.

El diagrama de la figura 5 se encuentra el conexionado de todos los elementos de control utilizados para el sistema de calidad de energía, en este consta el PLC y sus entradas para el control de la transferencia automática y el concentrador Modbus RTU con las 10 centrales de medida conectado a la pasarela Ethernet para el sistema de monitoreo y adquisición de datos.

3.5.4. Diagrama de entradas y salidas del PLC.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de entradas y salidas del PLC.

Diagrama del PLC

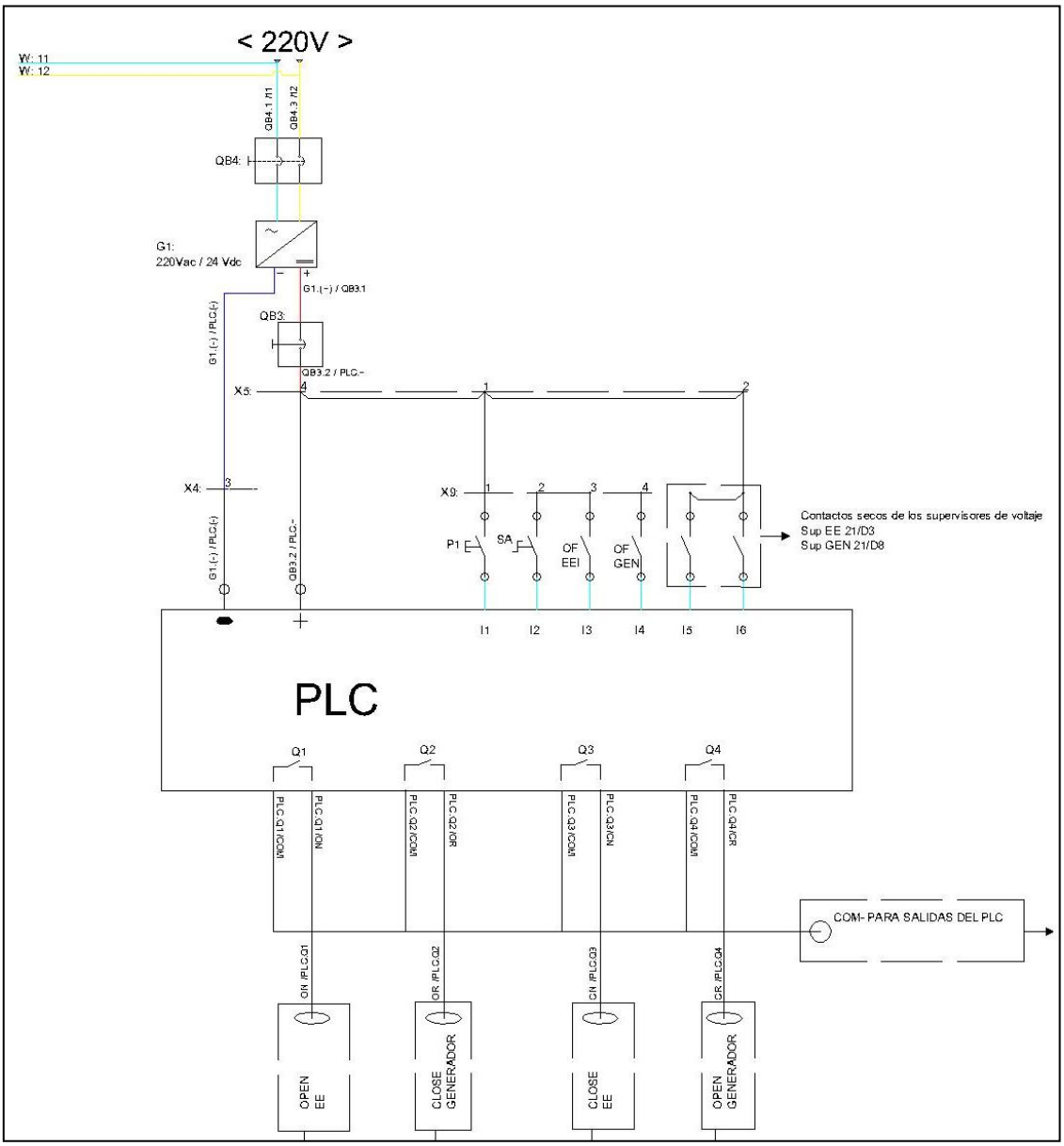


Figura 6. Mandos de entrada y salidas del PLC.

Elaborado por: Luis Tinoco.

El objetivo principal del PLC es realizar la transferencia automática cambiando de la fuente de Empresa Eléctrica (EE) a Generación (GEN) si recibe la condición de que no existe voltaje en la red de suministro. Para volver a la red de suministro, es decir hacer la re-transferencia el operador debe presionar el pulsador ubicado en el tablero de distribución.

Las condiciones en las que debe estar el sistema para que el PLC haga la transferencia o la re-transferencia dependerán de las siguientes variables:

- Selector en la posición de automático.
- Presionar el pulsador durante 5 segundos para la re-transferencia.
- Supervisor de voltaje del Suministro de EE en condición optima de trabajo (Sup_EE=1) para poder volver a la red EE ó señal de falla (Sup_EE=0) para hacer la transferencia automática.
- Supervisor de voltaje del Generador (GEN) en condición optima de trabajo (Sup_GEN=1) para entrar a trabajar con Generación ó señal de falla (Sup_GEN=0) no cierra el breaker hasta que el generador entre a trabajar.
- Estado ó posición de breaker de EE: Breaker cerrado (OF_EE=1) ó breaker abierto (OF_EE=0).
- Estado ó posición de Breaker de GEN: Breaker cerrado (OF_GEN=1) ó Breaker abierto (OF_GEN=0).

En la tabla 26 se describe las entradas del PLC con su respectiva dirección y símbolo.

Tabla 26.

Entradas del PLC.

N°	Símbolo	Dirección	Descripción
1	P1	I1	Presionar 5 segundos para realizar la transferencia.
2	SA	I2	Selector en automático.
3	OF EE	I3	Breaker de Empresa Eléctrica cerrado.
4	OF GEN	I4	Breaker de Generador cerrado.
5	Sup EE	IB	Supervisor de voltaje Empresa Eléctrica
6	Sup GEN	IC	Supervisor de voltaje Generador

Nota. P= pulsador, SA= selector en automático, OF=Confirmación, Sup= Supervisor

Elaborado por: Luis Tinoco

Según las condiciones de entrada del PLC este realiza la transferencia automática o la re-transferencia, enviando las señales por las salidas tipo relé al interbloqueo ó enclavamiento eléctrico mejor conocido como IVE, este dispositivo según la orden del PLC, abre o cierra los breaker del tablero de distribución para que trabajen con la fuente de Empresa Eléctrica ó Generación pero no con ambas al mismo tiempo.

El IVE comanda la transferencia bajo las órdenes de: Open Normal (ON), Close Normal (CN), Open Remplace (OR), Close Remplace (CR). Entonces las salidas del PLC envían las siguientes órdenes:

- Para realizar la transferencia automática: primero envía la orden de apertura del breaker de EE (ON), segundo envía a cerrar el breaker de Generación (CR).

- Para realizar la re-transferencia: primero envía la orden de apertura del breaker de GEN (OR), segundo envía a cerrar el breaker de EE (CN).

En la tabla 27 se describe las salidas del PLC con su respectiva dirección y símbolo.

Tabla 27.

Salidas del PLC.

N°	Símbolo	Dirección	Descripción
1	OPEN EE	Q1	Abrir Breaker de Empresa Eléctrica
2	CLOSE GEN	Q2	Cerrar Breaker del Generador
3	CLOSE EE	Q3	Cerrar Breaker de Empresa Eléctrica
4	OPEN GEN	Q4	Abrir Breaker del Generador

Nota. Las salidas del PLC son las entradas de control del IVE.

Elaborado por: Luis Tinoco

3.6. Identificación de elementos.

En la figura 7 se muestra el orden de los elementos de control instalados en el tablero.

Elementos de control

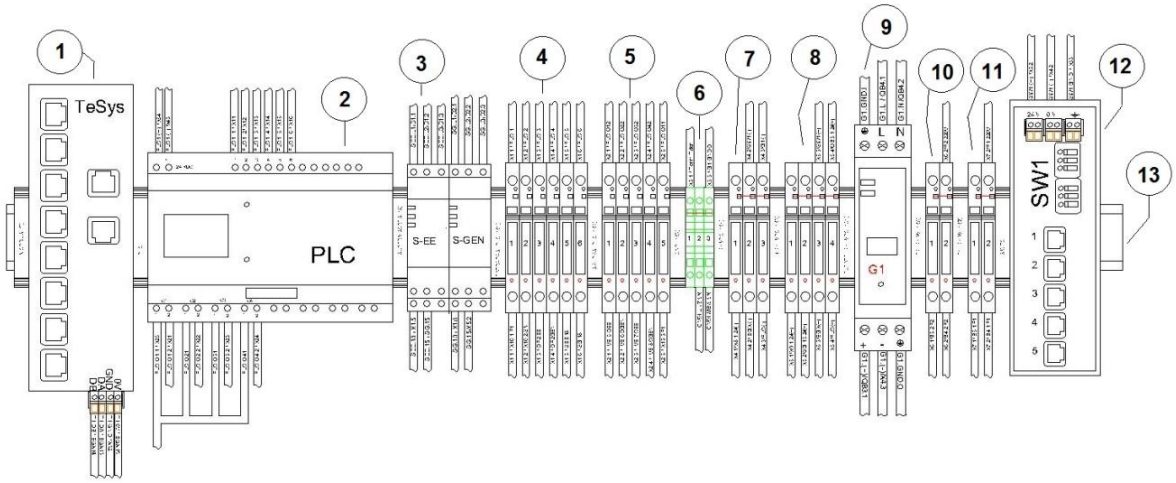


Figura 7. Ver el anexo 1

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 28 se identifican los elementos de control.

Tabla 28.

Identificación de los elementos de control.

N°	Elemento	Descripción
1	Concentrador Modbus RTU	Llegan los cables de comunicación de las centrales de medida.
2	PLC – Zelio	Autómata para el control de la transferencia.
3	Supervisores de voltajes	Señal de existencia de voltaje en la red.
4	Conjunto de 6 Borneras	Para las señales de entrada al PLC.
5	Conjunto de 5 Borneras	Para las señales de salida del PLC
6	Conjunto de 3 Borneras	Para puesta a tierra de los equipos.
7	Conjunto de 3 Borneras	Conexión a 0V.
8	Conjunto de 4 Borneras	Conexión a 24V.
9	Fuente de voltaje DC	Para alimentación DC.
10	Par de Borneras	Para traer la fase 2 (220V)
11	Par de Borneras	Para traer la fase 1 (220V)
12	Switch	Para intercomunicar la red Ethernet
13	Riel Din	Para sostener los equipos

Nota. Ver anexo 1.

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 8 se muestra el orden de los elementos de protección instalados para los equipos de control y la pasarela Ethernet.

Dispositivos de protección y pasarela Ethernet

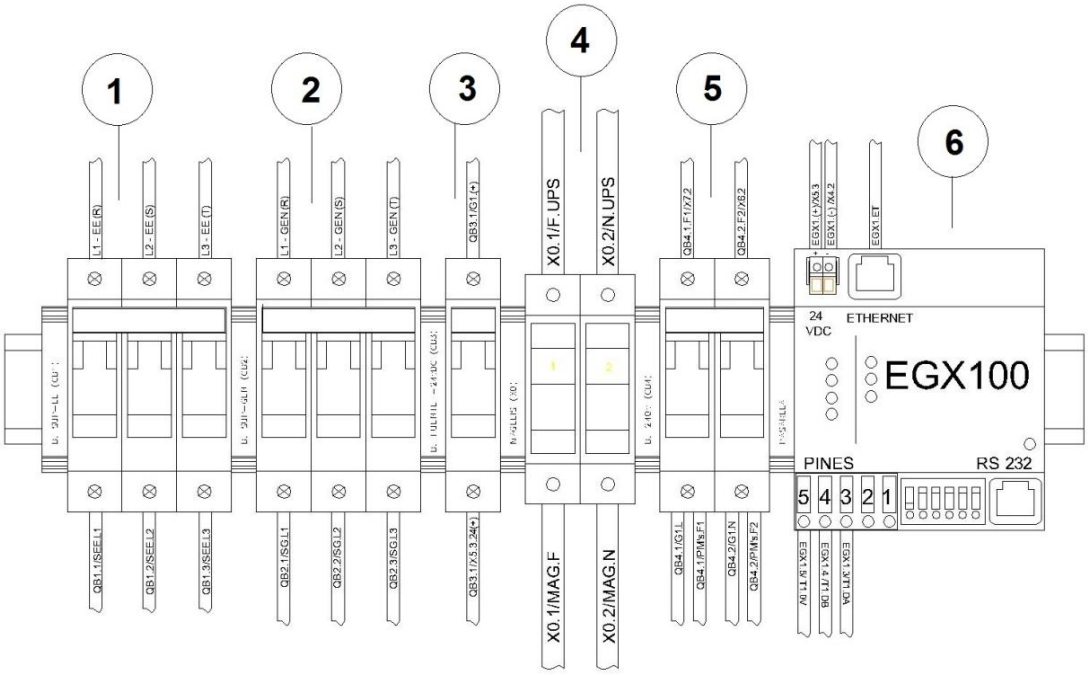


Figura 8. Ver anexo 1.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 29 se identifican los elementos de protección.

Tabla 29.

Identificación de los elementos de protección.

N°	Elemento	Descripción
1	Breaker 3P-1A	Protección supervisor de suministro.
2	Breaker 3P-1A	Protección supervisor de generación
3	Breaker DC 1P-3A	Protección para equipos DC
4	Borneras porta fusibles	Protección de la pantalla Touch Magelis.
5	Breaker 2P-6A	Para las señales de salida del PLC
6	Conjunto de 3 Borneras	Para puesta a tierra de los equipos.

Nota. Ver anexo 1.

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 9 se muestra una fotografía de los equipos de control instalados (ver anexo 1).

Equipos de control

Figura 9. Elementos de control montados en el tablero.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.7. Montaje del tablero de transferencia.

El tablero de transferencia corresponde a un gabinete eléctrico de distribución con dos alternativas de fuente de alimentación (por suministro de Empresa eléctrica ó Generación), para lo cual cuenta con dos breaker's principales motorizados, con un seguro mecánico que permite que solo pueda trabajar uno a la vez y el enclavamiento eléctrico que es el dispositivo de control que efectúa la transferencia o re-transferencia de acuerdo a las ordenes del PLC.

El gabinete tiene una dimensión de: 2000 mm de alto más 300 mm del acople para barras, 1200 mm de ancho y 800 mm de espesor. En la figura 10 se muestra el diseño del tablero de transferencia con el barraje (ver anexo 2).

Diseño del tablero de transferencia

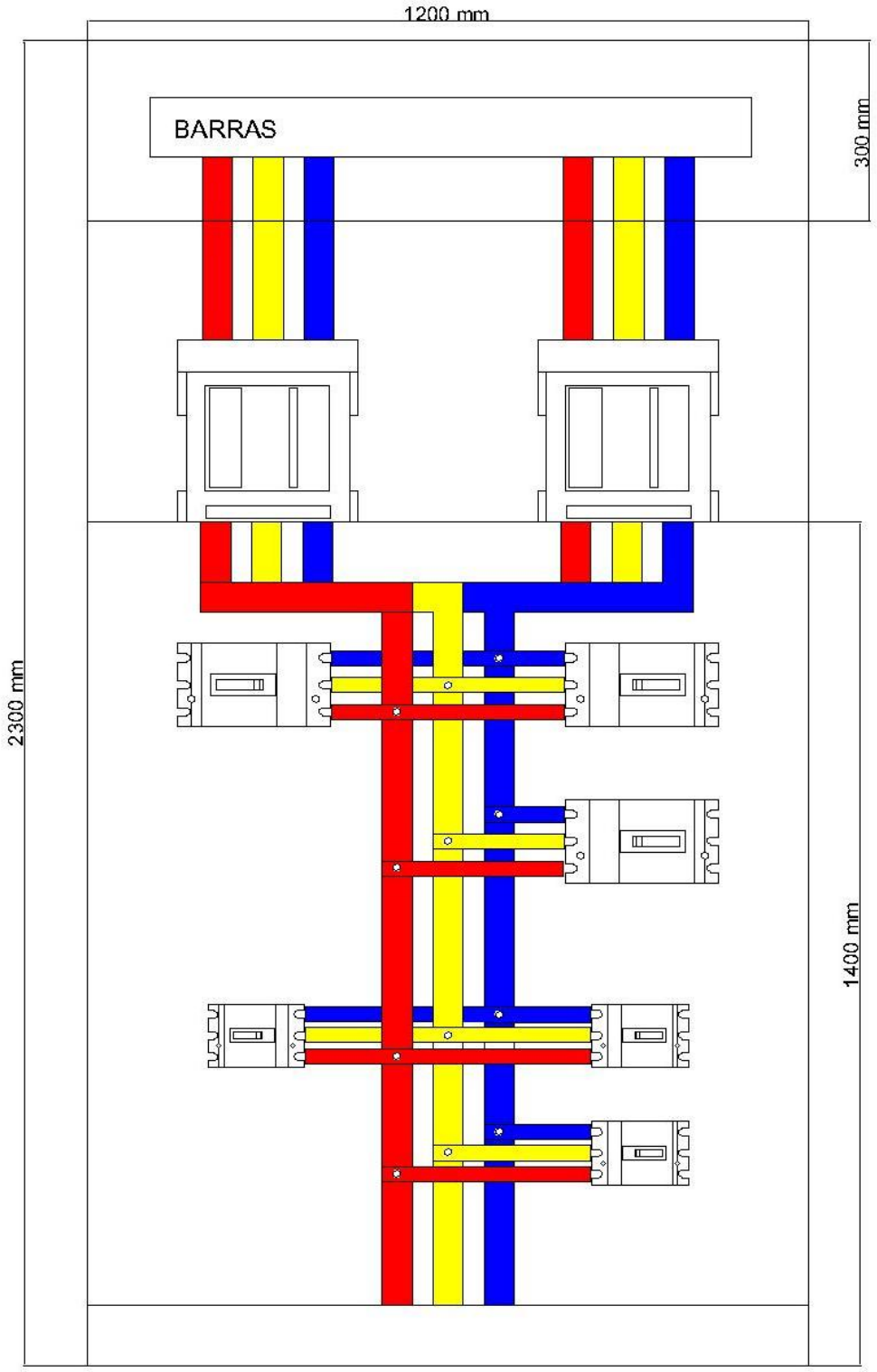


Figura 10. Distribución del barraje en el tablero.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.8. Conexión de los dispositivos de red Modbus.

En la figura 11 se muestra el diagrama de conexión de la red Modbus RTU, la misma que corresponde a los once dispositivos de medición de los parámetros de la red eléctrica conectados independientemente uno de otro en un puerto del concentrador Modbus.

Diagrama de conexión Modbus RTU

Figura 11. Concentración de la comunicación de las centrales de medida.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.8.1. Construcción del cable RS-485.

El protocolo Modbus RTU utiliza el estándar de comunicación serial RS-485; el mismo que puede ser a dos o cuatro hilos, es decir, de transmisión o de transmisión y recepción respectivamente.

La configuración dos hilos, únicamente para transmisión cuenta con TX+, TX- y GND. Mientras que la configuración 4 hilos para transmisión y recepción cuenta con TX+, TX- (Para transmisión) y RX+, RX- y GND (Para recepción).

Las centrales de medida son dispositivos que sirven solo para transmitir información de los parámetros de la energía eléctrica, entonces se utiliza la configuración 2 hilos. En el extremo del medidor se conecta a bornera y en el otro extremo al concentrador Modbus se conecta mediante un conector RJ45 (Ver la figura 4).

En la tabla 30 se muestra la nomenclatura de borneras y pines en la conexión del cable RS-485.

Tabla 30.

Borneras y pines de la PM810 y el conector RJ45.

Borneras de la central de medida (PM810)	**Pines del conector RJ45**	**Corresponde a**
+	4	TX+
-	5	TX-
Ɵ	8	GND

Nota. TX=Transmisión.

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 12 se muestra una fotografía del cable RS-485 que se elaboró para las pruebas de comunicación. Vale mencionar que los cables RS-485 instalados en los tableros son de mayor longitud, solo el más largo tiene una longitud aproximada de 8 metros y el menor de 2 metros. El total de número de cables corresponde al total de equipos Modbus que llegan al concentrador.

Cable RS-485

Figura 12. Un extremo con el conector RJ45 y el otro libre para conexión a bornera.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En cambio para conectar la Micrologic, que es el dispositivo de medición del Breaker principal del suministro de Empresa Eléctrica, este llega directo con cable a borneras como lo indica la tabla 31.

Tabla 31.

Borneras de la Micrologic y concentrador.

Borneras Micrologic 6.0H	**Borneras Concentrador Modbus RTU**	**Corresponde a**
E4 puente E6	DA	TX+
E3 puente E5	DB	TX-
Ɵ	GND	GND

Nota. Esta tabla hace referencia al nombre de las borneras de cada equipo.

Elaborado por: Luis Tinoco

Se Conecta la pasarela Ethernet a la red Modbus RTU en las borneras correspondientes como lo indica la figura 13.

Conexión de la pasarela EGX100

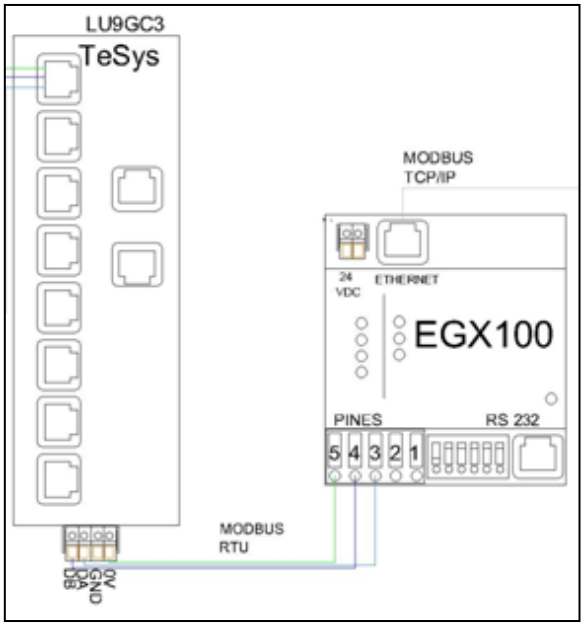


Figura 13. Comunicación 2 hilos

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 32 se muestra los nombres de las borneras donde se conecta el concentrador Modbus RTU con la pasarela EGX100.

Tabla 32.

Borneras del concentrador y la pasarela EGX100.

Concentrador Modbus RTU	Borneras de la Pasarela EGX100
DA	RX+ /3
DB	RX- /4
GND	GND/5

Nota. /# se refiere al número de pin

Elaborado por: Luis Tinoco

3.9. Flujograma del proceso de transferencia.

El PLC hace una supervisión constante del sistema, de tal forma que su lógica de programación no tiene inicio ni fin, es decir es un proceso cíclico de supervisión de falla de voltaje. El sistema da preferencia a trabajar con el suministro de Empresa Eléctrica, en condiciones de falla debe hacer la transferencia para trabajar con Generación; y para volver al suministro de Empresa Eléctrica este debe encontrarse en condiciones favorables de trabajo.

Para explicar la lógica de programación del flujograma de la figura 14 se describen dos posibilidades: La transferencia y la re-transferencia.

En la primera posibilidad, si el sistema se encuentra trabajando con el suministro de Empresa Eléctrica: 1) se entrega voltaje a la carga, 2) si el supervisor de Empresa Eléctrica no detecta voltaje el PLC envía la orden de apertura del Breaker de la Empresa Eléctrica, 3) el supervisor de Generador detecta voltaje el PLC envía la orden de cierre del Breaker de Generación completando la transferencia.

En la segunda posibilidad, si el sistema se encuentra trabajando con Generación: 1) se entrega voltaje a la carga, 2) el supervisor de Empresa Eléctrica detecta voltaje, 3) el operador presiona el pulsador durante 5 segundos y el PLC envía la orden de apertura del Breaker de Generación y luego cierra el Breaker de Empresa Eléctrica completando así la re-transferencia.

Flujograma de la transferencia automática

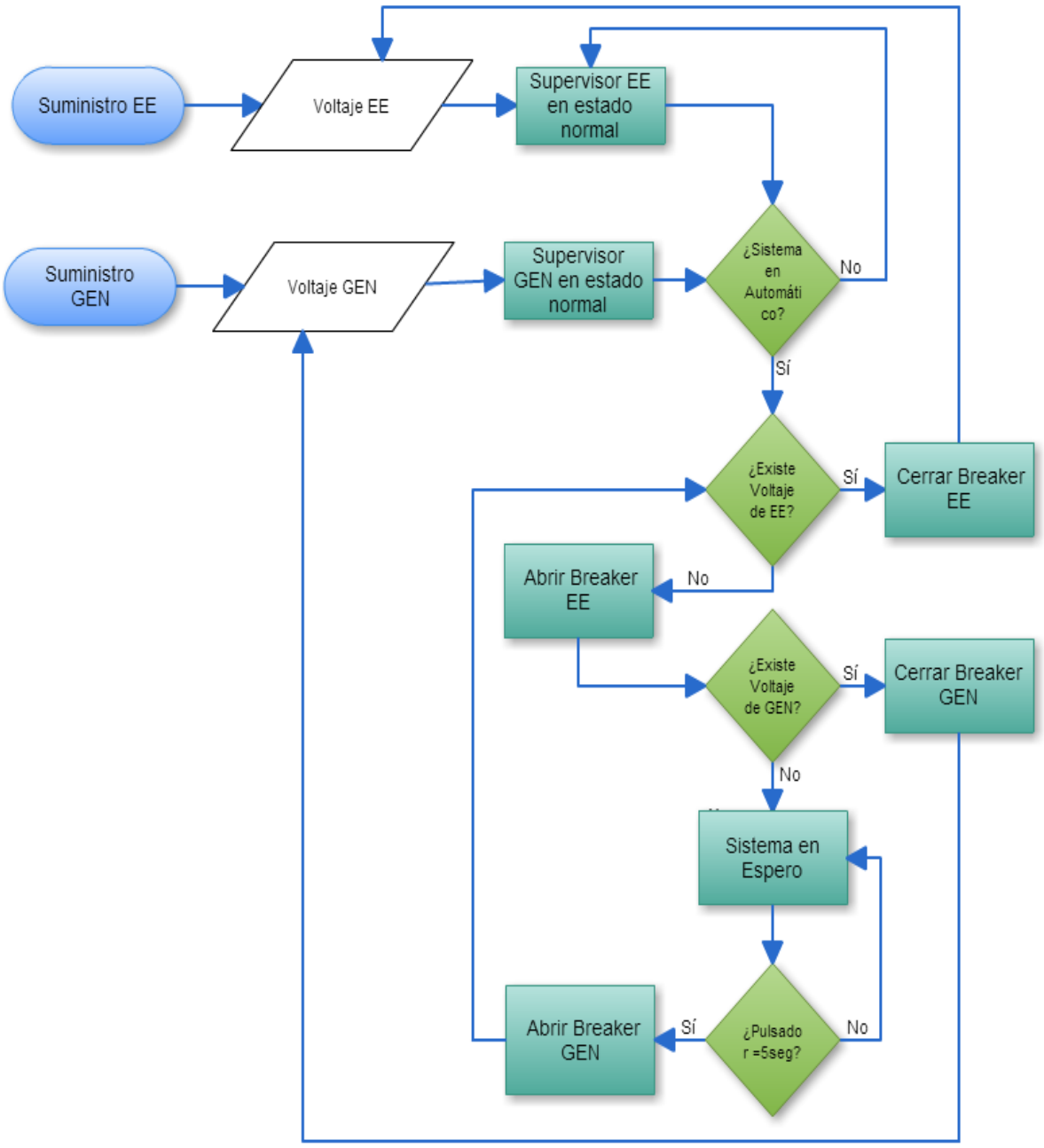


Figura 14. Proceso de transferencia automática.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.10. Implementación de la red Modbus RTU – TCP/IP.

Para la implementación de la red Modbus RTU, la cual corresponde a las 10 centrales de medida y la Micrologic del breaker principal del suministro de Empresa Eléctrica, se realizaron los siguientes pasos:

- Configuración de los parámetros de comunicación en las centrales de medida.
- Configuración de la pasarela EGX100 para Modbus RTU.

Para la implementación de la red Modbus TCP/IP (Ethernet), la cual corresponde a la pasarela EGX100, la pantalla touch Magelis y el servidor; se asignaron direcciones IP dentro de la red de oficinas.

3.10.1. Configuración de los parámetros de comunicación en las centrales de medida.

En total son 11 dispositivos conectados a la red de monitoreo, 10 centrales de medida PM810 y una Micrologic en el breaker del suministro de la Empresa Eléctrica; los cuales tienen el protocolo de comunicación Modbus RTU, lo que involucra configurar a cada dispositivo con una dirección ID diferente para diferenciarse dentro de la red, entre otros parámetros de una comunicación serial (ver anexo 3).

Entonces los parámetros a configurar son los siguientes:

- Dirección ID.
- Velocidad Baudios.
- Paridad.

Estos parámetros de comunicación deben ser idénticos en todos los dispositivos y principalmente con los parámetros de la EGX100, que es el dispositivo intermediario entre los dos tipos de protocolos de comunicación.

Una vez encendido el equipo, se accede a las configuraciones de comunicación siguiendo los siguientes pasos:

1) Se Ingresa a mantenimiento (MAINT/SETUP).

2) Se Digita la clave (por defecto: 0000) y presione OK.

3) Se Ingresa a COM.

4) Se Selecciona el protocolo: Modbus RTU (MBRTU) y presione OK.

5) Se Selecciona la dirección (Una dirección diferente para cada equipo).

6) Se Selecciona la velocidad (Baudios) y la paridad (PAR, IMPAR ó Ninguna).

7) Se Guardan los cambios y se sale del menú de configuraciones.

Los parámetros configurados son:

- Protocolo: Modbus RTU (MBRTU).
- Dirección: de la 1 a la 11 (Ver tabla 23).
- Velocidad: 9600 Baud.
- Paridad: Ninguna.

3.10.2. Configuración de la pasarela EGX100.

La pasarela Ethernet EGX100 maneja un portal de acceso Web conocido como Power Logic, el cual permite visualizar los registros de los equipo Modbus RTU conectados a su interfaz. Una pasarela Ethernet soporta hasta 32 equipos en serie.

El portal Web Power Logic sirve además para realizar las configuraciones de red que necesita el equipo para trabajar bajo las mismas condiciones que el resto de los dispositivos en la red.

Para ingresar por primera vez al Power Logic de la pasarela Ethernet se siguen los siguientes pasos:

1) Conectar la pasarela Ethernet a una fuente de alimentación DC y encenderla.

2) Conectar un cable Ethernet (Cruzado) en el puerto de la pasarela EGX100 y el puerto de una PC.

3) Configurar una IP fija en la PC para crear una red entre esta y la pasarela EGX100. Tomar en cuenta que la IP que viene de fábrica de la pasarela Ethernet es: 169.254.0.10 y de máscara: 255.255.0.0, por ejemplo se puede configurar la IP: 169.254.0.9 y la máscara: 255.255.0.0.

4) Se abre un explorador y se escribe la dirección IP de fábrica de la pasarela EGX100 como lo muestra la figura 15.

Ingreso a la pasarela EGX100

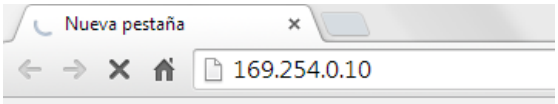


Figura 15. Dirección IP predeterminada.

Elaborado por: Luis Tinoco.

5) Se Ingresa la clave y usuario de fábrica (Usuario: Administrator y clave: Gateway).

6) Se Configura los parámetros de comunicación de la red Modbus RTU iguales a los configurados en las centrales de medida. Para esto se debe ubicar en la pestaña Setup dentro del Power Logic en el menú Serial Port como lo indica la figura 16.

Configuración del puerto serial

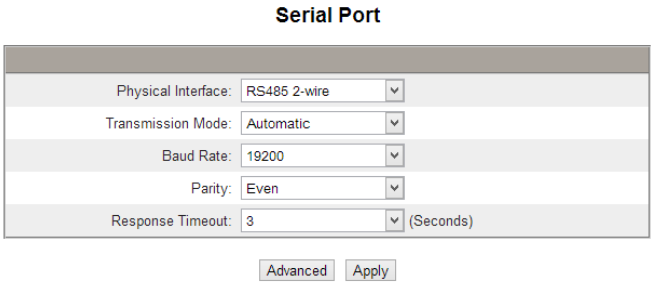


Figura 16. Valores configurados para la comunicación Modbus RTU.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.10.3. Configuración del DIP SWITCH de la Pasarela EGX100 para comunicación 2 hilos.

El DIP SWITCH de la pasarela EGX100 sirve para configurar la comunicación serial, si esta será para 4 hilos o para 2 hilos, es decir para transmisión y recepción ó simplemente transmisión respectivamente; En este caso debe encontrarse en la configuración 2 hilos como lo muestra la figura 17, el primer switch de izquierda a derecha en la posición OFF y el resto en ON.

Configuración 2 hilos

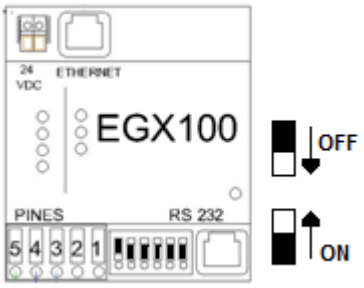


Figura 17. El primer switch va arriba el resto abajo.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.10.4. Asignación de direcciones IP a los equipos de la red Ethernet.

En la red Ethernet corresponden los equipos de interfaz con el usuario como son el servidor y la pantalla touch además del dispositivo intermediario entre la red Modbus RTU y la red Ethernet. Estos equipos se les asignan una dirección IP dentro de la misma red.

Se debe cambiar también la IP de la pasarela Ethernet ingresando al portal web Power Logic de la misma con la dirección de fábrica, luego en la pestaña Setup en la opción Ethernet & TCP/IP. Ingrese la nueva IP y mascara de red y actualice la página. Como se cambió la IP es necesario establecer la IP de la computadora con la que está ingresando al Power Logic dentro de la misma red para volver a ingresar.

En la figura 18 se muestra la arquitectura de la red Ethernet, en la cual se puede visualizar la IP que se establece en la implementación de este proyecto. Cabe mencionar que la pasarela Ethernet EGX100 y la pantalla Touch Magelis se encuentran en el área de los tableros de distribución y estos están conectados a un SWITCH de donde sale un cable hacia la red de las oficinas y donde se encuentra también conectado el servidor.

Asignación de direcciones IP

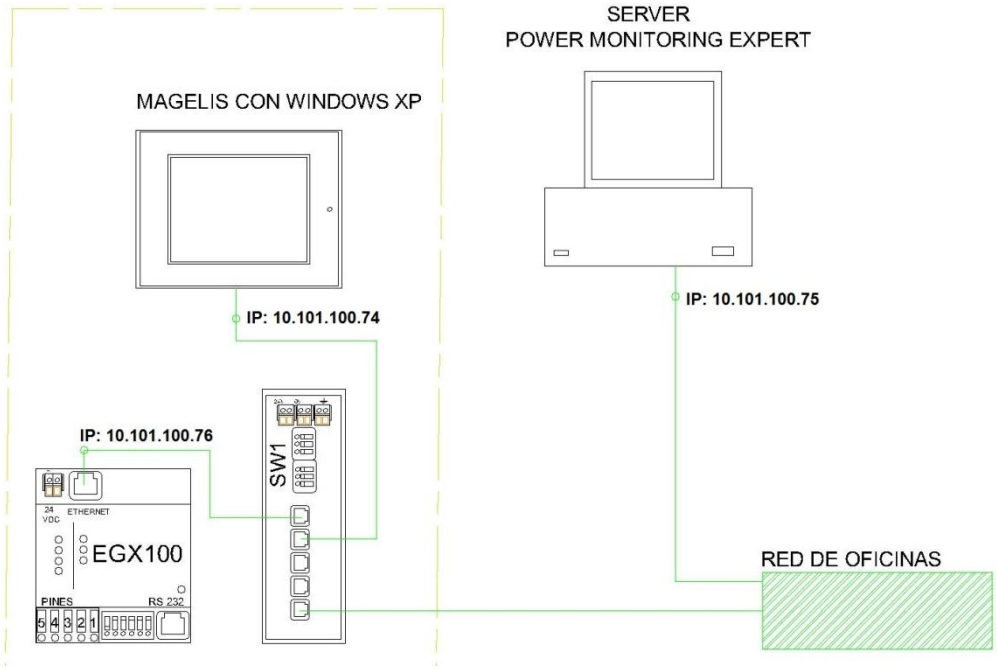


Figura 18. La máscara de red es 255.255.255.0 para todos los equipos.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.11. Power Monitoring Expert.

El software Power Monitoring Expert es especializado en sistemas de calidad de energía, utilizado para la adquisición de datos y supervisión de consumos energéticos. Son varias las aplicaciones que se pueden dar, entre ellas están:

- Maximizar la eficiencia energética.
- Analizar la red de distribución eléctrica.
- Identificar las perdidas energéticas.
- Asignación de costos por departamentos.
- Tomar medidas de ahorro de energía.
- Mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de los equipos.
- Monitoreo en tiempo real.

3.11.1. Caracterización del software Power Monitoring Expert.

En la tabla 33 se muestra la caracterización del software Power Monitoring Expert.

Tabla 33.

Caracterización Power Monitoring Expert.

Parámetros	**Descripción**
Creador	Schneider Electric
Licencias Utilizadas	1 Servidor único, 1 Cliente Web, 11 Equipos Modbus RTU.
Nombre del software	Power Monitoring Expert
Logo	
Compatibilidad	Windows 7 profesional, SP1.
Aplicaciones	Monitoreo de energía, Generación de reportes, supervisión de consumos, análisis de armónicos y factor de potencia.
Soporta comunicación	Modbus TCP/IP
Herramientas	Vista.- para diseño; Designer.- programación; Management Console.- configuraciones; Reporter.- crear reportes. Y Web Client.- supervisión.

Nota. SCHNEIDER-ELECTRIC

Elaborado por: Luis Tinoco

3.11.2. Management Console.

La herramienta Management Console del software Power Monitoring Expert, tiene la función de integrar los dispositivos Modbus al sistema de monitoreo de energía, es decir la aplicación principal de esta herramienta es añadir los dispositivos de medición al sistema en base a las configuraciones realizadas en los equipos.

Para comenzar añadir cada uno de los dispositivos de la red de monitoreo de energía, es necesario que todos los dispositivos se encuentren conectados y encendidos listos para funcionar.

Al momento de instalar el software Power Monitoring Expert en el servidor, en uno de los pasos pide al operador que ingrese una clave la cual permite el acceso a las configuraciones del sistema, y al finalizar la instalación se crea en el escritorio una carpeta con el nombre de: "StruxureWare Power Monitoring Expert"; se abre esta carpeta y con doble clic sobre el ícono de Management Console.

Primero es necesario crear el dispositivo intermediario entre las centrales de medida (PM's) y el servidor, es decir la pasarela EGX100 de Modbus RTU a Modbus TCP/IP de los estándar de comunicación RS-485 a a Ethernet respectivamente.

Una vez dentro del Management Console siga los siguientes pasos:

1) Ubicarse en la pestaña: "Sites".

2) Hacer un clic derecho sobre el centro de la ventana.

3) Seleccione la opción: "Ethernet Gateway Site" como lo indica en la figura 19.

Ventana del Management Console

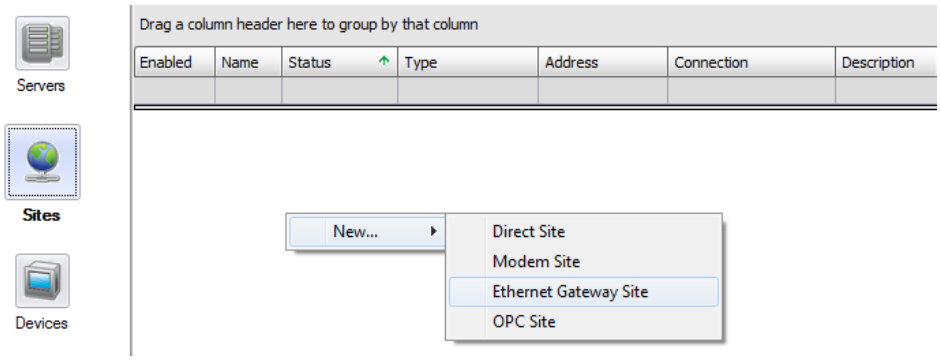


Figura 19. Crear un nuevo sitio de puerto de enlace Ethernet.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4) Escriba un nombre para el dispositivo, digite la dirección IP de la pasarela EGX100 y seleccione el puerto 502 en la ventana que aparece y que se muestra en la figura 20.

Crear sitio Ethernet

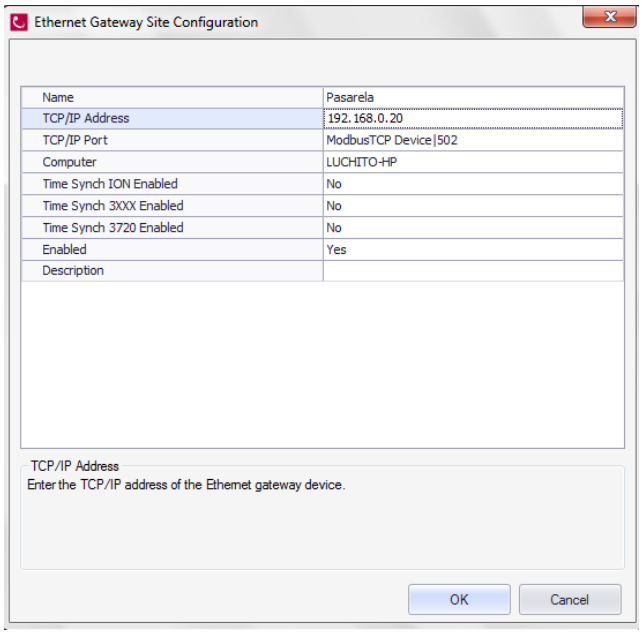


Figura 20. Dirección IP que corresponde a la pasarela.

Elaborado por: Luis Tinoco.

5) Se Presiona OK.

6) Cuando se crea el sitio de puerta de enlace Ethernet aparece automáticamente enlistado en la ventana, de clic derecho sobre este y seleccione conectar para que se establezca la conexión.

7) Para crear los dispositivos, se dirige a la pestaña: Devices.

8) En el centro de la ventana se hace clic derecho y seleccione la opción: “Serial Device on Ethernet Gateway Site” (Dispositivo serie en puerta de enlace Ethernet), como lo muestra la figura 21.

Añadir dispositivos de medición

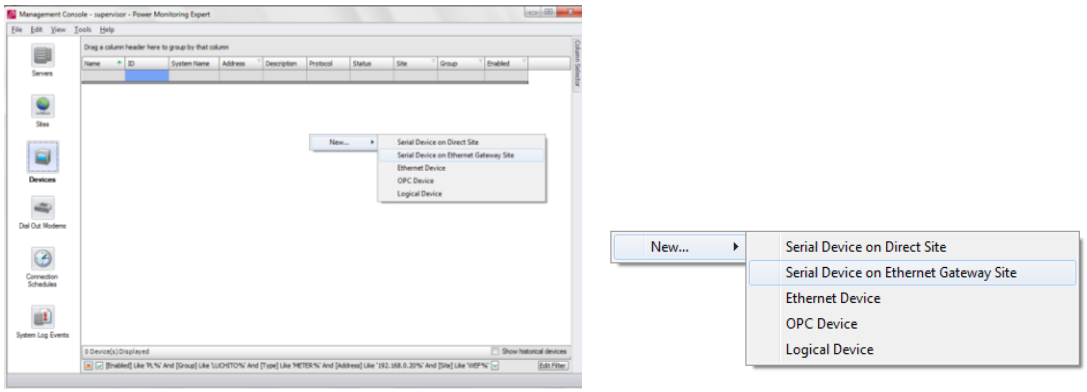


*Figura 21.*Crear dispositivo Modbus en la puerta de enlace Ethernet.

Elaborado por: Luis Tinoco.

9) En la ventana que aparece escriba o seleccione el grupo al que pertenece el dispositivo, escriba un nombre para diferenciarlo en la red, se selecciona en el tipo de dispositivo la serie a la que pertenece el dispositivo, se escribe la dirección ID del dispositivo y se selecciona el sitio de puerta de enlace Ethernet por donde se comunica. Y por último se presiona ok.

Añadir dispositivos de medición

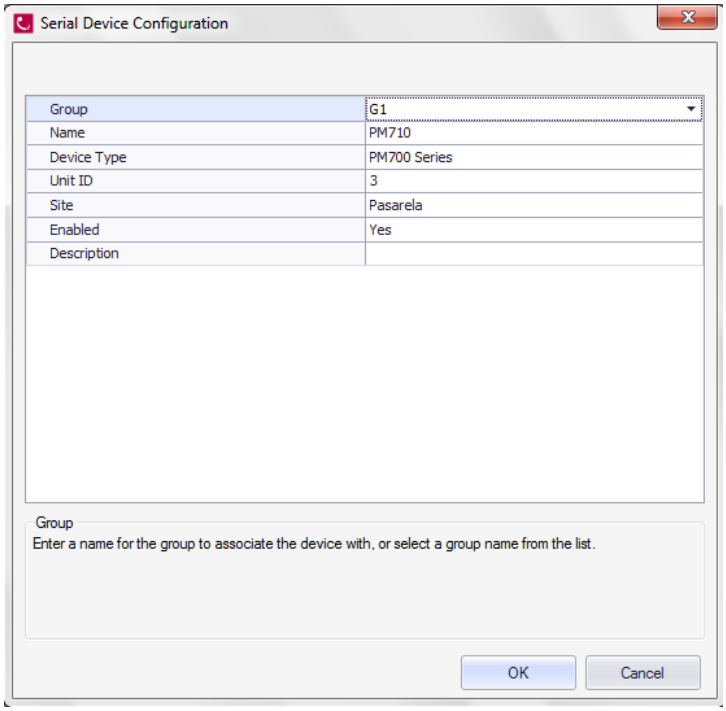


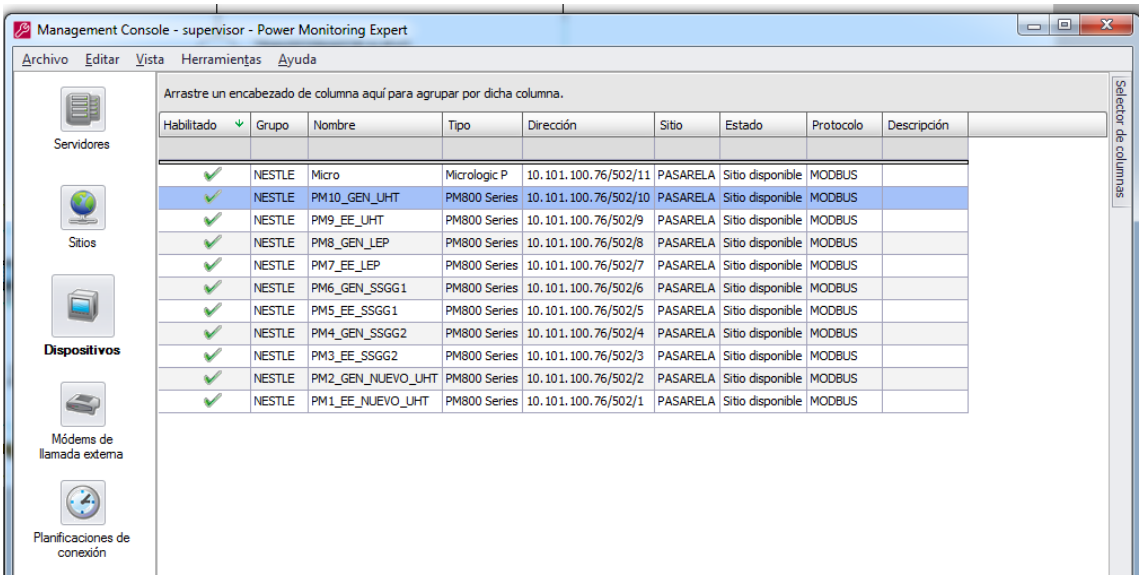
Figura 22. Creando equipos Modbus correspondientes a las centrales de medida.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Se Repiten los pasos 7, 8 y 9 para añadir todos los dispositivos Modbus RTU (dispositivos de medición o centrales de medida). En este caso se añadieron los 11 dispositivos de medición conectados a la pasarela EGX100.

En la figura 23 se muestra una captura de los 11 dispositivos que se añaden al sistema de monitoreo en estado de conexión.

Dispositivos de medición añadidos al sistema



Habilitado	Grupo	Nombre	Tipo	Dirección	Sitio	Estado	Protocolo	Descripción
✔	NESTLE	Micro	Micrologic P	10.101.100.76/502/11	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM10_GEN_UHT	PM800 Series	10.101.100.76/502/10	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM9_EE_UHT	PM800 Series	10.101.100.76/502/9	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM8_GEN_LEP	PM800 Series	10.101.100.76/502/8	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM7_EE_LEP	PM800 Series	10.101.100.76/502/7	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM6_GEN_SSGG1	PM800 Series	10.101.100.76/502/6	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM5_EE_SSGG1	PM800 Series	10.101.100.76/502/5	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM4_GEN_SSGG2	PM800 Series	10.101.100.76/502/4	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM3_EE_SSGG2	PM800 Series	10.101.100.76/502/3	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM2_GEN_NUEVO_UHT	PM800 Series	10.101.100.76/502/2	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	
✔	NESTLE	PM1_EE_NUEVO_UHT	PM800 Series	10.101.100.76/502/1	PASARELA	Sitio disponible	MODBUS	

Figura 23. Lista de las 11 centrales de medida.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.11.3. Vista.

La herramienta Vista sirve para diseñar pantallas para la presentación de los datos como también para organizar los diagramas predeterminados que genera el software por cada central de medida que está conectada al sistema. Estas pantallas son:

- Inicio.
- Tableros.
- Medidores del Suministro.
- Medidores del Generación.
- Micrologic.
- Mediciones de las centrales de medida (10).
- Unifilar (salto a los diagramas predefinidos).

La pantalla de inicio tiene la finalidad de presentar al usuario una fotografía de la planta y la opción para que el operador pueda ingresar a las plantillas predefinidas por el software (unifilares) o a las diseñadas para presentación de los datos (tableros).

En la figura 24 se muestra el diseño de la pantalla de inicio y a su izquierda la ubicación de los botones de salto de pantalla, uno para ir a los tableros (pantallas diseñadas para presentación de las mediciones) ó el botón unifilares para ir a las pantallas predefinidas.

Pantalla de Inicio

Figura 24.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 34 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 24.

Tabla 34.

Acciones de la pantalla Inicio.

Item	Acción
1	Salto de pantalla hacia la ubicación de los tableros, despliega las opciones de: Micrologic, Suministro y Generación.
2	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

Cuando se ingresa a la pantalla tableros aparece una fotografía de los tableros y se despliega un nuevo menú para poder ingresar a visualizar los parámetros de medición de la Micrologic, de los medidores de suministro y de los medidores de generación.

En la figura 25 se muestra el diseño de la pantalla de tableros y a su izquierda la ubicación de los botones de salto de pantalla para visualizar los parámetros medidos por las centrales de medida.

Pantalla de Tableros

Figura 25.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 35 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 25.

Tabla 35.

Acciones de la pantalla tableros.

Item	Acción
1	Indica que se está presente en la pantalla Tableros
2	Salto de pantalla hacia los parámetros medidos de la Micrologic, central de medida del tablero principal del suministro de Empresa Electrica.
3	Salto de pantalla para visualizar los medidores del suministro de Empresa Electrica de todos los tableros de distribución.
4	Salto de pantalla para visualizar los medidores de Generación de todos los tableros de distribución.
5	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 26 se muestra la pantalla que presenta los parámetros que se está midiendo en la Micrologic ubicada en el Breaker principal del suministro de energía eléctrica, a la cual se ingresa dando clic sobre el botón Micrologic ubicado a la izquierda de la pantalla.

Mediciones Micrologic

Figura 26. Parámetros medidos por la Micrologic.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 36 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 26.

Tabla 36.

Acciones de la pantalla Micrologic.

Item	Acción
1	Volver a la pantalla inicio
2	Indica que se está presente en la pantalla Micrologic
3	Salto de pantalla para visualizar los medidores del suministro de Empresa Eléctrica de todos los tableros de distribución.
4	Salto de pantalla para visualizar los medidores de Generación de todos los tableros de distribución.
5	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.
6	Indicadores numéricos para los parámetros medidos por la Micrologic.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 27 se muestra la pantalla que contiene los 5 medidores correspondientes a los tableros de distribución, al dar clic sobre estos se puede visualizar los parámetros del sistema eléctrico que trabaja con el suministro de la Empresa Eléctrica. A esta pantalla se ingresa cuando se da clic sobre el botón Suministro.

Medidores de suministro

*Figura 27.*Medidores del suministro de la Empresa Eléctrica.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 37 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 27.

Tabla 37.

Acciones de la pantalla Medidores de Suministro.

Item	Acción
1	Volver a la pantalla inicio.
2	Salto de pantalla hacia los parámetros medidos de la Micrologic, central de medida del tablero principal del suministro de Empresa Eléctrica.
3	Indica que se está presente en la pantalla Suministro.
4	Salto de pantalla para visualizar los medidores de Generación de todos los tableros de distribución.
5	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.
6	Botones de salto de pantalla en forma de medidores para ingresar a visualizar los parámetros de medición de cada tablero de distribución.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 28 se muestra la pantalla que contiene los 5 medidores correspondientes a los tableros de distribución, al dar clic sobre estos se puede visualizar los parámetros del sistema eléctrico que trabaja con el Generador eléctrico. A esta pantalla se ingresa cuando se da clic sobre el botón Generación.

Medidores de Generación

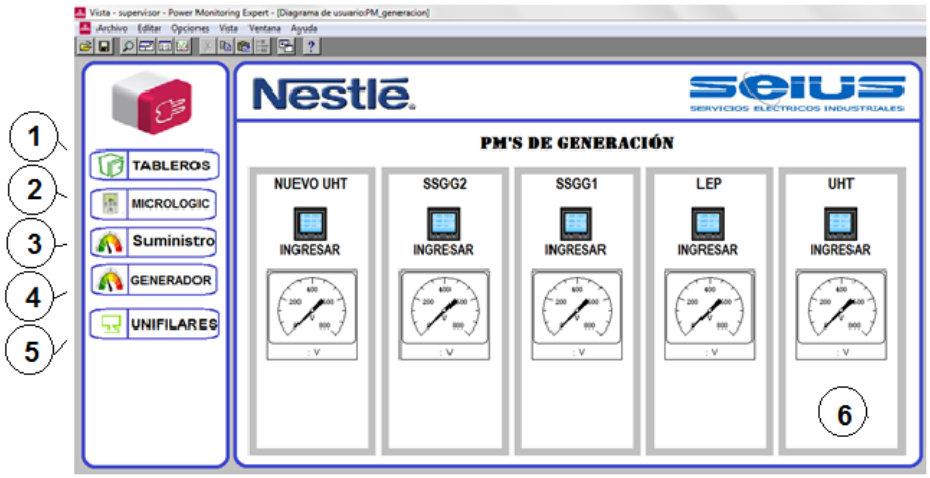


Figura 28. Medidores para Generación.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 38 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 28.

Tabla 38.

Acciones de la pantalla Medidores de Generación.

Item	Acción
1	Volver a la pantalla inicio.
2	Salto de pantalla hacia los parámetros medidos de la Micrologic, central de medida del tablero principal del suministro de Empresa Eléctrica.
3	Salto de pantalla para visualizar los medidores del suministro de Empresa Eléctrica de todos los tableros de distribución.
4	Indica que se está presente en la pantalla Generación.
5	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.
6	Botones de salto de pantalla en forma de medidores para ingresar a visualizar los parámetros de medición de cada tablero de distribución.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 29 se muestra la pantalla diseñada para presentar los parámetros del sistema eléctrico medidos por las centrales de medida, esta es una plantilla general que utilizan todos los medidores. Las lecturas básicas de cada central medida son: Voltajes de línea a línea, corrientes de línea, potencia activa, reactiva, aparente, consumo, frecuencia y el factor de potencia.

Parámetros de los medidores

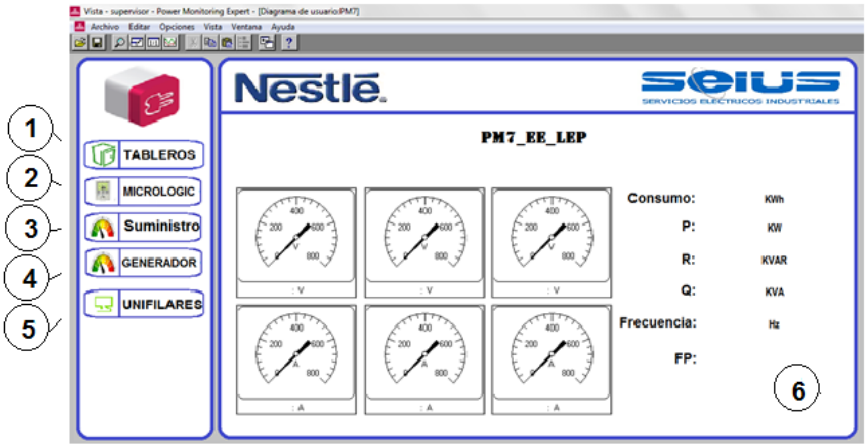


Figura 29. Parámetros medidos por el medidor 7 de Empresa Eléctrica.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 39 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 29.

Tabla 39.

Acciones de la pantalla de presentación de mediciones.

Item	**Acción**
1	Volver a la pantalla inicio.
2	Salto de pantalla hacia los parámetros medidos de la Micrologic, central de medida del tablero principal del suministro de Empresa Eléctrica.
3	Salto de pantalla para visualizar los medidores del suministro de Empresa Eléctrica de todos los tableros de distribución.
4	Salto de pantalla para visualizar los medidores de Generación de todos los tableros de distribución.
5	Salto de pantalla hacia la ubicación del unifilar del sistema, el cual abre los diagramas predeterminados del programa.
6	Indicadores numéricos para los parámetros medidos.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 30 se muestra la pantalla del unifilar correspondiente al sistema de distribución eléctrica, este diseño tiene la finalidad de organizar los diagramas predefinidos que genera el software de una forma organizada, cada dispositivo en el dibujo es un botón de ingreso a las pantallas del sistema. A esta pantalla se ingresa presionando en el botón Unifilares ubicado a la izquierda.

Unifilar del sistema

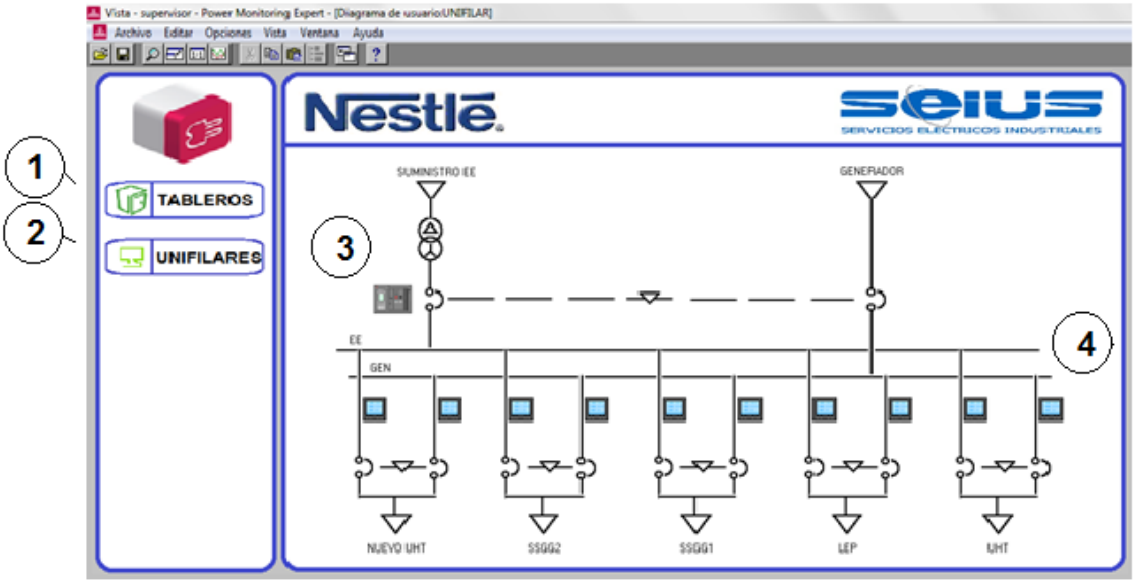


Figura 30. Unifilar correspondiente a las centrales de medida de los tableros de distribución.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 40 se muestran las acciones de salto de pantalla que realizan los botones indicados en la figura 30.

Tabla 40.

Acciones de la pantalla Unifilares.

Item	Acción
1	Salto de pantalla hacia la ubicación de los tableros, despliega las opciones de: Micrologic, Suministro y Generación.
2	Indica que se está presente en la pantalla Unifilares.
3	Botón en forma de Micrologic para ingresar a los diagramas predeterminados con las mediciones de la misma.
4	Botones en forma de medidores para ingresar a las mediciones de las centrales de medida.

Nota. Las acciones se ejecutan al presionar los botones numerados

Elaborado por: Luis Tinoco

En figura 31 se muestra un flujograma de las acciones de salto de pantallas.

Flujograma de saltos de pantallas

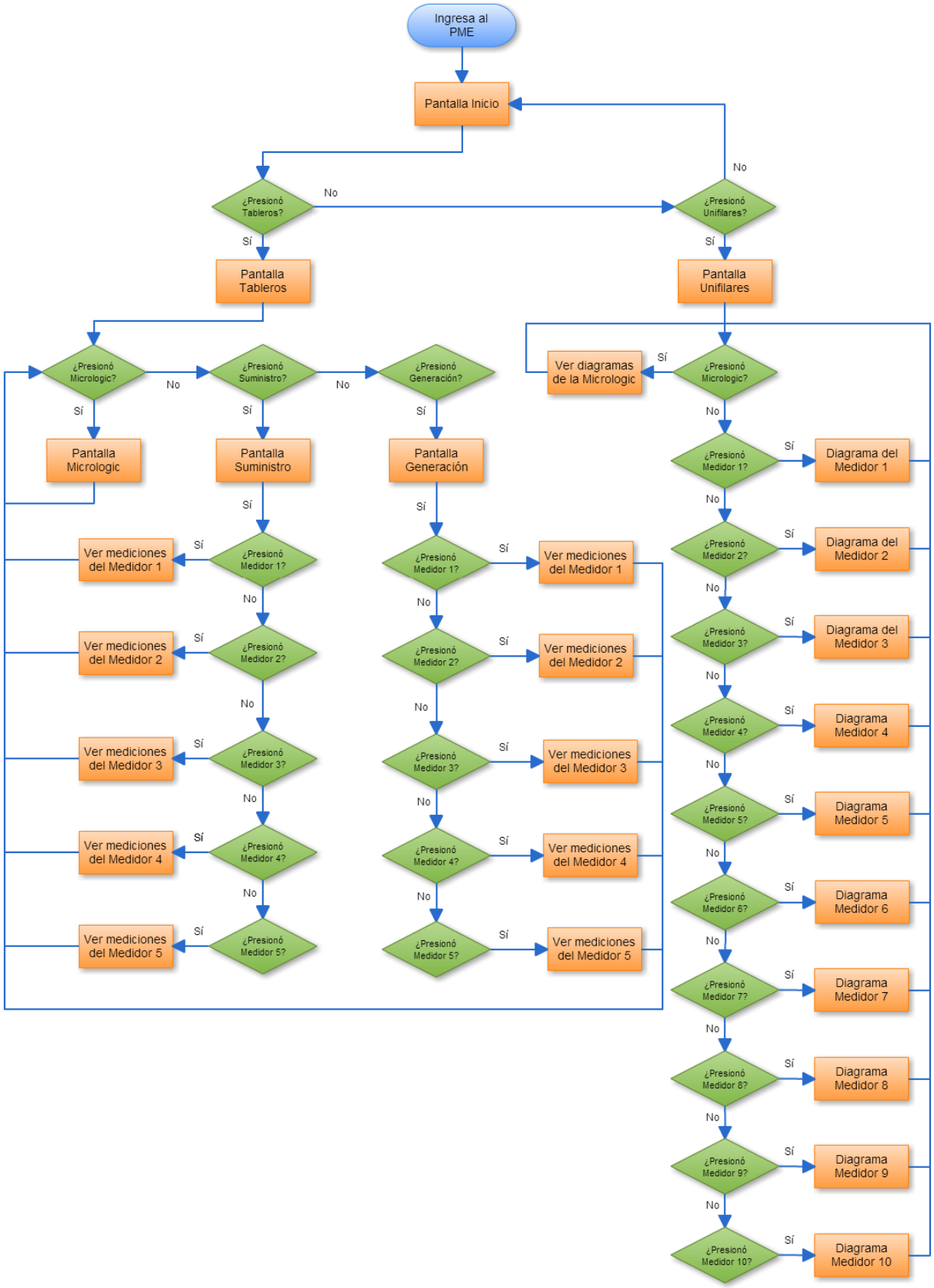


Figura 31. Acciones de salto de pantalla.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.11.4. Asignación de registros.

Las centrales de medida tienen un procesador que maneja registros, en los cuales guarda instantáneamente los valores de voltaje y corriente del sistema eléctrico y calcula automáticamente el resto de parámetros como: potencias, factor de potencia, entre otros. Estos registros son transmitidos hacia el servidor quien se encarga de almacenar en su base de datos, con la finalidad de que el operador pueda monitorear estos valores y generar tabulaciones.

Estos registros se deben asignar a los visualizadores numéricos de las pantallas diseñadas en el software Power Monitoring Expert en la herramienta Vista, para lo cual una vez conectado el sistema y añadidos los medidores al Management Console se puede ingresar a las centrales de medida para seleccionar los registros correctos.

Dando clic derecho sobre el visualizador numérico se ingresa a las configuraciones, luego dar clic en las pestaña Vinculo y seleccione personalizar.

En la figura 32 se muestra la ventana de asignación de registros para los visualizadores numéricos de las pantallas de Vista. En esta figura se indica cómo se debe seleccionar la central de medida de la cual se desea obtener un dato y se busca el parámetro correspondiente y finalmente se presiona aceptar.

Asignar registro de voltaje

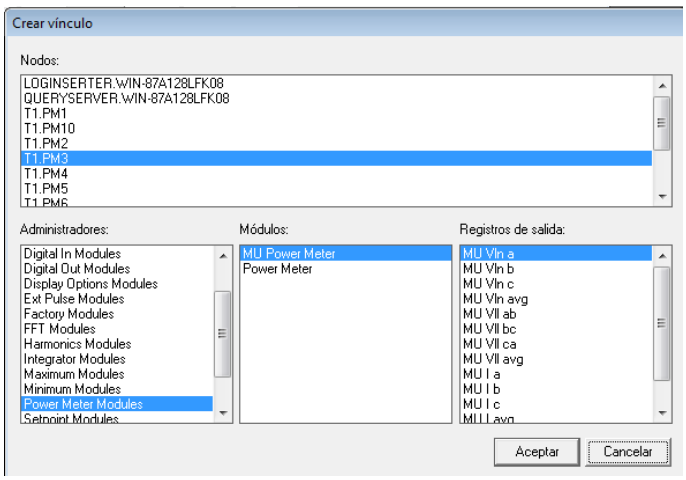


Figura 32. Visualizador numérico con el parámetro de voltaje del medidor 3.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Los visualizadores numéricos pueden ser gráficos ó simplemente numéricos. En la figura 33 se puede visualizar indicadores de tipo gráfico para la medición de los voltajes de línea. (Captura de una prueba de comunicación realizada en el laboratorio de la empresa).

Visualización de registros de voltaje

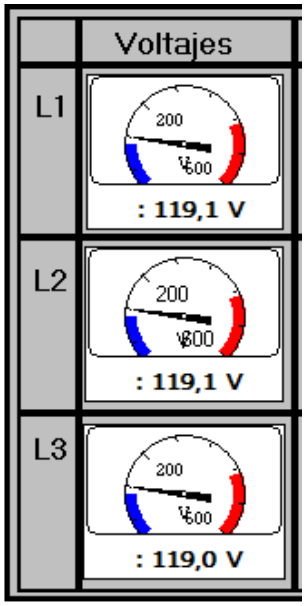


Figura 33. Visualización de los voltajes de línea-neutro en una prueba de laboratorio.

Elaborado por: Luis Tinoco.

3.12. Web server.

La herramienta del software Power Monitoring expert para visualización de las mediciones es el Web Server, el mismo que tiene acceso a la base de datos y se pueden realizar las siguientes funciones:

- Generar cuadros de mando.
- Visualizar diagramas de red.
- Visualizar las pantallas diseñadas para mostrar datos.
- Crear tablas de lectura de los parámetros de red.
- Realizar reportes, tipo: tabulación, consumos, gráficos.
- Y visualizar las alarmas del sistema.

Para ingresar al Web Server se digita desde un computador conectado a la misma red del sistema de calidad de energía la dirección URL en el explorador, la misma que pertenece y fue configurada en el servidor al momento de instalar el software de Power

Monitoring Expert; en este caso: pme-scada/NESTLEWeb/. Es posible que la computadora con la que desea ingresar necesite la instalación del software libre Silverlight para poder ingresar al Web Sever, pero si se diera el caso, aparecerá un anuncio con los pasos de descarga e instalación de este software administrador de portales Web en una red interna.

Cuando se logra establecer conexión con el servidor del sistema de calidad de energía a través del URL aparece la pantalla de ingreso de clave y usuario; se debe ingresar el nombre de usuario y la clave para poder realizar configuraciones y generar reportes y tablas, pero también se puede ingresar como visitante con la diferencia que este solo puede visualizar los cuadros de mando.

3.12.1. Gadget para los cuadros de mando.

Los Gadget son una forma gráfica de representar los consumos energéticos y otros parámetros de la red eléctrica en cuadros de barras, pasteles y tendencias, de esta manera presentar al usuario cuadros estadísticos para un mejor entendimiento del comportamiento del sistema y su calidad de Energía.

Para crear los Gadget el usuario debe ubicarse en la pestaña cuadros de mando, y a la derecha de la ventana de trabajo se encuentran todas las opciones y diseños para crear los gráficos. Antes de todo, el usuario deberá crear una carpeta para guardar todas las configuraciones que vaya realizando.

Una vez creada la carpeta, el usuario debe crear un nuevo espacio de trabajo conocido como Dashboard, el mismo que cuenta con una cantidad editable de espacios, es decir, el usuario define cuantos Gadget pueden entrar en este Dashboard y en que forma. Para ir añadiendo los Gadget al Dashboard, seleccione un diseño y arrástrelo hacia el centro de uno de los espacios del Dashboard. En la figura 34 se muestra un ejemplo.

Crear Gadget

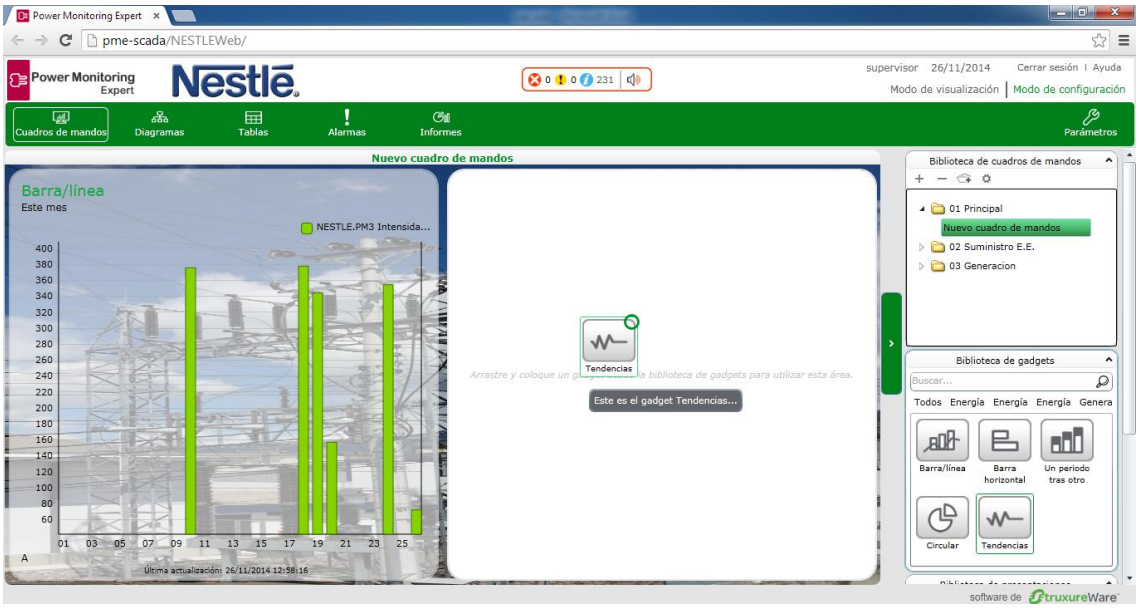


Figura 34. Arrastre de un Gadget de tendencias hacia el Dashboard.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Una vez añadido en Gadget al Dashboard dando clic en el centro se ingresa a las configuraciones y selección de datos a mostrar. Seleccione la central de medida y el parámetro que desea visualizar. En la figura 35 se muestra un ejemplo, en el cual se escoge la central de medida del tablero de distribución SSGG1 del suministro de Empresa Eléctrica y los parámetros de corrientes de línea para generar un gráfico de tendencias.

Configuración del Gadget

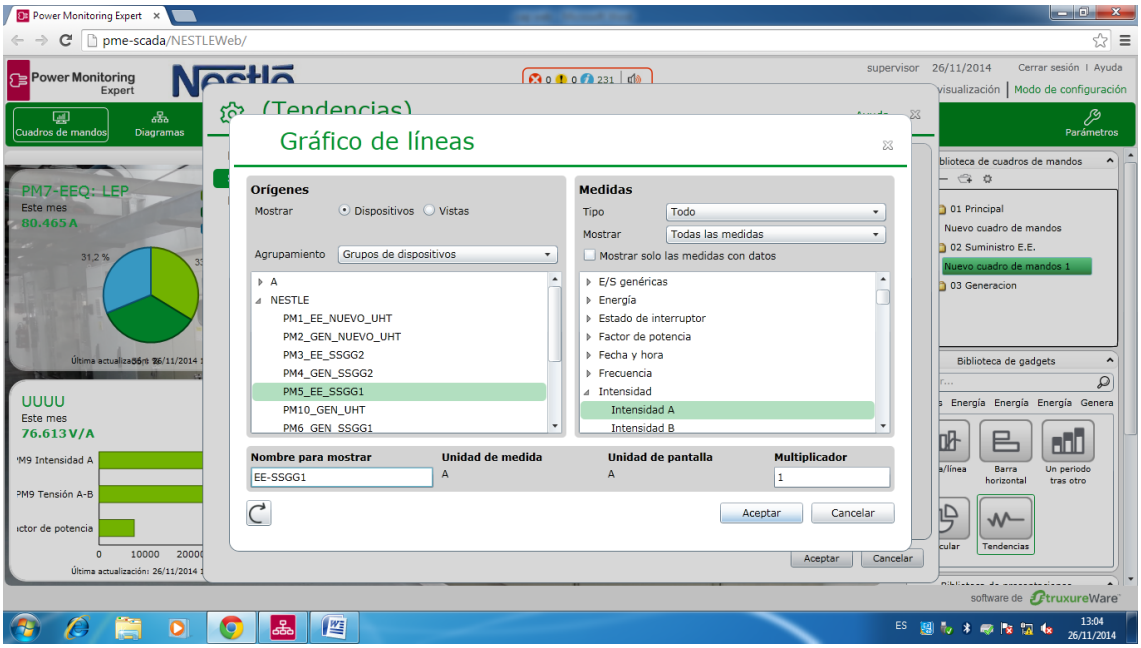


Figura 35. Selección del registro de Intensidad de la Línea A del medidor 5.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Una vez agregado el parámetro a visualizar en el Gadget seleccione el periodo de muestreo, este puede ser: anual, mensual, semanal o diario, según esto el Gadget se va actualizando automáticamente. De la misma forma se pueden crear Gadget de pastel o barras para diferentes formas de mostrar los datos de la red eléctrica y su calidad de energía.

3.12.2. Visualización de diagramas.

Al Ingresar a la pestaña diagramas del Web Server, el operador visualiza las pantallas creadas en la herramienta Vista del software Power Monitoring Expert, de esta forma puede monitorear los parámetros del sistema eléctrico que seleccione en las pantallas o en los diagramas. En la figura 36 se muestra una captura de la pantalla inicio en el Web Server.

Visualización de la pantalla inicio

Figura 36. Pantalla de inicio en el Web Server.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Así como se puede visualizar las pantallas diseñadas también se puede visualizar las pantallas predefinidas por el sistema, las cuales se crean automáticamente al añadir en el Management Console la serie de los dispositivos conectados a la red.

3.12.3. Tabulaciones y gráficas.

Para generar una tabulación de los voltajes de línea, de la corriente o del factor de potencia se lo puede realizar en el diagrama de red predefinido, a los cuales se ingresa desde la pantalla unifilar. Dando clic en el botón “Registros” ubicado en la esquina inferior izquierda de la ventana se genera la tabla automáticamente seleccionando el registro que desea tabular con las fechas.

En la figura 37 se muestra encerrado en un recuadro azul el botón que genera la tabulación.

Generar una tabulación

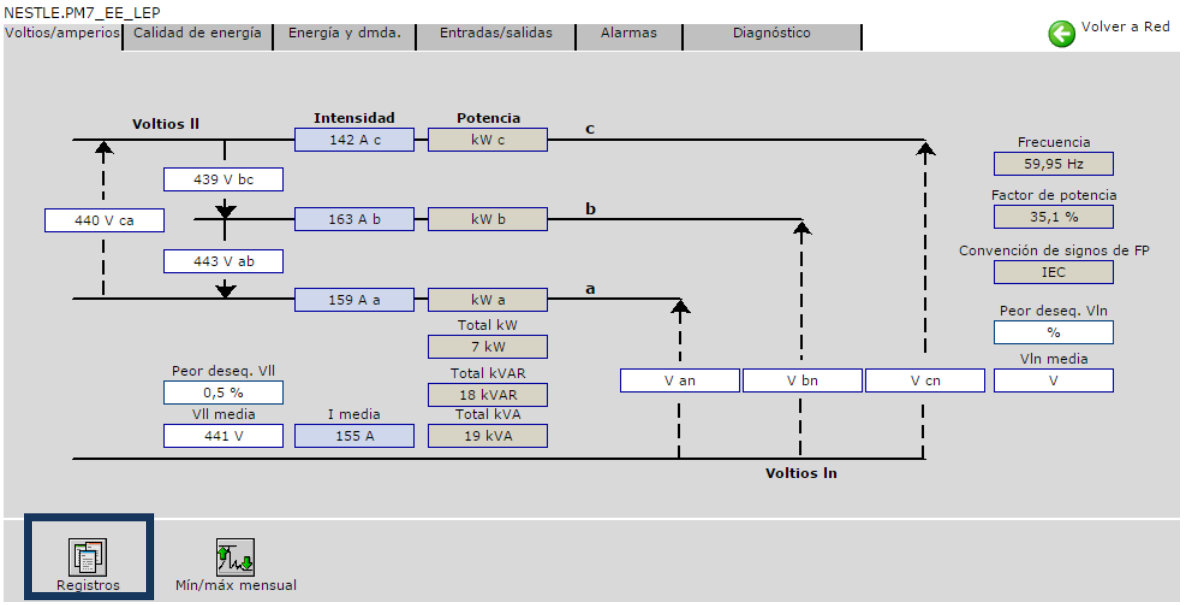


Figura 37. El factor de potencia se encuentra multiplicado por el 100%

Elaborado por: Luis Tinoco.

Al dar clic sobre el dato al cual se desea tabular se abre automáticamente una ventana con la tabla de los registros de dicho dato con las fechas que fue registrado. En la parte superior de la ventana existen unas pestañas que sirven para generar la gráfica y cambiar el intervalo de las fechas.

3.12.4. Informes.

Para generar reportes el usuario debe ubicarse en la pestaña: “Informes” del Web Server. En la figura 38 se muestra la ventana para la elaboración de informes.

Ventana de informes

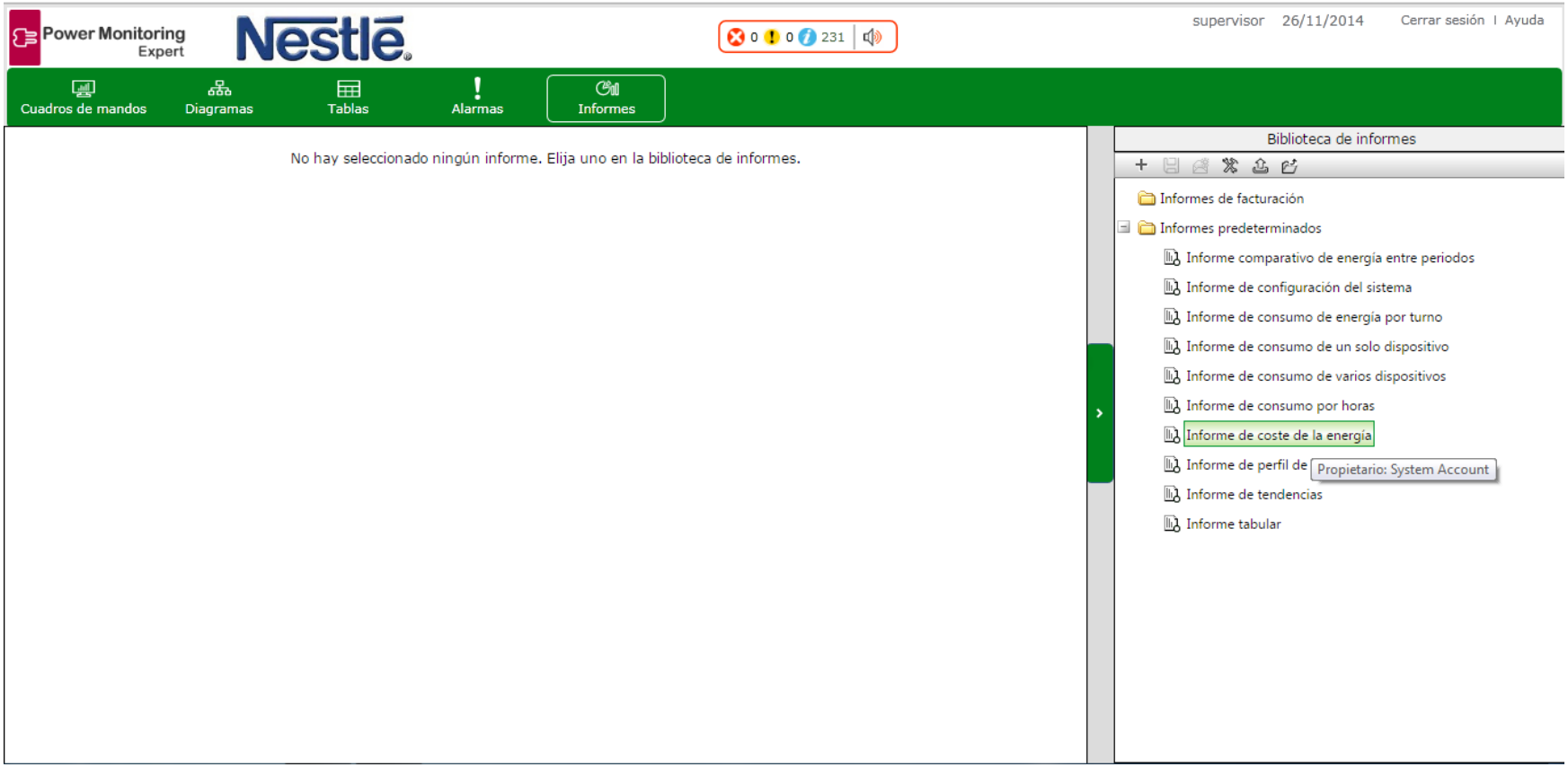


Figura 38. Selección de informe de costo de la energía de la biblioteca de informes.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Para crear un informe, se debe elegir una plantilla predefinida de la Biblioteca de Informes ubicada a la derecha de la ventana y seguir los pasos de selección de datos y periodo de tiempo. Por ejemplo para generar un informe de tendencias, primero seleccionar de la Biblioteca de Informes la opción: “Informe de Tendencias”, luego escoja uno o varios medidores de los cuales desee generar una tabla y gráfica de tendencia. Por último seleccione uno o varios parámetros de la red eléctrica que desea visualizar por ejemplo: voltaje, corrientes, factor de potencia, etc. Y de clic en: “Generar Informe”. En la figura 39 se muestra la tabla generada en este ejemplo.

Tendencia del factor de potencia

2 5 Descargar informe como...

10/11/2014 0:00:00 -

Tabla de datos del informe

Fecha y hora	NESTLE.PM3_EE_SSGG2 Factor de potencia (%)	NESTLE.PM5_EE_SSGG1 Factor de potencia (%)	NESTLE.PM7_EE_LEP Factor de potencia (%)
10/11/2014 12:45	93,50	88,20	
10/11/2014 13:00	93,40	88,20	21,30
10/11/2014 13:15	93,50	86,30	20,60
10/11/2014 13:30	93,30	88,10	22,30
10/11/2014 13:45	93,40	88,10	21,60
10/11/2014 14:00	93,50	87,90	22,30
10/11/2014 14:15	93,50	88,20	21,80
10/11/2014 14:30	93,50	88,40	21,00
10/11/2014 14:45	93,50	88,30	25,70
10/11/2014 15:00	93,70	88,20	20,20
10/11/2014 15:15	93,50	88,10	21,60
10/11/2014 15:30	93,50	88,10	18,80
10/11/2014 15:45	94,00	84,50	20,90
10/11/2014 16:00	93,50	88,20	23,90
10/11/2014 16:15	93,40	88,90	27,40
10/11/2014 16:30	93,80	88,40	24,10
10/11/2014 16:45	93,80	84,20	25,20

Figura 39. Tabulación de los valores de factor de potencia de los medidores 3, 5 y 7.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la parte superior del informe se visualiza el número de páginas que se genera el informe entre tablas y gráficas, y a la derecha se encuentra la opción de descarga en los formatos de Excel, PDF, o JPG.

Otra aplicación es que el software puede generar reportes de costo de energía, para la cual al seleccionar de la Biblioteca de informes la opción: "Informe de costo de Energía" y siga los pasos que va señalando la opción. De la misma forma puede seleccionar uno o varios medidores de energía y digitar el costo del KWh. En la figura 40 se muestra una captura de la ventana de ingresos de Energía y demanda.

Ingresos de Energía y demanda

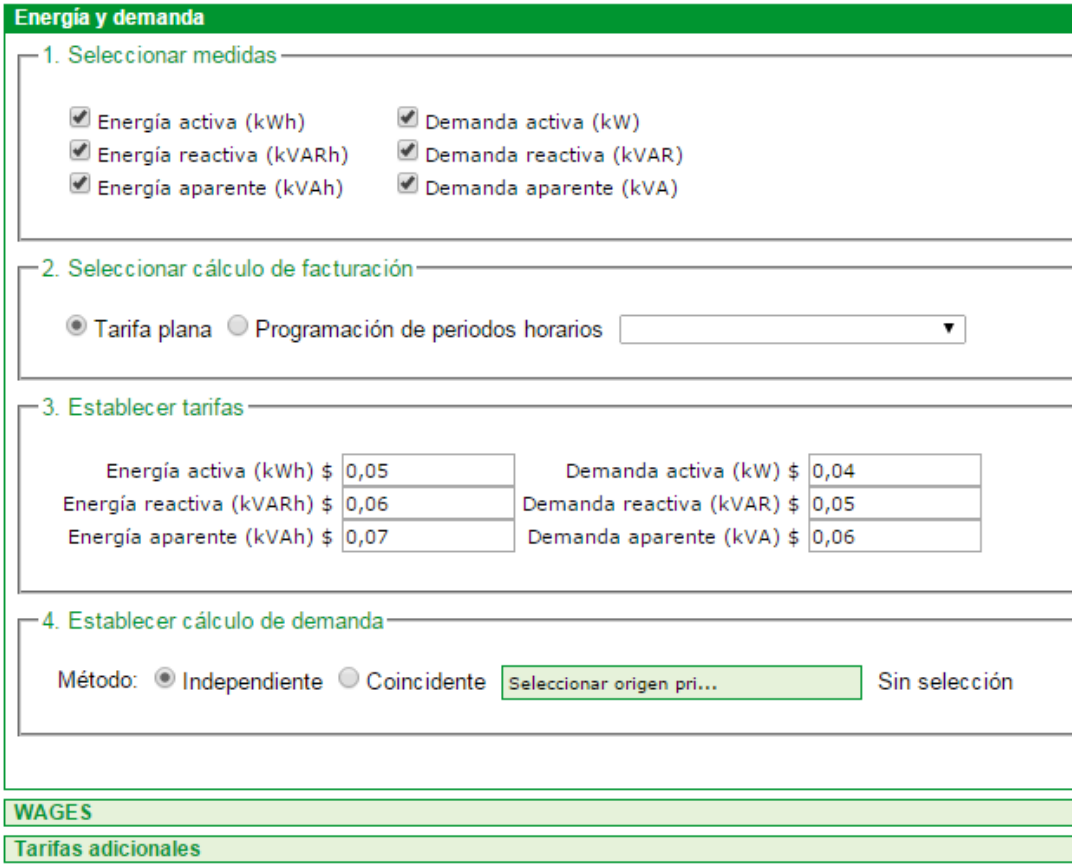


Figura 40. Se selecciona las medidas y se ingresan los costos por hora.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la figura 41 se muestra el informe generado en el ejemplo anterior de costo de la Energía.

Informe de costo de Energía

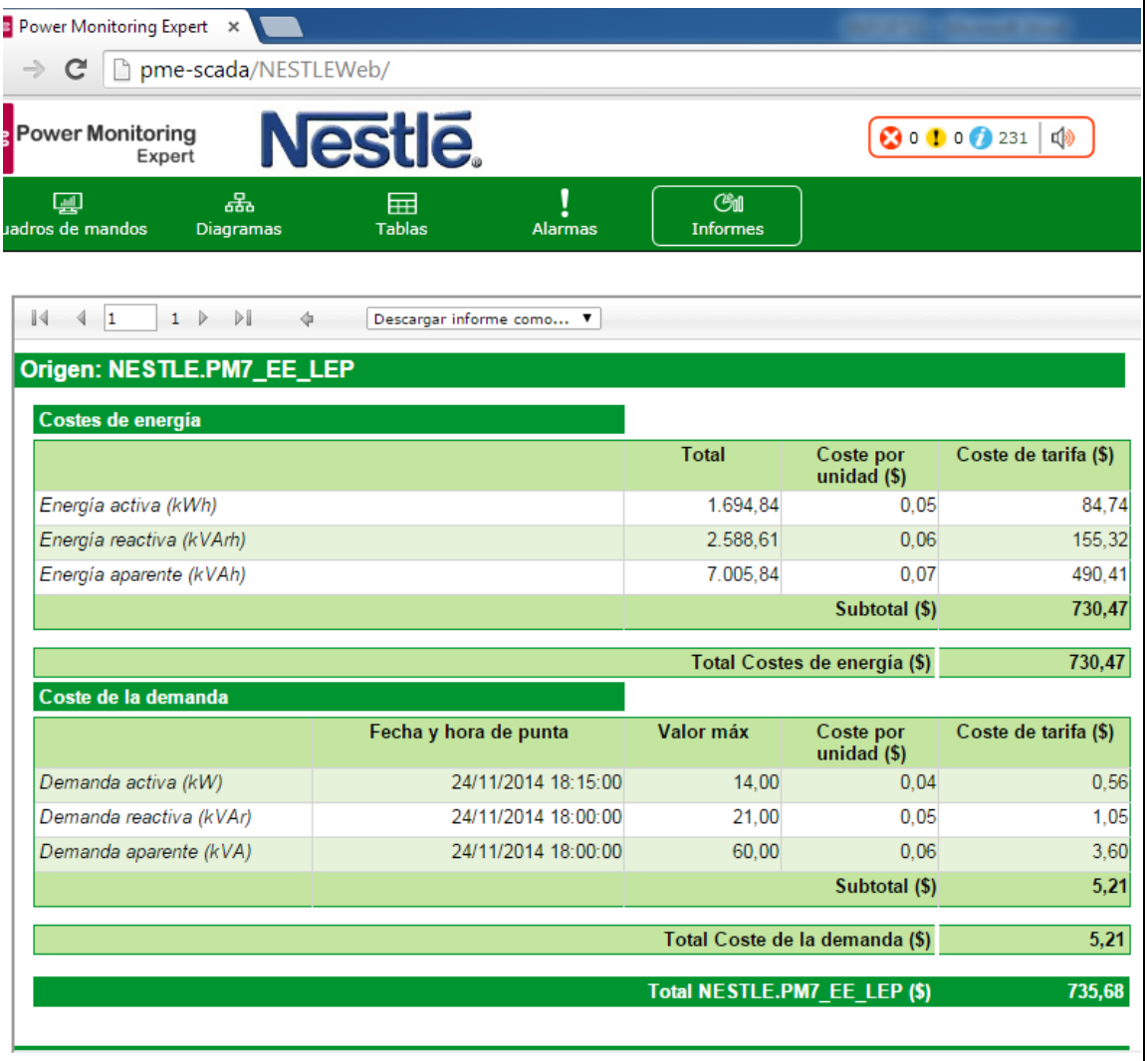


Figura 41. Calcula automáticamente el costo de la tarifa con el consumo del medidor seleccionado.

Elaborado por: Luis Tinoco.

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Pruebas de la comunicación del sistema.

Se realizan las pruebas de comunicación comparando los valores mostrados por el software Power Monitoring Expert con los valores indicados en el display de las centrales de medida, de esta forma se determina si el sistema genera lecturas verídicas o no.

Las centrales de medida (PM810 nombre referencial de la marca Schneider Electric) cuentan con un mecanismo inteligente de medición y cálculos de potencia mediante el ingreso de voltajes y corrientes de línea del sistema eléctrico, estos valores son almacenados temporalmente en los registros del equipo para luego mediante el software Power Monitoring Expert ser monitoreados desde el servidor o cualquier computadora conectada a la red mediante el Web Server.

Los medidores PM de la serie 800, son dispositivos de alto rendimiento utilizados para supervisar la instalación eléctrica, posee un puerto de comunicación Modbus RS485 (RTU ó ASCII) para comunicación con otros dispositivos y lectura de las mediciones efectuadas.

A diferencia de las PM810, la Micrologic es un medidor que se fija a los breaker's Masterpack y es un dispositivo de control propio del mismo, encargado de hacer las mediciones de voltaje y corriente, los cálculos de factor de potencia, potencias y entre otros parámetros. Al igual que las PM810 almacenan temporalmente los datos en registros, los cuales son leídos por el servidor.

4.1.1. Pruebas de comunicación de las PM810.

Las pruebas de comunicación de los medidores eléctricos PM810 se realizan mediante el software del servidor (Power Monitoring Expert) en tiempo real, es decir las lecturas que el medidor muestra en el display del mismo son visualizados en la pantalla del servidor.

En la figura 42 se muestran las mediciones realizadas por el medidor 1 dentro de una ventana de visualizadores numéricos del software Power Monitoring Expert (PME) correspondientes al nuevo tablero UHT del suministro de la Empresa Eléctrica.

Ventana de mediciones de la PM1

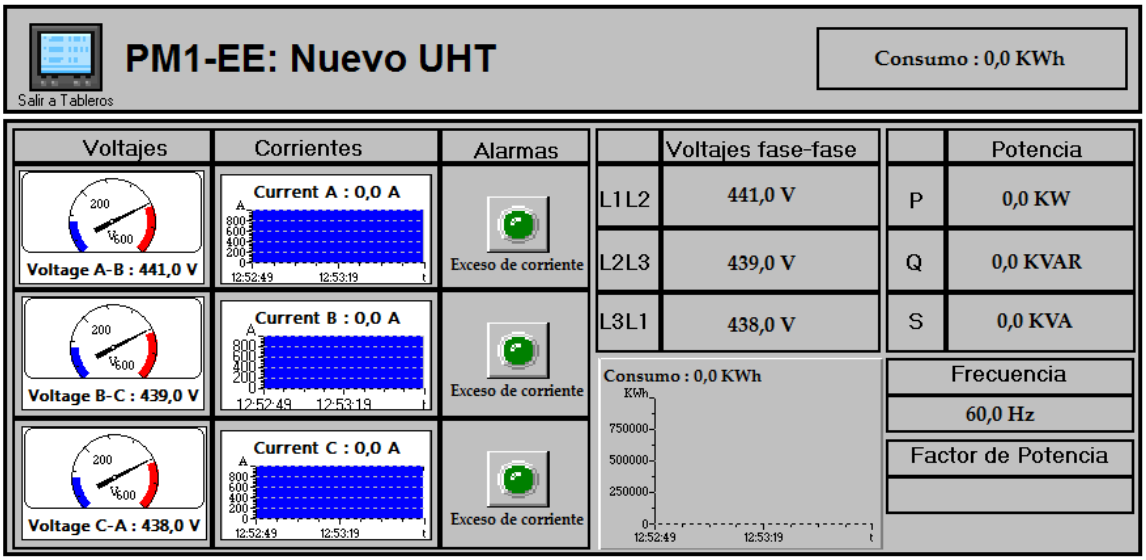


Figura 42. El tablero nuevo UHT se encuentra alimentado a la red pero sin carga.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 41 se establece una comparación entre los valores medidos e indicados por el display de la PM810 y los valores visualizados en el software con respecto a los parámetros de voltajes y corrientes.

Tabla 41.

Comparación de mediciones de la PM1.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la PM810**	**Error %**
Voltaje a-b [V]	441	441	0
Voltaje b-c [V]	439	439	0
Voltaje c-a [V]	438	438	0
Corriente a [A]	0	0	0
Corriente b [A]	0	0	0
Corriente c [A]	0	0	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 43 se muestran las mediciones realizadas por el medidor 3 dentro de un diagrama unifilar predeterminado del software PME correspondiente al tablero de Servicios Generales 2 (SSGG2) del suministro de la Empresa Eléctrica.

Diagrama Unifilar del PM3

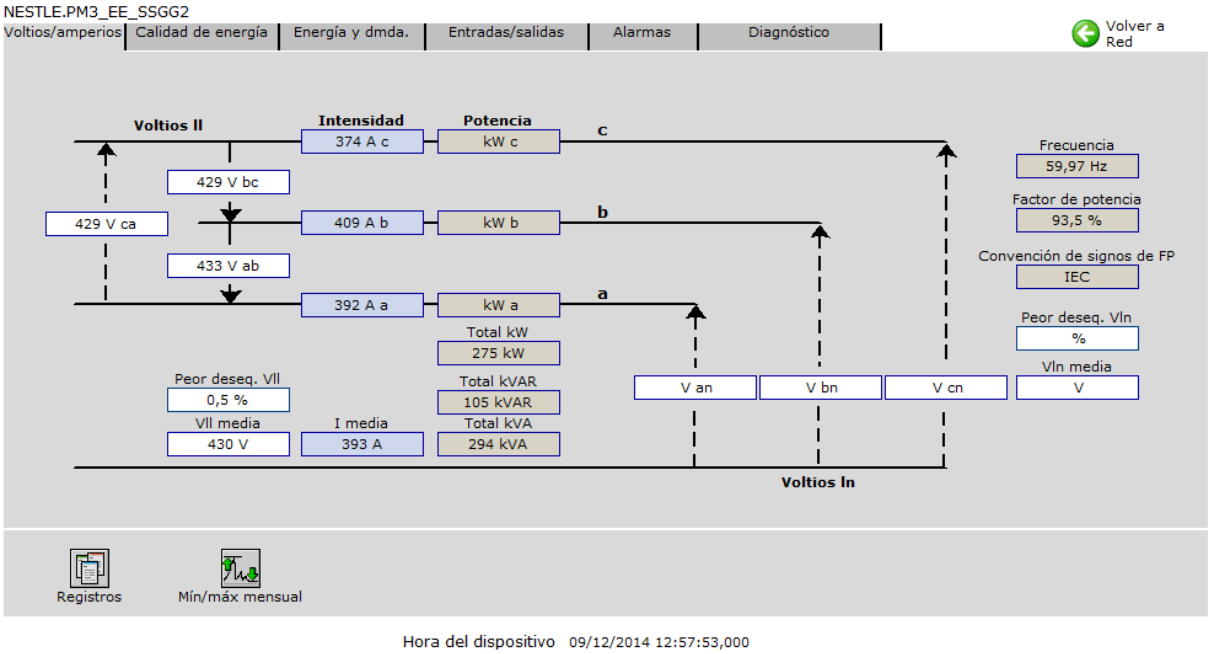


Figura 43. Se indica los parámetros del sistema eléctrico medidos por la PM3.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 42 se establece una comparación entre los valores medidos e indicados por el display de la PM810 y los valores visualizados en el software con respecto a los parámetros de voltajes y corrientes.

Tabla 42.

Comparación de mediciones de la PM3.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la PM810**	**Error %**
Voltaje a-b [V]	433	433	0
Voltaje b-c [V]	429	429	0
Voltaje c-a [V]	429	429	0
Corriente a [A]	392	392	0
Corriente b [A]	409	409	0
Corriente c [A]	374	374	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 44 se muestran las mediciones realizadas por el medidor 5 dentro de una ventana de visualizadores numéricos del software PME correspondientes al tablero de Servicios Generales 1 (SSGG1) del suministro de la Empresa Eléctrica.

Ventana de mediciones de la PM5

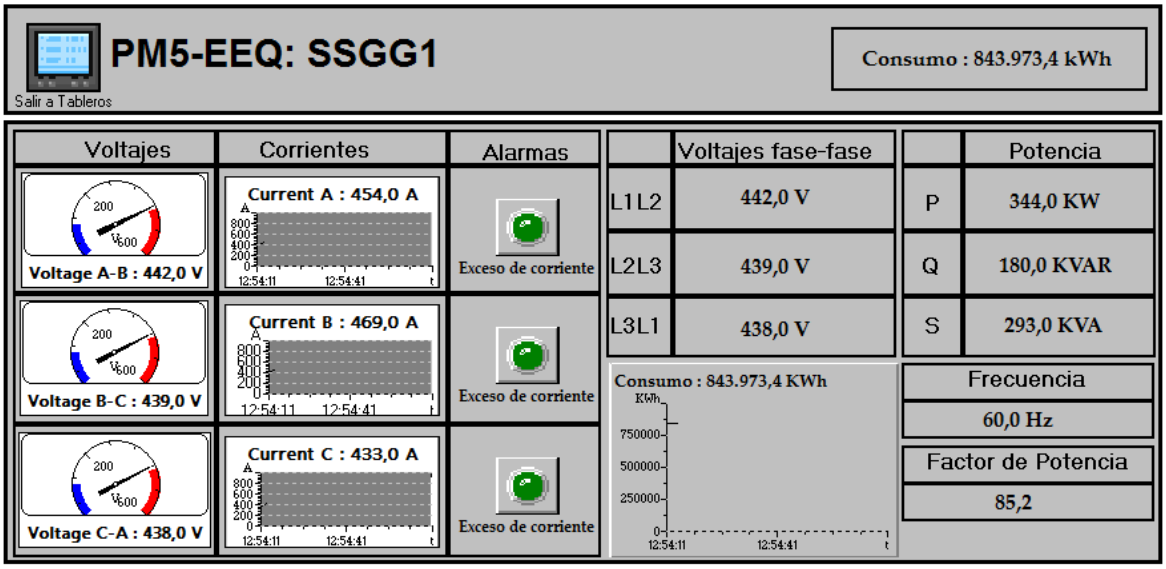


Figura 44. Se indica los parámetros del sistema eléctrico medidos por la PM5.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 43 se establece una comparación entre los valores medidos e indicados por el display de la PM810 y los valores visualizados en el software con respecto a los parámetros de voltajes y corrientes.

Tabla 43.

Comparación de mediciones de la PM5.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la PM810**	**Error %**
Voltaje a-b [V]	442	442	0
Voltaje b-c [V]	439	439	0
Voltaje c-a [V]	438	438	0
Corriente a [A]	454	454	0
Corriente b [A]	469	469	0
Corriente c [A]	433	433	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 45 se muestran las mediciones realizadas por el medidor 7 dentro de un diagrama unifilar predeterminado del software PME correspondiente al tablero LEP del suministro de la Empresa Eléctrica.

Diagrama Unifilar del PM7

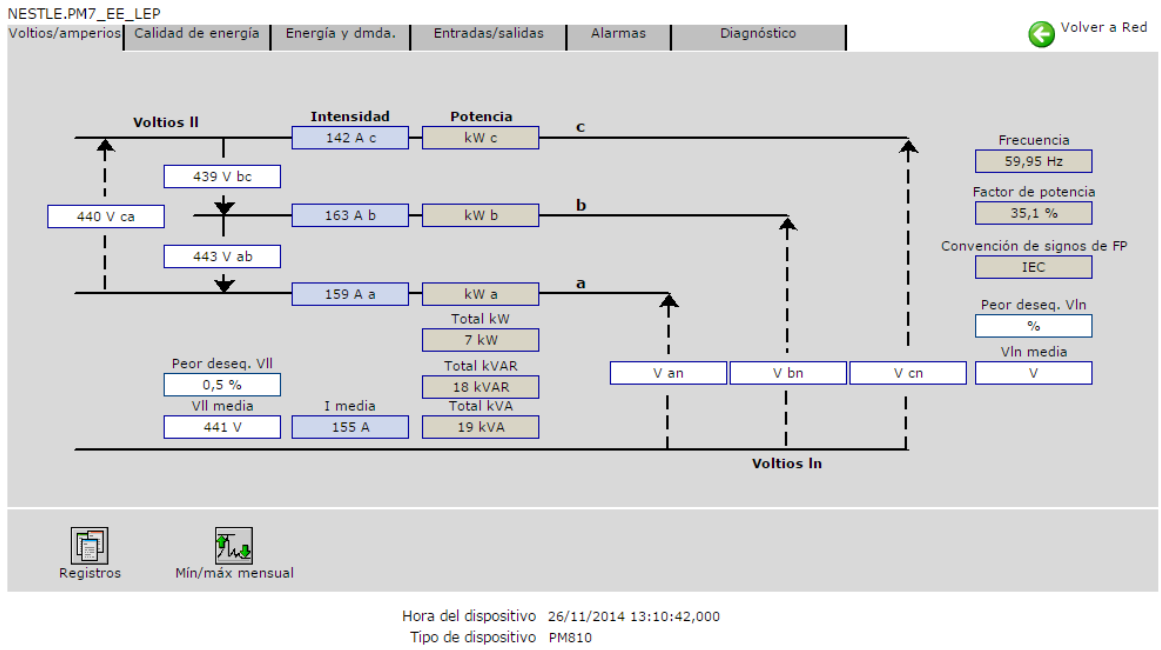


Figura 45. Se indica los parámetros del sistema eléctrico medidos por la PM7.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 44 se establece una comparación entre los valores medidos e indicados por el display de la PM810 y los valores visualizados en el software con respecto a los parámetros de voltajes y corrientes.

Tabla 44.

Comparación de mediciones de la PM7.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la PM810**	**Error %**
Voltaje a-b [V]	443	443	0
Voltaje b-c [V]	439	439	0
Voltaje c-a [V]	440	440	0
Corriente a [A]	159	159	0
Corriente b [A]	163	163	0
Corriente c [A]	142	142	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 46 se muestran las mediciones realizadas por el medidor 9 dentro de un diagrama unifilar predeterminado del software PME correspondiente al tablero UHT del suministro de la Empresa Eléctrica.

Diagrama Unifilar del PM9

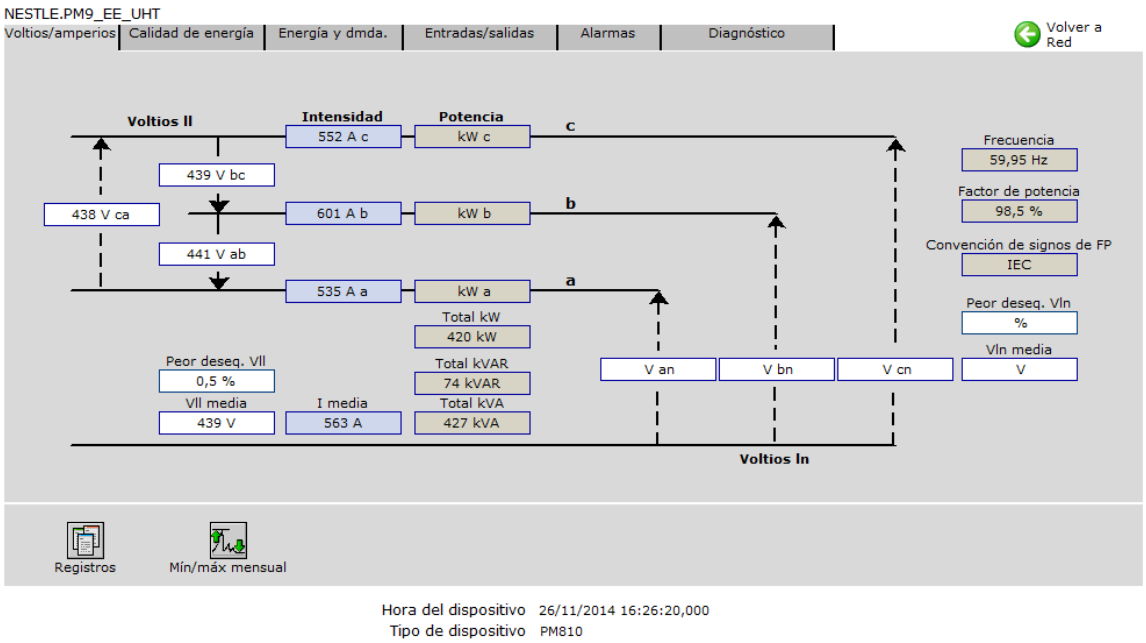


Figura 46. Se indica los parámetros del sistema eléctrico medidos por la PM3.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la tabla 45 se establece una comparación entre los valores medidos e indicados por el display de la PM810 y los valores visualizados en el software con respecto a los parámetros de voltajes y corrientes.

Tabla 45.

Comparación de mediciones de la PM9.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la PM810**	**Error %**
Voltaje a-b [V]	441	441	0
Voltaje b-c [V]	439	439	0
Voltaje c-a [V]	438	438	0
Corriente a [A]	535	535	0
Corriente b [A]	601	601	0
Corriente c [A]	552	552	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

4.1.2. Prueba de comunicación de la Micrologic 6.0H.

En la figura 47 se muestra una captura de pantalla del PME monitoreando a la Micrologic y en la parte superior izquierda se puede ver el estado del interruptor en: "cerrado", es decir que el sistema eléctrico está trabajando con el suministro de Empresa Eléctrica.

Estado del Breaker de Micrologic

Figura 47. Se indica el estado activo de la Micrologic.

Elaborado por: Luis Tinoco.

La Micrologic aunque tiene registros de voltajes, potencias y otros parámetros de la red eléctrica, el display de este dispositivo solo muestra los valores de corriente medidos. En la tabla 46 se muestra una comparación entre los valores de corriente indicados en el display de la Micrologic y los visualizados en el software.

Tabla 46.

Comparación de mediciones de la Micrologic.

Parámetro	**Valor visualizado en el Software PME**	**Valor que indica el display de la Micrologic**	**Error %**
Corriente a [A]	1581	1581	0
Corriente b [A]	1685	1685	0
Corriente c [A]	1564	1564	0

Nota. El error porcentual es cero porque el sistema es en tiempo real

Elaborado por: Luis Tinoco

En la figura 48 se muestran las mediciones realizadas por la Micrologic del Breaker principal dentro de un diagrama unifilar predeterminado del software PME correspondiente al tablero Principal del suministro de la Empresa Eléctrica.

Mediciones de la Micrologic

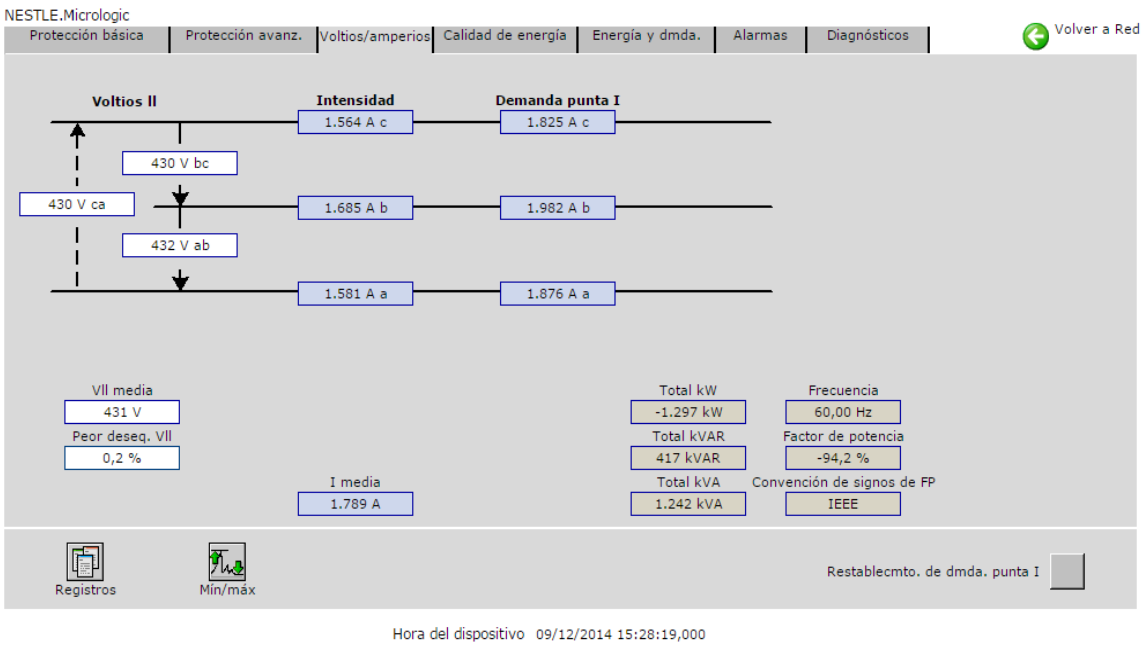


Figura 48. Se indica los parámetros del sistema eléctrico medidos por la Micrologic.

Elaborado por: Luis Tinoco.

Como resultado de esta prueba se puede decir que la comunicación del sistema de monitoreo de energía es confiable debido a que los valores que indican los display's de cada dispositivo conectado a la red es igual al visualizado en el software Power Monitoring Expert del Servidor.

4.2. Aplicaciones del web server.

Las aplicaciones del Web Server son: Cuadros de mando, diagramas, tablas, alarmas e informes.

4.2.1. Los Cuadros de Mando.

Los cuadros de mando son una forma de representar en forma estadística y gráfica los parámetros de la red eléctrica con la finalidad de visualizar la calidad de la Energía. En la figura 49 se muestra la ventana de cuadros de mando con los diferentes Gadget.

Web Server

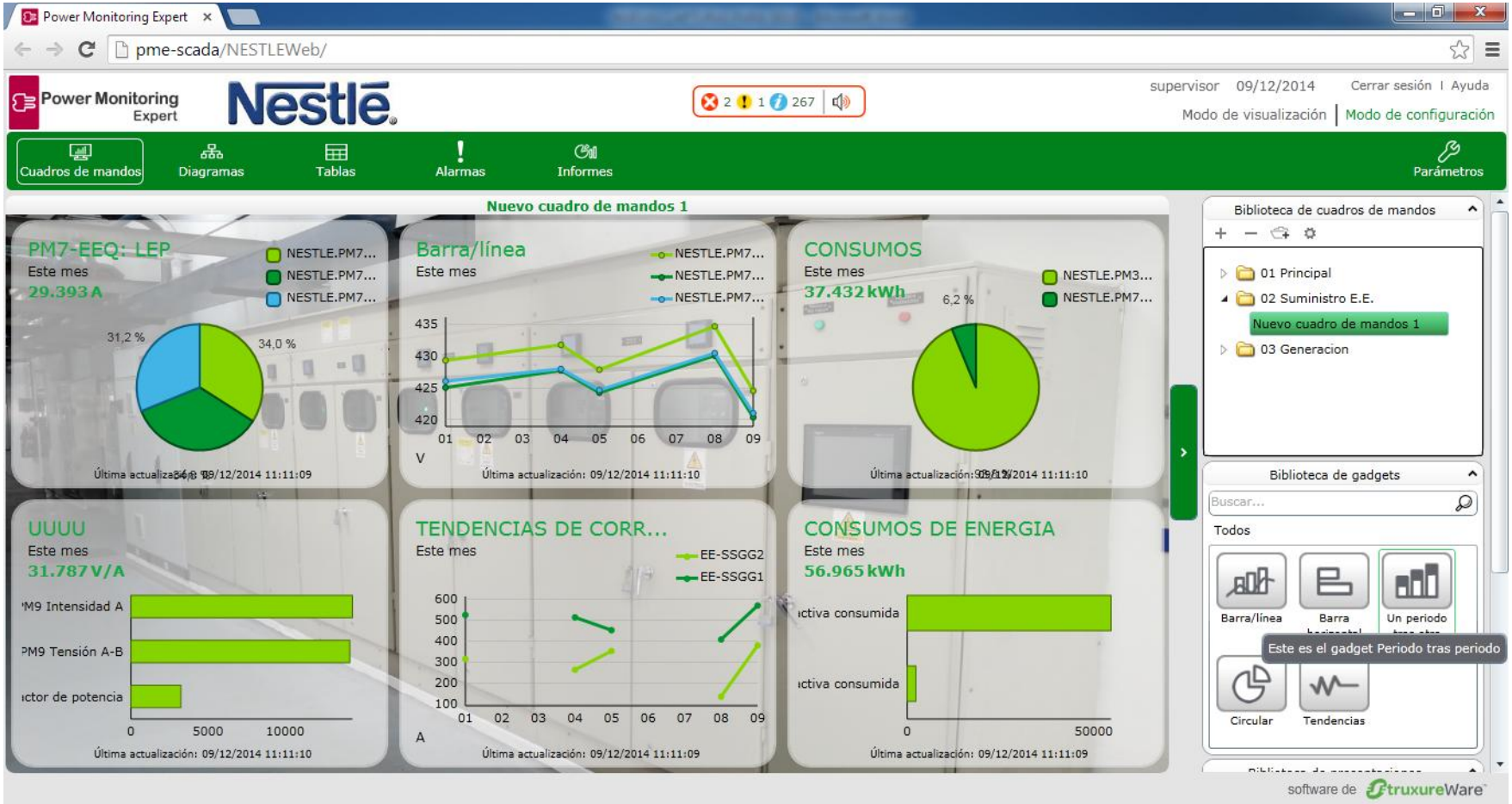


Figura 49. Indicadores del sistema de suministro de Empresa Eléctrica.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.2.2. Pruebas de monitoreo en los diagramas unifilares.

El usuario puede ingresar a monitorear los parámetros de la red eléctrica en diagramas predefinidos como los diagramas unifilares o los diseños con visualizadores numéricos para mostrar los datos de importancia.

En la figura 50 se muestra una captura del diagrama de la central de medida (PM810) del tablero de distribución LEP del suministro de la Empresa Eléctrica, en el cual se puede visualizar los voltajes de línea a línea, las corrientes de línea, el voltaje y la corriente promedio, el porcentaje de desequilibrio del voltaje (THD), las potencias: activa, reactiva y aparente, la frecuencia y el factor de potencia; todos estos parámetros correspondientes al tablero mencionado.

Visualización Diagrama

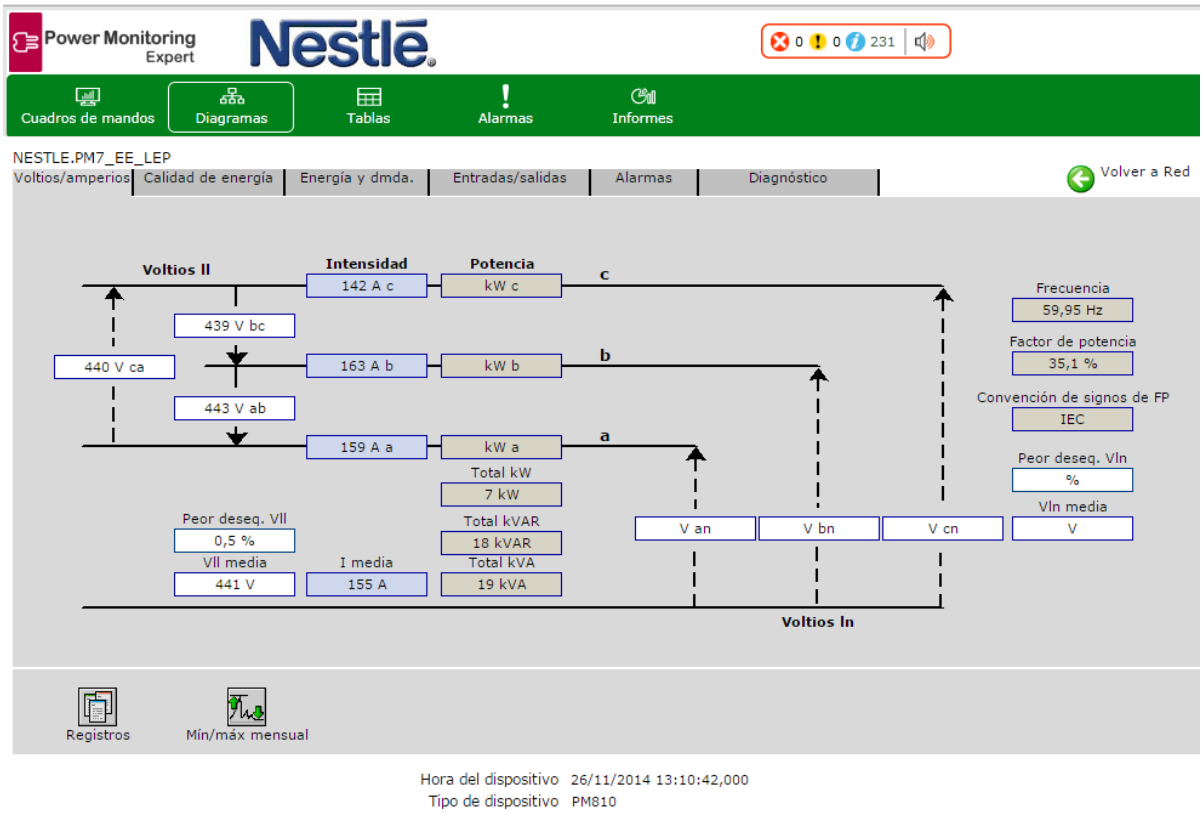


Figura 50. El factor de potencia se encuentra multiplicado por el 100%.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.2.3. Tablas de visualización de datos.

En la pestaña “Tablas” del Web Server el usuario puede crear tablas con los datos que le interese visualizar o seleccionar las tablas predefinidas por el sistema. En la figura 51 se muestra un ejemplo de una tabla creada para visualizar algunos parámetros como voltajes, corrientes, etc. De las centrales de medida del suministro de Empresa Eléctrica de los tableros de distribución.

Tabla de suministro

Dispositivos	Tensión A-B (V)	Intensidad A (A)	Potencia activa (kW)	Factor de potencia	Energía activa consumida (kWh)
NESTLE.PM1_EE_NUEVO_UHT	441,0	0,0	0,0		0,0
NESTLE.PM3_EE_SSGG2	441,0	76,0	49,0	83,6	557.107,5
NESTLE.PM5_EE_SSGG1	441,0	559,0	370,0	87,9	844.089,1
NESTLE.PM7_EE_LEP	441,0	176,0	7,0	35,6	33.847,0
NESTLE.PM9_EE_UHT	441,0	496,0	389,0	97,3	792.194,5

Figura 51. Visualización de voltajes, corrientes, potencias de los medidores de Empresa Eléctrica.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.2.4. Alarmas.

El operador puede visualizar las alarmas del sistema ubicándose en la pestaña: “Alarmas” dentro del Web Server. En la figura 52 se muestra la pantalla de las alar

Alarmas del sistema

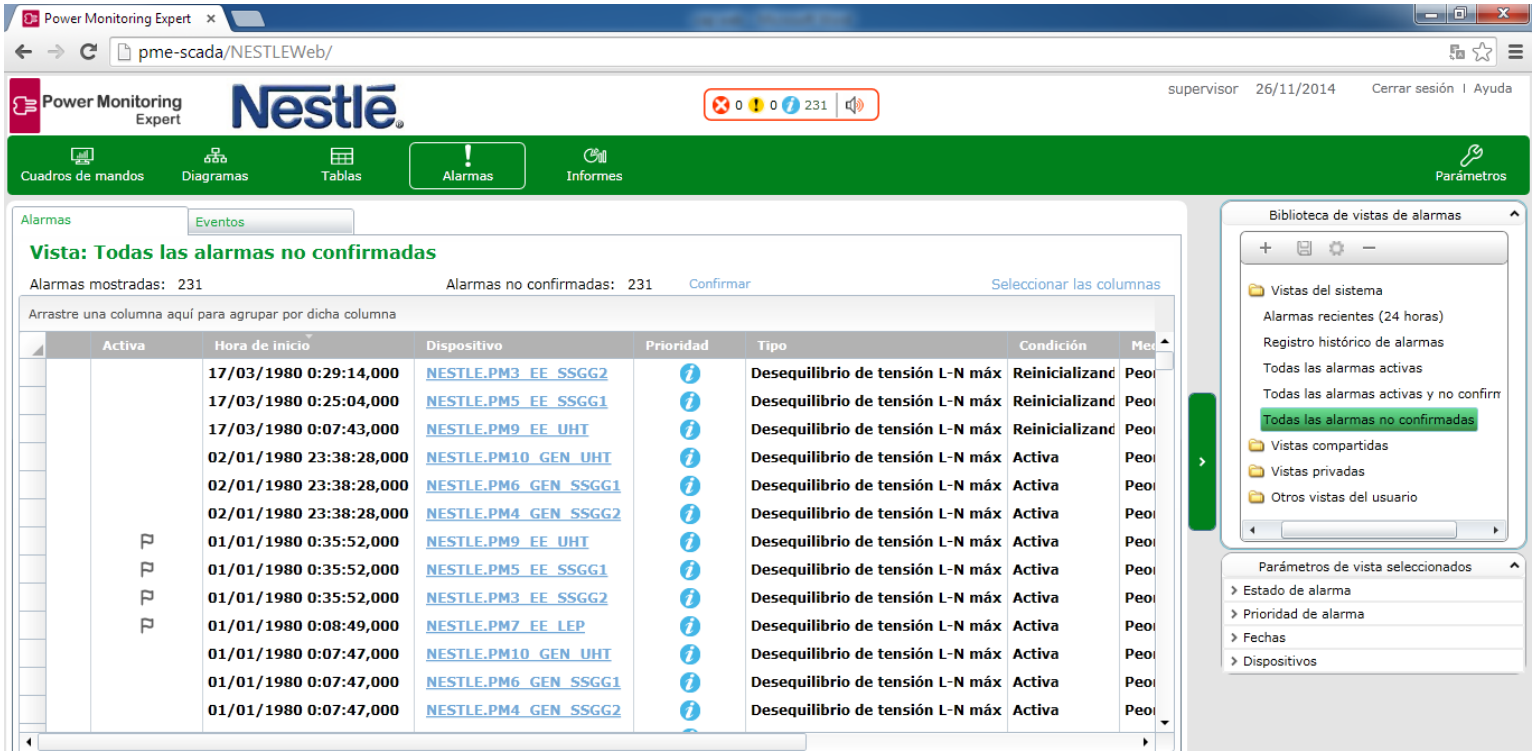


Figura 52. El medidor almacena históricamente las alarmas desde su primer uso.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.2.5. Pruebas de generación de Informes.

Además de poder generar informes de tendencias o de consumos de energía, el usuario también puede generar un informe de verificación de conexión de los dispositivos de la red, es decir, conocer si uno o varios dispositivos están fuera de comunicación. En la figura 53 se muestra un ejemplo en el cual se hace un diagnostico de los dispositivos para obtener la dirección y el estado de su conexión.

Diagnostico de conexión

1 1 Descargar informe como...

Total de dispositivos: 11

Tipos de dispositivo distintos: 2

Nombre	Tipo	Dirección	Sitio	Estado	Protocolo	Descripción
NESTLE.Micrologic	MicrologicH	10.101.100.76/502/11	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM1_EE_NUEVO_UHT	PM810	10.101.100.76/502/1	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM10_GEN_UHT	PM810	10.101.100.76/502/10	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM2_GEN_NUEVO_UHT	PM810	10.101.100.76/502/2	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM3_EE_SSGG2	PM810	10.101.100.76/502/3	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM4_GEN_SSGG2	PM810	10.101.100.76/502/4	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM5_EE_SSGG1	PM810	10.101.100.76/502/5	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM6_GEN_SSGG1	PM810	10.101.100.76/502/6	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM7_EE_LEP	PM810	10.101.100.76/502/7	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM8_GEN_LEP	PM810	10.101.100.76/502/8	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	
NESTLE.PM9_EE_UHT	PM810	10.101.100.76/502/9	PASARELA	No se puede conectar.	MODBUS	

ID: 0e24cf31-e31f-4d3a-9b8a-885adfb605a5

Generado el: 09/12/2014 17:30:33 Página 1 de 1

Figura 53. Estado en desconexión de las centrales de medida.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.3. Aplicaciones del sistema de calidad de energía.

El sistema de calidad de energía cuenta con un servidor para recopilación de la información de esta forma hacer uso de esta base de datos para realizar análisis de energía.

Las aplicaciones que tiene el sistema de calidad de energía son:

- Monitoreo de la red Eléctrica.
- Análisis de calidad de energía.

4.3.1. Monitoreo de la red Eléctrica.

Los operadores pueden acceder al sistema de monitoreo a través de la pantalla TOUCH (Magelis) para visualizar los parámetros de la red eléctrica como también desde cualquier computadora conectada a la red del sistema de calidad de energía.

La Magelis (nombre comercial de la marca Schneider Electric) o panel TOUCH cuenta con un sistema operativo Windows XP, lo que la hace accesible al Web Server del software Power Monitoring Expert del servidor para visualización de los datos. El programa puede generar tablas editables con los parámetros de la red eléctrica que el operador desee visualizar, seleccionando uno o varios medidores correspondientes a los tableros de distribución. En la figura 53 se muestra una fotografía del tablero de control donde se instala la Magelis.

Magelis montada en tablero

Figura 54. La Magelis se encuentra monitoreando el sistema por el Web server.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.3.2. Análisis de Energía.

La finalidad de tener una base de datos es poder generar gráficas que permitan hacer un análisis de Energía de esta forma tomar decisiones de ahorro energético y medidas preventivas por el bajo factor de potencia. Los usuarios que acceden al Web Server pueden generar tablas de datos, reportes, tabulaciones y gráficas que le ayuden a realizar análisis de calidad de Energía.

En la figura 55 se muestra una captura de pantalla de una tabulación generada para visualizar el comportamiento de las corrientes del tablero de distribución LEP en un intervalo de tiempo.

Tabulación de las corrientes de línea

NESTLE.PM7_EE_LEP

Diagrama del dispositivo | Cambiar rango de fechas | Mostrar gráfico

Fecha y hora	Intensidad A	Intensidad B	Intensidad C	Intensidad N
09/12/2014 15:22:49,000	-	-	-	-
09/12/2014 14:15:00,000	462,000	451,000	401,000	-
09/12/2014 14:00:00,000	417,000	405,000	361,000	-
09/12/2014 13:45:00,000	382,000	396,000	355,000	-
09/12/2014 13:30:00,000	428,000	446,000	401,000	-
09/12/2014 13:15:00,000	389,000	405,000	359,000	-
09/12/2014 13:00:00,000	448,000	461,000	416,000	-
09/12/2014 12:45:00,000	438,000	450,000	404,000	-
09/12/2014 12:33:05,000	-	-	-	-
09/12/2014 12:00:00,000	445,000	463,000	417,000	-
09/12/2014 11:45:00,000	510,000	523,000	471,000	-
09/12/2014 11:30:00,000	504,000	522,000	474,000	-
09/12/2014 11:15:00,000	490,000	502,000	456,000	-
09/12/2014 11:00:00,000	471,000	491,000	442,000	-
09/12/2014 10:45:00,000	423,000	437,000	400,000	-
09/12/2014 10:37:47,000	-	-	-	-
09/12/2014 9:30:00,000	426,000	444,000	394,000	-

Figura 55. Tabulación de las corrientes de línea del medidor 7.

Elaborado por: Luis Tinoco.

En la figura 56 se muestra un ejemplo de una gráfica de tendencia de las corrientes de línea medidas por la central de medida del tablero de distribución LEP del suministro de Empresa Eléctrica tomadas en un intervalo de tiempo.

Tendencias de las corrientes de línea

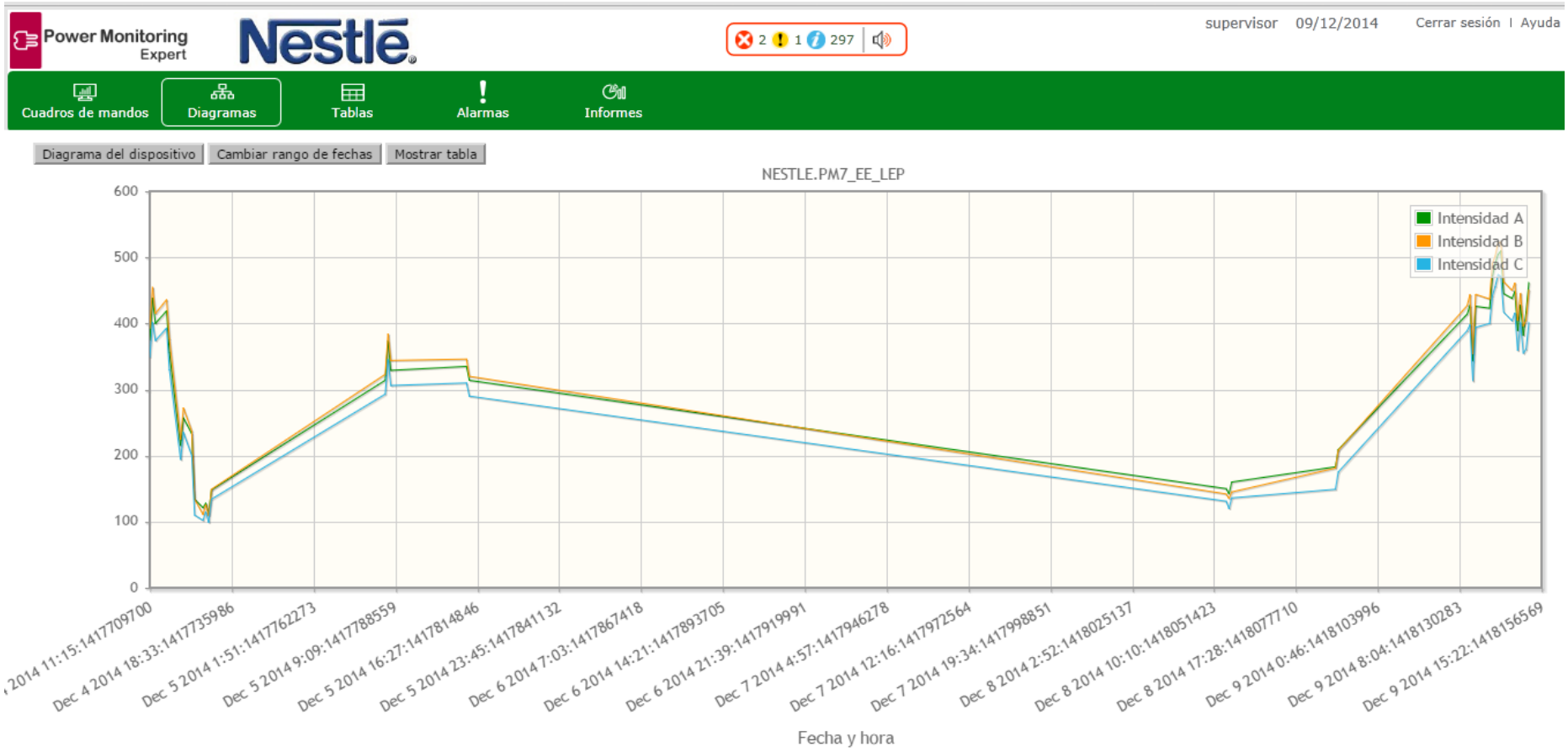


Figura 56. Gráfica de tendencia del voltaje en una semana de operación.

Elaborado por: Luis Tinoco.

4.4. Análisis del costo del sistema de calidad de energía.

Una de las razones más fuertes de el por qué se utilizan equipos y el software Power Monitoring Expert de la marca Schneider Electric es el hecho de que la empresa SEIUS S.A. es distribuidora directa de esta marca. Otra de las razones es que la empresa NESTLE, industria internacional, cumple estándares de instalación con respecto a los equipos y sus marcas; muy aparte de que los equipos de Schneider Electric cumplen con las normas IEC de calidad de energía, NESTLE busca que todas sus plantas cuenten con el mismo sistema y para esto sean equipos de las marcas que ellos utilizan.

Si se hiciera un análisis de costos de instalación con otras marcas u otro software, el precio de este proyecto supera a todos debido a que los costos de equipos y licencias de software, agregando a esto los aranceles de importación elevados. En la tabla 47 se muestra un análisis de costo (Justificación en el Anexo 4, 5 y 6).

Tabla 47.

Análisis de costo.

Descripción	**Precio referencial aproximado con Schneider Electric.**	**Precio referencial aproximando con SIEMENS**
En equipos	$28.500	$18.150
En Software	$ 4.000 licencia Servidor único y Web client.	$ 2.000 una sola licencia del SENTRON.
Total	$32.500	$20.150

Nota. Referencias aproximadas de las listas de precio 2014

Elaborado por: Luis Tinoco

Pero al momento de hacer un análisis desde el punto de vista aplicativo el software Power Monitoring Expert cumple con todas las características necesarias para la implementación de un sistema de calidad de energía. En la tabla 48 se establece una comparación del software PME con el software: Vijeo Citect, INTOUCH (Para SCADA's de Schneider Electric), ELCOM (De National Instrument).

Tabla 48.

Comparación del software PME con otros para SCADA.

Característica	**PME**	**Vijeo Citect**	**INTOUCH**	**ELCOM**
Soporta comunicación Ethernet	Si	Si	Si	Si con una tarjeta adicional
Compatible con toda marca de medidores que soporten Modbus RTU.	Si	Si	Si	No
Cumple con estándares internacionales IEC	Si	Si	No	Si
Genera base de datos	Si	Si programando por variable	Si programando por variable	Si
Propio para análisis de calidad de energía.	Si	No	No	Si
Genera gráficos y curvas del comportamiento de las variables.	Si	Si programando	Si programando	Si
Incluye Web Server	Si	No	No	No
Monitorea variables en tiempo real	Si	Si	Si	Si
Necesita Módulos extras para la lectura y registros de datos.	No	Si	Si	Si

Nota. www.schneiderl-electric.com.ec, www.siemens.com

Elaborado por: Luis Tinoco

En este contexto se puede decir que el software Power Monitoring Expert es el que mejor se adapta a la necesidad de este proyecto.

CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo de energía contiene medidores inteligentes (PM's de la serie 810) en una red Modbus RTU, los cuales miden los voltajes y corrientes de línea para calcular automáticamente las potencias y consumos de energía, estos parámetros pueden ser visualizados en la pantalla TOUCH Magelis (HMI) o en un computador conectado a red Ethernet del sistema; lo cual se debe a que el sistema de calidad de Energía cuenta con un Servidor vía Ethernet que almacena históricamente las mediciones de la red eléctrica y es accesible desde una aplicación Web.

- El tablero de transferencia automático instalado cuenta con supervisores de voltaje para detectar la presencia de tensión y un autómata (PLC Zelio) que controla las ordenes de apertura y cierre de los Breaker's motorizados para cambiar la fuente de suministro de la Empresa Eléctrica por Energía Generada, de tal forma que mantenga a disponible la red eléctrica ante una falla o corte de la Empresa Eléctrica. El sistema de transferencia automático cuenta con un dispositivo electrónico y un mecánico que no permite el cierre de los Breaker's al mismo tiempo.

- El manual del procedimiento paso a paso entregado a la Empresa SEIUS S.A. dispone de la información completa para la instalación de sistemas de calidad de energía, y el manual de usuario entregado al cliente NESTLE contiene las aplicaciones que puede realizar el operador para monitoreo y análisis del sistema.

- El sistema de calidad de Energía permite realizar análisis de la calidad de Energía para tomar medidas de ahorro energético ó correctivo, debido a que el Servidor cuenta con un Web Server.

RECOMENDACIONES

- La aplicación del Web Server del sistema de calidad de Energía trabaja normalmente vía internet, se recomienda a los clientes de la Empresa SEIUS S.A. que son internacionales y desean instalar este sistema, permitir la configuración para salida con IP pública, de tal forma que puedan visualizar los consumos energéticos de sus plantas a nivel mundial.

- Se recomienda utilizar una pantalla TOUCH para la computadora del Servidor de esta forma las aplicaciones del software se utilizarían a su máximo desempeño.

- Se recomienda instalar medidores en los tableros de distribución de cargas de esta forma se obtendría un mejor análisis de energía agregando estos medidores al sistema como segundo nivel.

- Se recomienda utilizar fibra óptica para reemplazar al cable STP de hilos que sale de los tableros hacia la red Ethernet de las oficinas.

- Con respecto al software Power Monitoring Expert instalado en el Servidor, se recomienda mantener activa la CPU del servidor desactivando la opción de suspensión de la computadora para evitar la pérdida de información, aunque el programa continúa la función de almacenamiento histórico de datos, pero considera desconectado al sistema y no actualiza los gráficos (Gadget) presentados al usuario.

- Se recomienda instalar una memoria en cada medidor de los tableros, en el caso de que el software perdiera comunicación por razones fuera de lo común, de tal forma que cuando el software recupere la comunicación adquiera los datos de las memorias de las centrales de medida.

LISTA DE REFERENCIAS

Ecuador, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2014), Resumen del Plan Estratégico Institucional.

Francia, Schneider Electric (2014), Soluciones de Eficiencia Energética.

Schneider Electric (2014), Catálogo de equipos, capítulos 1-5.

Ecuador, CENACE (2008), Análisis de la calidad de Energía acerca de la calidad del producto, O. Castañeda.

Nieto, G. & Alvarado Otto (2000). Calidad de Energía Eléctrica: Análisis Armónico de Sistemas Eléctricos de Potencia. Tesis para obtener el título de Master. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Campos, J., Figueroa, E., Stand, L., Ospino, I. & Gómez, A. Calidad de Energía Eléctrica. Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología. Colombia.

Valdes, L. (2007). Metodología para el análisis de las perturbaciones armónicas en los sistemas industriales en baja tensión. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Eléctrica.

Holguin, M. & Gómez, D. Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana. Proyecto final de graduación previa a la obtención del título de ingeniero eléctrico.

ANEXOS

Anexo 1. En la instalación del equipo de control.

Anexo 2. En la implementación del tablero de transferencia.

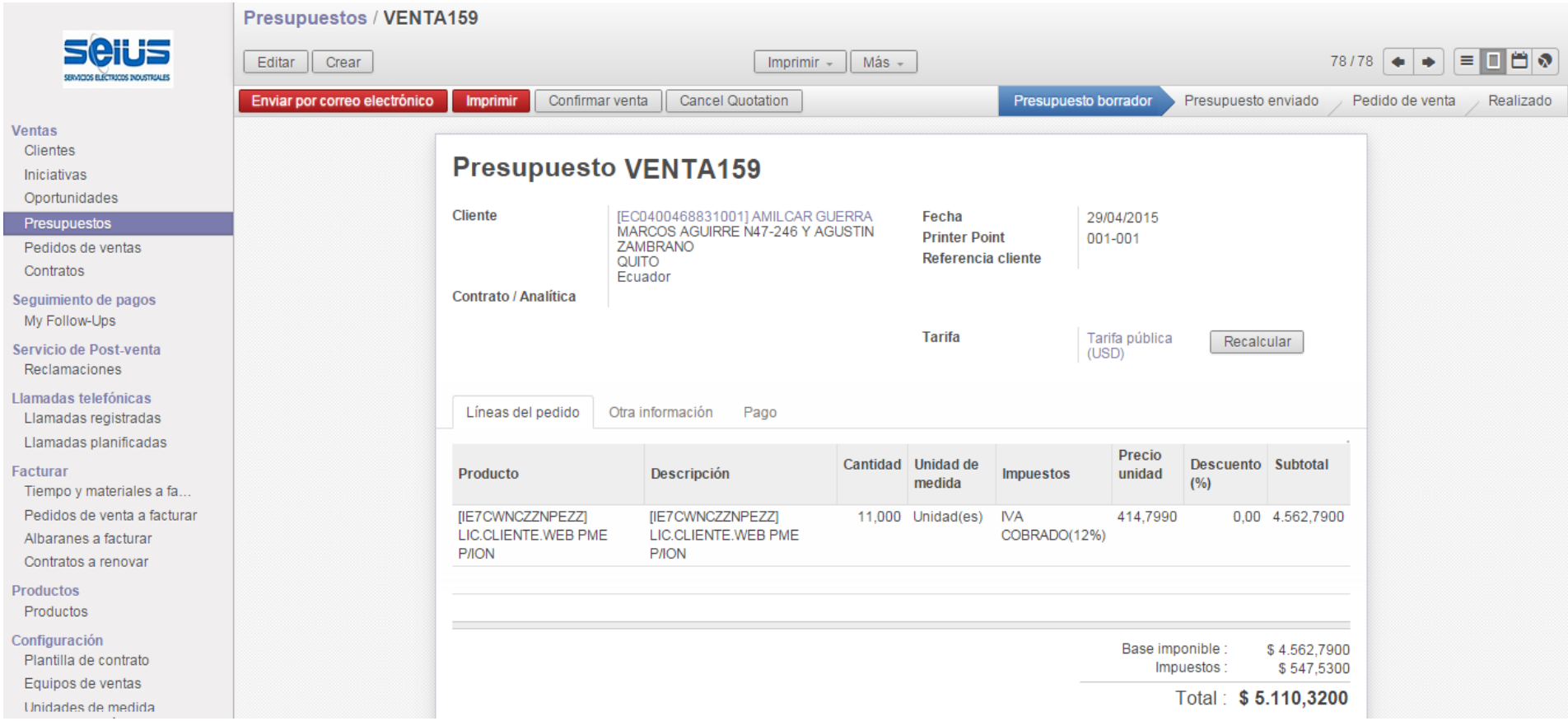
Anexo 3. En la configuración de las centrales de medida.

Anexo 4. Análisis de costos.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio referencial Schneider Electric.	Precio referencial SIEMENS
1	GBL	Tablero de acero, accesorios y superficies de montaje.	$ 3.000	$ 2.000
2	U.	Breker's Motorizados, valores de	$8.000	$6.000
1	U.	Breaker Motorizado con Micrologic 6.0H	$6.000	$4.000
10	U.	Medidores PM810	$10.000	$5.000
5	U.	Breaker de riel DIN. (AC y DC)	$ 50	$50
1	GBL.	PLC, y equipos de control.	$ 1.150	$ 800
1	GBL.	Elementos de mando y señalización.	$100	$100
1	GBL.	Cables y consumibles.	$200	$200
1	GBL.	Licencias del Sotware	$ 4.000	$2.000
Totales			$32.500	$20.150

Nota: Precios referenciales tomados de las listas de precio de Schneider Electric y SIEMENS 2014.

Anexo 5. Costo referencial del software PME.



Anexo 6. Costo referencial del software SENTRON.

SENTRON Pac

	Medidores SENTRON PAC		
100029143	7KM3133-0BA00-3AA0	Medidor PAC 3100, Ue= 690/400Vac trifásico, Uc= 95..240VAC, 140...340VDC.	**435,50**
100020165	7KM2112-0BA00-3AA0	Medidor PAC 3200, Ue= 690/400Vac trifásico, Uc= 95..240VAC, 140...340VDC.	**693,50**
100020170	7KM4212-0BA00-3AA0	Medidor PAC 4200, Ue= 690/400Vac trifásico, Uc= 95..240VAC, 140...340VDC.	**1.602,00**
	Software para manejo de energía SENTRON Power Management		
100200688	3ZS2711-0CC30-0YA0	Sentron Power Manager V 3.0 - LEAN hasta 10 Medidores Sentron Pac	**2.200,00**
100206894	3ZS2712-0CC30-0YD0	Sentron power manager V 3.0 LEAN 50 medidores ADICIONALES, 4 idiomas	**5.350,00**
	Disponemos adicionalmente sofware para 100, 200, 500 y 1000 equipos adicionales Se puede bajar en internet la VERSIÓN TRIAL valida por 30 dias para pruebas de beneficios		