



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño y simulación de un sistema de monitoreo de la calidad de energía de la planta industrial de SEDEMI S.C.C. mediante un sistema de adquisición de datos y de una HMI con enfoque en industria 4.0.

Moncayo Olalla, Carlos Iván

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control

Ing. Arcos Avilés, Diego Gustavo, Ph. D.

03 de febrero de 2022



Tesis_Sr_MoncayoC_Copyleaks.pdf

Scanned on: 11:31 February 4, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	238
Words with Minor Changes	28
Paraphrased Words	42
Ommited Words	0



diego@www.copyleaks.com
DIEGO GUSTAVO
ARCOS AVILES



Website | Education | Businesses



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño y simulación de un sistema de monitoreo de la calidad de energía de la planta industrial de SEDEMI S.C.C. mediante un sistema de adquisición de datos y de una HMI con enfoque en industria 4.0.”** fue realizado por el señor Moncayo Olalla, Carlos Iván el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 03 de febrero de 2022

Firma:

Arcos Avilés, Diego Gustavo, Ph. D.

C.C.: 171087944-4



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Moncayo Olalla Carlos Iván**, con cédula de ciudadanía n° 171816025-0, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y simulación de un sistema de monitoreo de la calidad de energía de la planta industrial de SEDEMI S.C.C. mediante un sistema de adquisición de datos y de una HMI con enfoque en industria 4.0.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 03 de febrero de 2022

Firma:

Moncayo Olalla, Carlos Iván

C.C.: 171816025-0




DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Moncayo Olalla Carlos Iván**, con cédula de ciudadanía n° 171816025-0, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y simulación de un sistema de monitoreo de la calidad de energía de la planta industrial de SEDEMI S.C.C. mediante un sistema de adquisición de datos y de una HMI con enfoque en industria 4.0.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 03 de febrero de 2022

Firma:



Moncayo Olalla, Carlos Iván
C.C.: 171816025-0

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado a mis padres, Carlos y Patricia quienes con su infinito amor nunca han dejado de apoyarme, me han ayudado a crecer, para llegar a cumplir mis metas; a mis abuelitos José Miguel y María Elena quienes, pese a no poder vivir este logro a mi lado, siempre han estado presentes en memorias y recuerdos.

A mi hermano que nunca dejó de ser quien me brinda ayuda en los momentos difíciles, demostrando que un hermano siempre estará para ayudar.

Moncayo Olalla, Carlos Iván.

Agradecimientos

Agradezco por todas las oportunidades que me da la vida para llegar a cumplir mis metas, agradezco a mis padres, a mis abuelos y a mi hermano que sobre todas las cosas nunca dejan que me falte nada, ni amor, ni salud.

A mi padre Carlos porque me enseñó que no importa las condiciones con las que uno empiece un gran sueño, sino que solo con esfuerzo, sacrificio y seguridad se puede ser cada día mejor, que la inteligencia es una gran herramienta pero que el ingenio resaltarán las cualidades con las que se puede ser mejor.

A mi madre Patricia, por enseñarme que puedo ser capaz de todo, que no hay nada que no se pueda lograr, potenciando mis capacidades y motivándome a conseguir los mejores resultados en todo lo que realizo.

A mi hermano que pese a las peleas nunca dejó de preocuparse por mí, que sin importar buenos o malos momentos siempre supo ayudarme cuando más lo necesitaba, quien es un gran ser humano y jamás dejará de contar con mi apoyo.

Un especial agradecimiento para mis abuelitos, quienes pese a no llegar a disfrutar este gran momento conmigo los llevo en el corazón, me formaron como un gran hombre, me enseñaron que el ser bueno llevará a tener grandes logros, en mis mayores decisiones siempre están presentes sus lecciones.

Pese a lo descrito seguirán sin alcanzarme las palabras para agradecer a mi familia.

A mi tutor, Diego Arcos Avilés, Ph.D, por su apoyo desde que fue mi docente hasta el poder realizar este trabajo de titulación.

A mis amigos quienes me dejan grandes recuerdos en la vida universitaria, con quienes aún con buenas y malas decisiones hemos logrado conseguir el objetivo de titularnos.

A SEDEMI por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional, por permitirme crecer, así como el valorar mi conocimiento y capacidades. A mis compañeros con quienes conseguimos grandes logros como equipo. A las personas que conocí fuera de mi departamento, por sus consejos y amistad.

Índice de Contenidos

Análisis Urkund.....	2
Certificación del Tutor.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de Contenidos.....	9
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras.....	13
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I. Introducción	20
Antecedentes	20
Justificación e Importancia	21
Alcance del Proyecto	23
Objetivos.....	26
<i>Objetivo general</i>	26
<i>Objetivos específicos</i>	26
Descripción del Proyecto	26
Capítulo II. Marco Teórico.....	28

	10
Industria 4.0	28
Sistema de Monitoreo Eléctrico	28
Medidor Eléctrico Digital Siemens Sentron PAC3200.....	29
Pasarela de Comunicación Siemens IoT2040	30
Normativa de Consumo Eléctrico para el Sector Industrial en el Ecuador	31
Entorno Node Js.....	35
<i>Herramienta de Comunicación Node-RED</i>	35
Sistema en la Nube Ubidots	37
<i>Paneles de Monitoreo HMI en la Plataforma Ubidots</i>	37
Capítulo III. Instalación y Configuración de Equipos	40
Instalación y configuración del Medidor Eléctrico Sentron PAC 3200.....	40
Instalación y configuración de la Pasarela de Comunicación Siemens IoT2040.....	40
Capítulo IV. Diseño del Sistema de Adquisición y Tratamiento de Datos en Node-RED	48
Establecimiento de Comunicación TCP entre la pasarela Siemens IoT2040 y el Medidor Sentron PAC3200.....	48
Desarrollo del Flujo para Tratamiento de Datos Adquiridos.....	49
Desarrollo del Flujo de Sistema de Notificación de Eventos por Medio de Correo Electrónico.....	51
Desarrollo de Flujo para el Almacenamiento Local de Variables	57
Desarrollo de Comunicación entre Node-Red y la Nube de Ubidots.....	61
Desarrollo de paneles HMI de Monitoreo en Ubidots.....	64

Capítulo V. Escenario de Prueba y Elaboración de Documentación.....	72
Pruebas.....	72
<i>Notificación en caso de eventos</i>	73
Análisis de Resultados	74
<i>Febrero 2020</i>	75
<i>Junio 2020</i>	87
<i>Julio 2020</i>	100
Desarrollo de manuales de usuario y mantenimiento	112
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones	115
Conclusiones	115
Recomendaciones	116
Trabajos Futuros	116
Bibliografía	118

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros solicitados por parte de la empresa SEDEMI	24
Tabla 2 Niveles de voltaje	32
Tabla 3 Límites para los niveles de voltaje.....	32
Tabla 4 Límites admisibles de armónicos de voltaje.....	33
Tabla 5 Limite admisible de frecuencia	34
Tabla 6 Variables de estudio para el tablero del área de producción a 220 VAC	34
Tabla 7 Descripción de indicadores y medidores del panel de voltaje	68
Tabla 8 Descripción de indicadores y medidores del panel de corriente	69
Tabla 9 Descripción de indicadores y medidores del panel de potencia.....	70
Tabla 10 Límites de voltaje medidos en el mes de febrero	76
Tabla 11 Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de febrero	80
Tabla 12 Corriente medida en el mes de febrero	82
Tabla 13 Límites de armónicos de corriente medida en el mes de febrero	84
Tabla 14 Límites de voltaje medidos en el mes de junio.....	89
Tabla 15 Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de junio	92
Tabla 16 Corriente medida en el mes de junio	94
Tabla 17 Límites de armónicos de corriente medida en el mes de junio.....	97
Tabla 18 Límites de voltaje medidos en el mes de julio	101
Tabla 19 Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de julio.....	105
Tabla 20 Corriente medida en el mes de julio.....	107
Tabla 21 Límites de armónicos de corriente medida en el mes de julio	109

Índice de Figuras

Figura 1 Medidor Sentron PAC3200, instalado en tablero de 220 V trifásico.	30
Figura 2 Diagrama de comunicación con pasarela IoT2040.	31
Figura 3 Editor de flujo de Node-RED.	35
Figura 4 Configuración de dirección IP.	41
Figura 5 Confirmación de cambios a configuración de direccionamiento IP.	42
Figura 6 Habilitación de auto inicio del Node-RED.	42
Figura 7 Acceso a los registros internos del IoT2040 por medio del software WinSCP.	43
Figura 8 Ruta para configuración de archivos del enlace de red.	44
Figura 9 Configuración del archivo interfaces.	44
Figura 10 Configuración del archivo interfaces.	45
Figura 11 Configuración del archivo arch.conf.	45
Figura 12 Configuración del archivo opkg.conf.	46
Figura 13 Configuración del archivo resolv.conf.	47
Figura 14 Nodo de comunicación Modbus TCP.	48
Figura 15 Configuración del nodo Modbus Getter.	48
Figura 16 Acceso al registro FC3.	49
Figura 17 Nodo de conversión decimal a binario.	50
Figura 18 Función para calcular el valor binario de cada variable.	50
Figura 19 Nodo de conversión binario a flotante.	51
Figura 20 Nodo función para segmentación de variables a ser notificadas.	52
Figura 21 Segmentación de variables para las notificaciones.	52
Figura 22 Asignación de límites admisibles para las variables eléctricas.	53
Figura 23 Asignación de mensaje de notificación de voltaje.	54

Figura 24 Asignación de mensaje de notificación de factor de potencia.	54
Figura 25 Asignación de asunto y fecha/tiempo.	55
Figura 26 Función de asignación de asunto y fecha/tiempo.	55
Figura 27 Nodo de envío de correo electrónico.	56
Figura 28 Personal destinatario en el sistema de notificaciones.	56
Figura 29 Segmentación de datos destinados para almacenamiento.	58
Figura 30 Función de segmentación para el almacenamiento de datos.	59
Figura 31 Direccionamiento para almacenamiento de variables.	60
Figura 32 Localización de datos almacenados.	60
Figura 33 Directorio con datos almacenados correspondientes al FP total.	61
Figura 34 Nodo de configuración para concatenado de datos JSON.	62
Figura 35 Asignación de mensaje de notificación de voltaje.	62
Figura 36 Direccionamiento por dispositivo hacia la nube de Ubidots.	63
Figura 37 Ejemplo de configuración de nodo MQTT para variables de voltaje.	63
Figura 38 Configuración direccionamiento al servidor de Ubidots.	64
Figura 39 Asignación de identificador TOKEN para la aplicación de SEDEMI S.C.C. ...	64
Figura 40 Dispositivos de almacenamiento en servidor de Ubidots.	65
Figura 41 Variables de monitoreo correspondientes al voltaje.	65
Figura 42 Variables de monitoreo correspondientes a la corriente.	66
Figura 43 Variables de monitoreo correspondientes a la potencia.	66
Figura 44 Panel HMI para visualización de variables de voltaje.	67
Figura 45 Panel HMI para visualización de variables de corriente.	68
Figura 46 Panel HMI para visualización de variables de potencia.	69
Figura 47 Notificaciones al correo de prueba para notificaciones.	73

Figura 48 Notificación para alerta de un bajo factor de potencia en la línea 1.	74
Figura 49 Notificación para alerta de un bajo factor de potencia total.....	74
Figura 50 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 - Neutro.....	75
Figura 51 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 - Neutro.....	75
Figura 52 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 - Neutro.....	76
Figura 53 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.....	77
Figura 54 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.....	77
Figura 55 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.....	78
Figura 56 Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 1.....	78
Figura 57 Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 2.....	79
Figura 58 Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 3.....	79
Figura 59 Datos de monitoreo de corriente en la Línea 1.	80
Figura 60 Datos de monitoreo de corriente en la Línea 2.	81
Figura 61 Datos de monitoreo de corriente en la Línea 3.	81
Figura 62 Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 1.....	82
Figura 63 Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 2.....	83
Figura 64 Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 3.....	83
Figura 65 Datos de monitoreo potencia activa total.	85
Figura 66 Datos de monitoreo potencia aparente total.	85
Figura 67 Datos de monitoreo potencia reactiva total.....	86
Figura 68 Datos de monitoreo factor de potencia total.	86
Figura 69 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Neutro.	87
Figura 70 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Neutro.	87
Figura 71 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Neutro.	88

Figura 72 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.....	89
Figura 73 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.....	89
Figura 74 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.....	90
Figura 75 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 1.....	91
Figura 76 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 2.....	91
Figura 77 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 3.....	91
Figura 78 Datos de monitoreo de corriente de Línea 1.....	92
Figura 79 Datos de monitoreo de corriente de Línea 2.....	93
Figura 80 Datos de monitoreo de corriente de Línea 3.....	93
Figura 81 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 1.....	94
Figura 82 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 2.....	95
Figura 83 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 3.....	96
Figura 84 Datos de monitoreo de potencia activa total.....	97
Figura 85 Datos de monitoreo de potencia aparente total.....	98
Figura 86 Datos de monitoreo de potencia reactiva total.....	99
Figura 87 Datos de monitoreo del factor de potencia total.....	99
Figura 88 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Neutro.....	100
Figura 89 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Neutro.....	100
Figura 90 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Neutro.....	101
Figura 91 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.....	102
Figura 92 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.....	102
Figura 93 Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.....	103
Figura 94 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 1.....	103
Figura 95 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 2.....	104

Figura 96 Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 3.....	104
Figura 97 Datos de monitoreo de corriente de Línea 1.....	105
Figura 98 Datos de monitoreo de corriente de Línea 2.....	106
Figura 99 Datos de monitoreo de corriente de Línea 3.....	106
Figura 100 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 1.	107
Figura 101 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 2.	108
Figura 102 Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 3.	108
Figura 103 Datos de monitoreo de potencia activa total.....	110
Figura 104 Datos de monitoreo de potencia aparente total.	110
Figura 105 Datos de monitoreo de potencia reactiva total.	111
Figura 106 Datos de monitoreo de factor de potencia total.	111
Figura 107 D Instructivo de Operación para el Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía	113
Figura 108 Instructivo de Mantenimiento para el Sistema de Monitoreo de Calidad de	114

Resumen

En la actualidad el contar con información a tiempo real del funcionamiento y procesos de fabricación en la industria permite una mejor toma de decisiones, como prevención en cuanto a mantenimiento. En la planta SEDEMI la maquinaria de operación industrial trabajan bajo un índice de tolerancia para un correcto funcionamiento, las variables que influyen son tanto el voltaje como la corriente, dando paso a la potencia consumida. El mantener la alimentación de la maquinaria dentro de los límites establecidos por el fabricante además de garantizar un correcto funcionamiento se regulariza el consumo energético. Existen caídas de tensión, desbalances tanto de tensión como de corriente, y la influencia de armónicos se pueden presentar fuera de ese período de análisis y afectar la integridad de la maquinaria y equipos, adicionalmente un factor de potencia por debajo del permitido en las normativas de regulación ecuatorianas infiere en un coste de penalización, todo esto incurre en aumento de costes de operación. La implementación de un medidor de energía con la capacidad de establecer comunicación a internet brinda la facilidad de tener acceso a la información de alimentación por medios electrónicos como son computadores o teléfonos móviles, tomando en cuenta la herramienta de visualización Ubidots, además de las alertas de correo al personal calificado por mantenimiento.

PALABRAS CLAVE:

- **ANÁLISIS DE ENERGÍA**
- **DESBALANCES DE TENSIÓN Y CORRIENTE**
- **ARMÓNICOS DE TENSIÓN Y CORRIENTE**
- **CAÍDAS DE TENSIÓN**
- **UBIDOTS**

Abstract

Currently, having real-time information on the operation and manufacturing processes in the industry allows better decision-making, such as prevention in terms of maintenance. In the SEDEMI plant, the industrial operating machinery works under a tolerance index for correct operation, the variables that influence are both the voltage and the current, giving way to the power consumed. Maintaining the power supply of the machinery within the limits established by the manufacturer, in addition to guaranteeing correct operation, regulates energy consumption. There are voltage drops, imbalances of both voltage and current, and the influence of harmonics can occur outside that period of analysis and affect the integrity of the machinery and equipment, in addition to a power factor below that allowed in the regulations of Ecuadorian regulation infers a penalty cost, all this incurs an increase in operating costs. The implementation of an energy meter with the ability to establish communication to the Internet provides the ease of accessing power information by electronic means such as computers or mobile phones, taking into account the Ubidots visualization tool, in addition to the alerts of e-mail to qualified maintenance personnel.

KEY WORDS:

- **ENERGY ANALYSIS**
- **VOLTAGE AND CURRENT IMBALANCES**
- **VOLTAGE AND CURRENT HARMONICS**
- **VOLTAGE DROPS**
- **UBIDOTS**

Capítulo I. Introducción

Antecedentes

SEDEMI S.C.C. es una entidad que realiza su actividad en el ámbito de diseño y elaboración de estructuras metálicas, aplicada en: Hidrocarburos, Telecomunicaciones, Electricidad y Construcción Civil en general.

El proyecto del monitoreo de calidad de energía será desarrollado bajo la dirección del departamento de Investigación y Desarrollo de Producción de la planta principal ubicada en la vía Sangolquí - Amaguaña Km 4.5 "Lotización El Carmen. Lote #4.

El término "calidad de la energía" es usado para describir la variación de voltaje, corriente, y frecuencias en el sistema de energía. Históricamente, la mayoría de los equipos de sistemas de energía han podido funcionar con éxito con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros. Sin embargo, en los últimos cinco a diez años se han agregado una gran cantidad de equipos y herramientas al proceso de producción mismos que al conectarse al sistema de alimentación algunos no presentan tolerancia con estas variaciones. Entre estos equipos se han incluido algunos con instrumentación electrónica. Parte del control se realiza directamente por medio de convertidores de energía, como unidades de CA, unidades de CC y fuentes de alimentación conmutadas, mientras que parte del equipo electrónico se encuentra en los controles periféricos, como computadoras y controladores lógicos programables (PLC). Con la disponibilidad de estos controles sofisticados, se ha desarrollado un control mucho más preciso de los procesos que hacen que sean aún más susceptibles a los efectos de las perturbaciones del sistema eléctrico. Las perturbaciones del sistema, que se han considerado normales durante muchos años, ahora pueden causar

interrupciones en el sistema de energía industrial con la consiguiente pérdida de producción (Reid, 1996).

El análisis de la calidad de energía debe realizarse debido a diferentes factores, tales como son: la seguridad, el ahorro de costos energéticos, los incentivos financieros. En el apartado de la seguridad se tiene la posibilidad de agregar nuevas cargas eléctricas a un panel o a un equipo existente, para lo cual se debe realizar un estudio para saber si se cuenta con la capacidad suficiente para agregar nuevas cargas; con esto se puede garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad locales, además de evitar la sobrecarga de una toma existente, lo que brindará mayor seguridad y fiabilidad (Bonilla & Llanganate, 2017).

El ahorro de costos dentro del consumo eléctrico se puede analizar a partir de varios factores, entre los que tenemos el consumo que presentan los equipos utilizados en las instalaciones, las multas que se pueden generar a partir de fallas dentro de los mismos, al incumplir con el factor de potencia que se tiene establecido debido a una falla del voltaje de alimentación de las mismas (Lasluisa, 2019).

El proyecto planteado por la empresa radica en la implementación de un sistema de medición para el consumo que se presenta en la planta en general, mismo que será analizado por medio de dos interfaces SCADA en la plataforma de dashboards proporcionada por Node-Red, una para el cuerpo operativo y otra para gerencia (Abata, 2019).

Justificación e Importancia

El monitoreo de datos es el seguimiento de acciones que podemos cuantificar y que nos arroja datos relevantes para la estrategia. El análisis de datos es la base de la optimización de la estrategia, nos permite modificar, continuar o establecer nuevas

directrices, sin perder de vista el objetivo final. Utilizar datos es primordial para las empresas ya que día a día se ven enfrentados a pequeños y grandes desafíos, siempre enfocados a mejorar sus productos y optimización de recursos.

La planta industrial SEDEMI es una empresa que se encarga del diseño, construcción y montaje de estructuras metálicas, por lo que el monitoreo de energía y consumos es uno de los factores principales para la optimización de los procesos de corte, soldado, montaje de torres, transporte por medio de puentes grúa, por ende ante el costo de un análisis externo se desea desarrollar un sistema que permita conocer a tiempo real y cuente con un almacenamiento de los datos para la toma de decisiones en casos como un sobre consumo, exceso de armónicos que incurren en potenciales daños a la maquinaria o problemas en las cargas conectadas al tablero, se presentan en ocasiones problemas con la empresa eléctrica a causa de multas como por el factor de potencia menor a 0.92 que es lo permitido por la normativa de consumo eléctrico y en lo que la empresa SEDEMI quiere mejorar y reducir el consumo eléctrico incurrido en las planillas debido a que existen conexiones mal puestas a tierra que pese a no tener encendidas ciertas maquinas se presentan consumos en el tablero por la fuga de corrientes. Conjuntamente con un histórico se pretende prevenir daños en la maquinaria gracias a la ejecución de un plan de mantenimiento predictivo.

De manera comercial se pueden encontrar empresas que realizan este tipo de análisis para los tableros tanto, primarios y secundarios, precisamente para el tablero en el que se desea realizar la instalación de este sistema incurre en un costo aproximado de \$1500 dólares americanos, valor superior a lo que se invirtió en los equipos IoT2040 y SENTRON PAC3200.

Alcance del Proyecto

El proyecto a realizarse dentro de la planta SEDEMI S.C.C., ubicada en la vía Sangolquí - Amaguaña Km 4.5 Lotización El Carmen. Lote #4, tiene como objetivo el desarrollo de una interfaz HMI que permitirá la identificación de las variables eléctricas solicitadas por el Técnico Eléctrico de la planta (detalladas en la Tabla 1), para conocer el consumo eléctrico que presenta el tablero principal, que permita conocer al usuario si existen problemas dentro de las cargas conectadas por medio de históricos y análisis de sus especificaciones de consumo provistas por el fabricante, cargas de las máquinas de producción, otro factor a tener en cuenta son las multas que se puedan presentar por el factor de potencia, se presentarán las variables en el paso del tiempo mismo que dará alertas de picos altos o bajos tanto de voltaje, corriente, potencia y armónicos, se mostrarán históricos de los mismos, las alarmas a presentarse se realizará por medio de correo electrónico a las personas encargadas para que tomen acciones frente a dichos casos.

Tabla 1

Parámetros solicitados por parte de la empresa SEDEMI

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
1	2	Tensión U_{L1-N}	Float	V	-	R
3	2	Tensión U_{L2-N}	Float	V	-	R
5	2	Tensión U_{L3-N}	Float	V	-	R
7	2	Tensión U_{L1-L2}	Float	V	-	R
9	2	Tensión U_{L2-L3}	Float	V	-	R
11	2	Tensión U_{L3-L1}	Float	V	-	R
13	2	Corriente L1	Float	A	-	R
15	2	Corriente L2	Float	A	-	R
17	2	Corriente L3	Float	A	-	R
19	2	Potencia aparente L1	Float	VA	-	R
21	2	Potencia aparente L2	Float	VA	-	R
23	2	Potencia aparente L3	Float	VA	-	R
25	2	Potencia activa L1	Float	W	-	R
27	2	Potencia activa L2	Float	W	-	R
29	2	Potencia activa L3	Float	W	-	R
31	2	Potencia reactiva L1	Float	var	-	R
33	2	Potencia reactiva L2	Float	var	-	R
35	2	Potencia reactiva L3	Float	var	-	R
37	2	Factor de potencia L1	Float	-	0 ... 1	R
39	2	Factor de potencia L2	Float	-	0 ... 1	R
41	2	Factor de potencia L3	Float	-	0 ... 1	R
43	2	THD-R en tensión L1	Float	%	0 ... 100	R
45	2	THD-R en tensión L2	Float	%	0 ... 100	R
47	2	THD-R en tensión L3	Float	%	0 ... 100	R
49	2	THD-R en corriente L1	Float	%	0 ... 100	R
51	2	THD-R en corriente L2	Float	%	0 ... 100	R
53	2	THD-R en corriente L3	Float	%	0 ... 100	R
55	2	Frecuencia	Float	Hz	45 ... 65	R
57	2	Tensión media U_{L-N}	Float	V	-	R
59	2	Tensión media U_{L-L}	Float	V	-	R
61	2	Corriente media	Float	A	-	R
63	2	Potencia aparente total	Float	VA	-	R
65	2	Potencia activa total	Float	W	-	R
67	2	Potencia reactiva total	Float	var	-	R
69	2	Factor de potencia total	Float		-	R
71	2	Desbalance de amplitudes en tensión	Float	%	0 ... 100	R
73	2	Desbalance de amplitudes en corriente	Float	%	0 ... 200	R

Nota: Tomado de *Manual de producto Multímetro SENTRON PAC3200*, por SIEMENS, 2008.

Para el análisis del consumo eléctrico y la calidad de energía se realizará la implementación de un equipo (medidor digital, SENTRON PAC3200), (Wilson,

Chancúsig, Gamboa, Tipan, & Salazar, 2018), que analizarán la red eléctrica además de un equipo para la comunicación con el medidor y subir la información a la nube (SIEMENS IoT2040, pasarela de comunicación), se realizará la comunicación por medio del protocolo Modbus TCP, (Zou & Bian, 2011), (Vega, 2017), para proceder con el tratamiento de la información obtenida por medio del IoT2040 se deberá desentramar la información codificada por el medidor SENTRON PAC3200 por medio de la herramienta Node-Red basada en un tipo de programación de flujo desarrollada por el equipo de “Servicios de Tecnología Emergente de IBM”, para su posterior comunicación con la plataforma de dashboards en el servidor web UBIDOTS, donde se presentarán la información obtenida por medio de un HMI de monitoreo al departamento encargado de mantenimiento y a gerencia, cada una con las variables de interés, para mantenimiento se tendrá toda la información técnica obtenida y para gerencia se proporcionará costos y consumos, adicionalmente se deberá implementar un sistema de alarmas y notificaciones para un registro de históricos en base a los problemas que se puedan presentar tanto como lo son: porcentaje de armónicos mayores a los permitidos, picos de corriente, caídas del factor de potencia en límites penados por la empresa eléctrica, sobrevoltajes o caídas de voltaje fuera de un rango del 8% permisible por los encargados de mantenimiento. Todas las variables se almacenarán de manera local en el servidor de SEDEMI para apoyo de informes y verificación de históricos en un archivo plano de formato txt, para que sean procesados a conveniencia de los interesados, tanto de mantenimiento como gerencia. Esta herramienta da la versatilidad de ingresar al tablero por medio de cualquier dispositivo con acceso a Internet, como teléfonos móviles, tabletas, computadoras.

Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema de monitoreo de la calidad de energía para la empresa SEDEMI S.A en base a sus necesidades de análisis del consumo de la red eléctrica, para el tablero del área de producción a 220V AC a modo de sistema prototipo para una futura implementación general en los demás tableros secundarios.

Objetivos específicos

- Analizar el consumo energético de la planta principal de la empresa SEDEMI S.A por medio de la identificación de variables eléctricas en el tablero de 220 VAC en el área de producción.
- Almacenar los datos obtenidos por el medidor SENTRON PAC3200 en un archivo de texto plano como respaldo a la información almacenada en la nube de Ubidots.
- Evaluar el consumo eléctrico dentro del área administrativa de producción para solventar problemas del apartado eléctrico.
- Diseñar un sistema de notificaciones ante posibles eventos de anomalías eléctricas.

Descripción del Proyecto

Como ha sido mencionado el objetivo del presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía en un tablero de 220Vac, este sistema es implementado en la planta principal de SEDEMI S.C.C. ubicada en la vía Sangolquí - Amaguaña Km 4.5 Lotización El Carmen. Lote #4. La empresa apertura un departamento de Investigación y Desarrollo de Producción que tiene como objetivo el mejorar los procesos productivos dentro de la planta, dando soluciones mecánicas y de automatización para reducir costos de producción y mejorar

los tiempos de trabajo. Se instala un medidor digital con comunicación TCP, Siemens Sentron PAC3200 en el tablero mencionado para conocer el comportamiento de la red eléctrica de distribución, comunicado por medio de una pasarela Siemens Simatic IoT2040 misma que adquiere los datos del medidor y los envía a la nube de la plataforma Ubidots. Se toma en cuenta las consideraciones del departamento de Mantenimiento mismo que está encargado de la distribución eléctrica dentro de la planta y de las correcciones necesarias para un óptimo funcionamiento de las máquinas.

El monitoreo se presenta en pantallas HMI en la plataforma Ubidots, donde se puede hacer validación de datos a tiempo real o por medio de filtros de tiempo para históricos a conveniencia del usuario, se cuenta con notificaciones por medio de correo electrónico de manera que eventos perjudiciales para los procesos productivos puedan ser validados y contemplado esto se puedan realizar actividades de corrección y prevención de daños que puedan provocar paras o costos de reparación.

Capítulo II. Marco Teórico

Industria 4.0

A lo largo de la historia la industria ha ido adaptándose a nuevas necesidades del sector, así como a nuevas tendencias de manufactura y control de producción, así nace la Revolución Industrial, la cuarta Revolución Industrial es conocida como con la expresión de Industria 4.0 término acuñado en Alemania. Este término hace referencia habitualmente a “Fabrica Inteligente” o “Industrial Inteligente” ya que se aplica el modelo del “Internet de las Cosas” (IoT, “Internet of Things”). Con esto se da reconocimiento a que todos los procesos de fabricación se encuentran en proceso de transformación digital, direccionado al avance de las tecnologías de la información y software (Román, 2016).

Como principal objetivo apunta a la modernización de fábricas al dotarlas de tecnologías capaces de aumentar la cantidad y calidad de la producción, todo ello con un coste mucho menor al generar un ahorro en cuanto a recursos como lo es el consumo eléctrico. Por lo que el análisis, control y optimización del consumo energético de los equipos debe estar en constante monitoreo para ello, Basanta, Fragueta, & Sánchez, 2018 mencionan que se deben seguir cuatro pasos fundamentales:

- Adaptación de equipos
- Adquisición de datos
- Procesamiento de datos
- Toma de decisiones

Sistema de Monitoreo Eléctrico

En la actualidad es imprescindible que los sistemas eléctricos industriales cuenten con una medición constante de su consumo y perturbaciones existentes, sobre

todo para las áreas más críticas en procesos de fabricación. La información del comportamiento de la distribución eléctrica permite la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento para la prevención de fallas por cortes de energía y organización de los trabajos a desarrollarse para un bajo costo de fabricación. Para ello existen sistemas de monitoreo eléctrico con tecnologías de comunicación a internet, dispositivos IoT de monitoreo Eléctrico (Pérez, Clemente, & Ortiz, 2018).

Medidor Eléctrico Digital Siemens Sentron PAC3200

El medidor Sentron PAC3200 de Siemens es considerado como un multímetro digital mismo que permite visualizar todos los parámetros relevantes de una red de distribución eléctrica en baja tensión, permite ser conectado a redes monofásicas, bifásicas y trifásicas en sistemas de dos hasta cuatro conductores, con un tamaño de fabricación compacto es ideal para la colocación en los gabinetes de distribución.

Cuenta con un amplio rango de medición puede ser conectado a sistemas de hasta 500V, además de que puede medir tensiones superiores si se utilizan transformadores de tensión (se pueden utilizar transformadores de corriente x/1 A o x/5 A).

Permite la obtención de más de 50 magnitudes medidas a partir de magnitudes básicas tanto con valores máximos como mínimos, así como valores medios tanto para tensiones simples como compuestas y corrientes.

Su aporte a la Industria 4.0 nace a partir de su puerto ethernet mismo que permite el protocolo de comunicación TCP y enviado por ese medio toda la información obtenida a un equipo de adquisición como puede ser la pasarela de comunicación Siemens IoT2040 (SENTRON PAC3200, 2008).

Figura 1

Medidor Sentron PAC3200, instalado en tablero de 220 Vac trifásico.



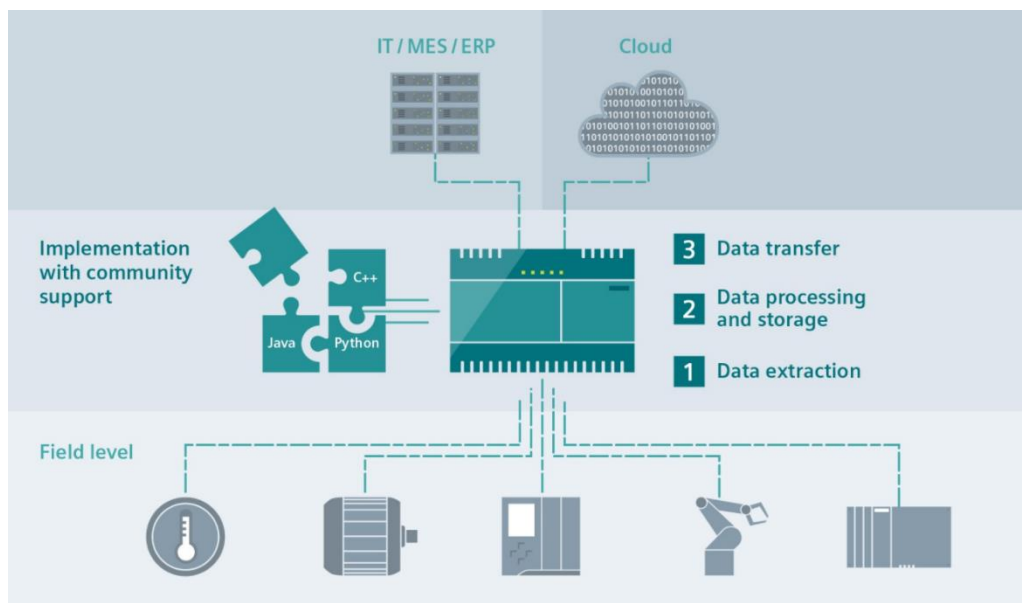
Nota: Elaboración propia

Pasarela de Comunicación Siemens IoT2040

La pasarela de comunicación Siemens IoT2040 es una herramienta del tipo Gateway para adquisición y envío de datos al ser comunicada con dispositivos que cumplan con protocolos de comunicación industrial, como es el caso del Sentron PAC3200. Esta pasarela basa su funcionamiento en el entorno Node JS mismo que habilita el uso de la herramienta Node-RED de programación en lenguaje Java, JSON, C/C++, Python; por medio de organización en flujos. Al ser un entorno de software libre se cuenta con gran variedad de nodos que pueden ser adaptados las necesidades del programador, lo que permite crear innumerables aplicaciones (SIMATIC IOT2000, 2020).

Figura 2

Diagrama de comunicación con pasarela IoT2040.



Nota: Tomado de Siemens News, 2022,

<https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>

Normativa de Consumo Eléctrico para el Sector Industrial en el Ecuador

Dentro del estado ecuatoriano las grandes, medianas y pequeñas empresas deben registrarse a la normativa eléctrica vigente tanto nacional como internacional, con el fin de evitar inconvenientes en el sistema eléctrico y sanciones monetarias al incumplir las variables eléctricas con sus valores permitidos. De acuerdo a la regulación de la ARCONEL 005/18 los niveles de voltaje y sus respectivos valores se muestran en la

Tabla 2.

Tabla 2*Niveles de voltaje*

Nivel de voltaje	Valores de voltaje
Bajo voltaje	Menor o igual a 0.6 kV
Medio voltaje	Mayor a 0.6 kV y menor igual a 40 kV
Alto voltaje (Grupo 1)	Mayor a 40 kV y menor igual a 138 kV
Alto voltaje (Grupo 2)	Mayor a 138 kV

Nota: Tomado de *Regulación No. ARCONEL 053/18, Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*, por ARCONEL. Agencia de regulación y control de electricidad, 2018.

Así también para garantizar la calidad de voltaje, la variación del mismo debe permanecer en un rango admisible determinado para cada nivel de voltaje, ver Tabla 3.

Tabla 3*Límites para los niveles de voltaje*

Nivel de voltaje	Rango admisible
Bajo voltaje	$\pm 8.0 \%$
Medio voltaje	$\pm 6.0 \%$
Alto voltaje (Grupo 1 y 2)	$\pm 5.0 \%$

Nota: Tomado de *Regulación No. ARCONEL 053/18, Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*, por ARCONEL. Agencia de regulación y control de electricidad, 2018.

La normativa IEEE 1159 y la regulación de la ARCONEL 005/18 indican que el desequilibrio de voltaje debe ser siempre menor al 2% en todos los niveles de voltaje de manera que el rendimiento de las cargas trifásicas no disminuya al momento de entrar en funcionamiento.

Cuando las cargas conectadas al sistema eléctrico son principalmente no lineales surgen los armónicos, los mismos que pueden aumentar la potencia aparente y la corriente absorbida por los circuitos eléctricos, por ende, la norma el rango admisible de la distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la normativa IEEE 519-2014 se observa en la Tabla 4.

Tabla 4

Limites admisibles de armónicos de voltaje

Nivel de voltaje	Armónico individual (%)	THD (%)
Bajo voltaje	5.0	8.0
Medio voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

Nota: Tomado de *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, por IEEE Std 519-2014, 2014.

Para la Distorsión Armónica Total de Corriente, el estándar IEEE 519-2014 establece las ecuaciones (2.1) y (2.2) que permiten determinar los límites de variación de cada armónico impar.

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (1.1)$$

$$I_{SC} = \frac{V_n}{R_c * D} \quad (1.2)$$

Donde el valor del SCR es la relación de cortocircuito, I_{SC} es la corriente en cortocircuito, I_L es la corriente máxima, V_n es el voltaje nominal, R_c la resistencia del conductor y D la distancia entre el tablero y el punto donde se encuentra la carga.

La frecuencia de funcionamiento también influye en el rendimiento del sistema eléctrico, de acuerdo a la normativa internacional EN50160 los límites de la frecuencia permitidos se muestran en la

Tabla 5.

Tabla 5

Límite admisible de frecuencia

Variación de frecuencia	Límite admisible
Normal	$\pm 1 \%$
Crítica	$-6 \%, +4 \%$

Nota: Tomado de *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*, por Asociación Española de la Normalización Std UNE-EN 50160, 2020.

En base a la normativa Nacional e Internacional analizada para el tablero del área de producción a 220V AC, las variables y valores límites considerados en el estudio se indican en la Tabla 6.

Tabla 6

Variables de estudio para el tablero del área de producción a 220 VAC

Variable	Límites admisibles
Nivel de voltaje	$\pm 8\%$ del voltaje nominal
Factor de potencia	Mayor igual a 0.92
Armonico de voltaje individual	5%
Armonico de voltaje total THD	8%

Armonico de corriente	No mayor a los valores obtenidos en (1) y (2)
Desequilibrio de voltaje	Menor al 2%
Frecuencia	Normal: 59.4 – 60.6 Hz Critica: 56.4 – 62.4 Hz

Nota: Elaboración propia

Entorno Node Js

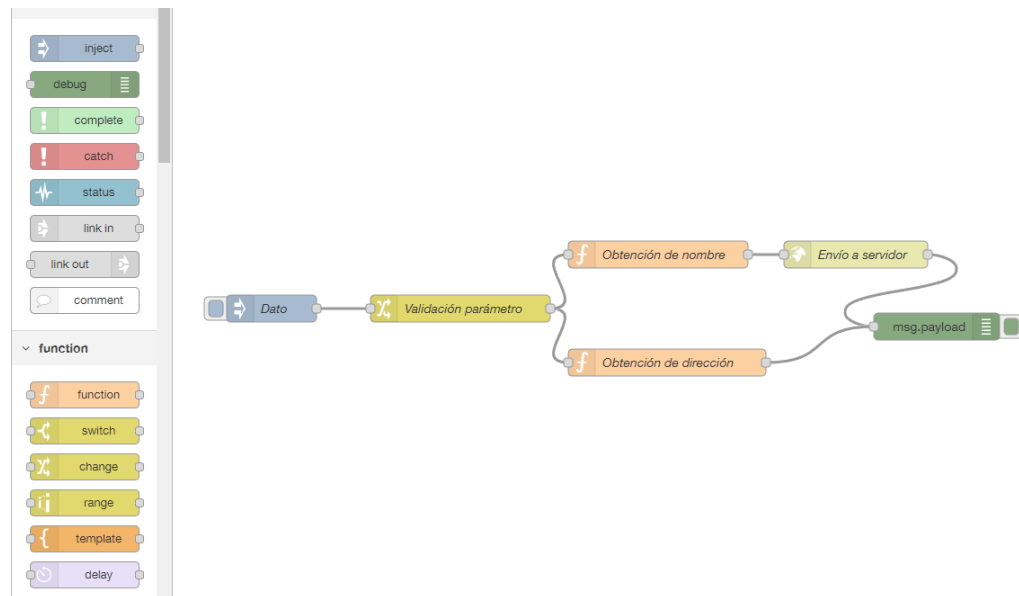
Node Js es un programa desarrollado bajo el motor de Google V8 ejecutable en la parte del servidor, permite crear aplicaciones rápidas y adaptables al ejecutar el lenguaje JavaScript (Node.js, s.f.). El modelo sin bloqueos de E/S que maneja node Js en conjunto con el controlador de eventos permite que las aplicaciones puedan manejar un alto volumen de datos (Castillo, 2015).

Herramienta de Comunicación Node-RED

Node-Red es una herramienta de programación basada en flujos (FBP), fue desarrollado por el Equipo de Servicios de Tecnología Emergente de la empresa IBM (Valle, 2018). El programa Node-Red proporciona un editor de flujo muy visual, ver Figura X, donde el procedimiento se encuentra descrito en cada nodo, el nodo recibe datos y los emplea en la ejecución de los procedimientos, dichos datos pasan a otros nodos donde se genera así una red de flujo de datos.

Figura 3

Editor de flujo de Node-RED.



Nota: Elaboración propia

El editor de flujo es el principal objetivo de la herramienta Node-RED incorpora una serie de nodos, los mismos que pueden ser agregados por medio de la paleta de nodos. Node-RED está desarrollado en Node Js como una aplicación Web.

Como se mencionó anterior Node-RED funciona como un editor de programación de flujo, permite arrastrar los nodos y enlazarlos de manera que se pueda obtener como resultado la salida deseada, dentro de sus beneficios destacados de acuerdo a Hagino, 2021, tenemos:

- **Simplicidad:** No se realiza codificación y se utilizan pocas operaciones para completar los flujos.
- **Eficiencia:** El editor automáticamente proporciona el entorno de ejecución, regulariza las bibliotecas y el desarrollo integrado.
- **Común:** Incorpora nodos fáciles de usar, los mismos que pueden ser desarrollados y publicados de acuerdo a la necesidad de una aplicación, de

esta manera se elimina la codificación que es común para la ejecución de funciones.

- **Calidad:** Elimina la necesidad de verificar la funcionalidad de los nodos, de tal manera que el programador solo requiere verificar la combinación de nodos para el desarrollo de un flujo.

Sistema en la Nube Ubidots

Ubidots es una plataforma IoT que proporciona servicios en la nube, los mismos que permiten el almacenamiento, procesamiento de datos para el desarrollo de aplicaciones web, así como la creación de mapas de ubicación en tiempo real (IBM, s.f.).

Paneles de Monitoreo HMI en la Plataforma Ubidots

La visualización de información es importante para la toma de decisiones en cuanto al sistema que se encuentra monitoreado, para ellos la plataforma de Ubidots proporciona al usuario la herramienta en la sección “Dashboard” (Karla, 2022), lo que permite incorporar diferentes tipos de visualización mediante widgets, dentro de los cuales tenemos:

- Batería
- Reloj
- Tabla de dispositivos
- Grafica de doble eje
- Indicador
- Canvas HTML

- Histogramas
- Imagen
- Carácter en línea
- Métrico
- Mapas

El usuario puede utilizar diferentes tipos de widgets para el desarrollo de pantallas HMI, donde depende principalmente de las necesidades de visualización, dentro de las propiedades de cada widget se pueden modificar parámetros como: el color, tipo de letras, unidades y variables de los dispositivos.

Los datos de cada variable son almacenados dentro de una base de datos en la nube y pueden ser fácilmente navegados dentro de los widgets mediante la barra de fecha y hora de visualización.

Capítulo III. Instalación y Configuración de Equipos

En primera instancia es necesaria la configuración individual de los equipos tanto de medición y adquisición para el envío de los datos a la nube de Ubidots.

Instalación y configuración del Medidor Eléctrico Sentron PAC 3200

Para el medidor digital Sentron PAC3200 es necesario la inicialización por medio de su alimentación de líneas 110/220/440 Vac, lo que permitirá la asignación de la dirección IP interna asignada es 172.XX.XX.XX6, no es más que conectar el cable ethernet para su acceso a internet y la configuración se da por finalizada.

Instalación y configuración de la Pasarela de Comunicación Siemens IoT2040

Tanto para la inicialización de la pasarela Siemens IoT2040 es necesario contar con un registro en el foro de soporte Siemens Industry, de tal forma que se puede obtener la imagen del firmware basada en Yocto Linux, correspondiente para la puesta en marcha de la pasarela, actualmente se cuenta con la versión 2.4.0 versión tomada por su estabilidad. Este registro puede llevar un tiempo de 2 días de autorización por parte de los administradores, una vez se cuenta con la imagen son necesarias ciertas herramientas de software y hardware de almacenamiento para la instalación y configuración total, estos:

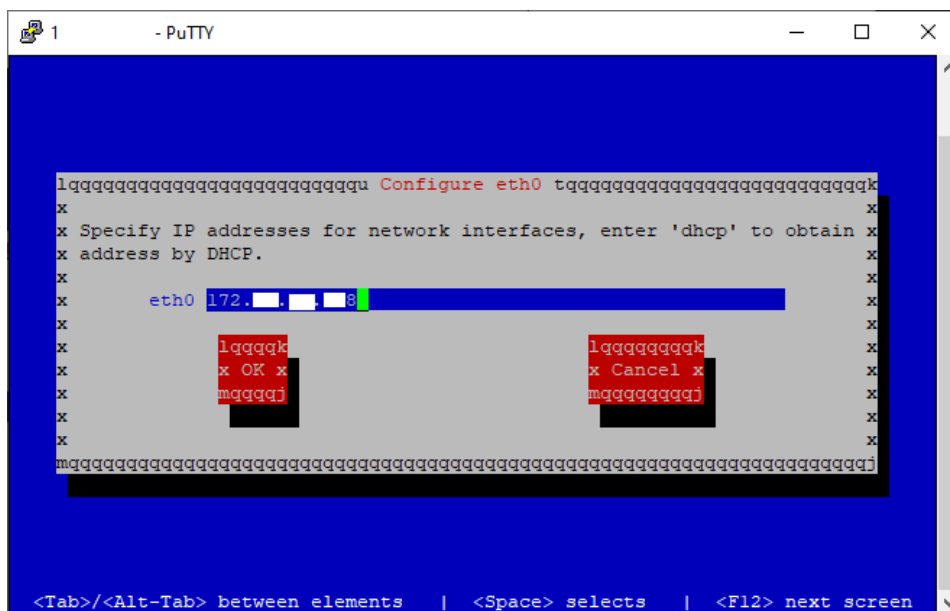
- Hardware:
 - Tarjeta microSD, capacidad mínima de 8GB y máxima de 32G
 - Lector/Adaptador de tarjetas microSD
 - Cable ethernet
 - Fuente de alimentación a 24Vdc
 - Computador con conexión a Internet

- Software:
 - Win32 Disk Imager
 - PuTTY
 - WinSCP

A manera de breve resumen para la puesta en marcha del sistema se requiere grabar la imagen descargada por medio de la herramienta Win32 Disk Imager, una posterior configuración tanto de direccionamiento IP para que tenga la pasarela la comunicación con internet por medio de la red interna de la empresa SEDEMI S.C.C. donde se debe cumplir los protocolos de seguridad instaurada por el área de sistemas, la IP interna asignada es 172.XX.XX.XX8.

Figura 4

Configuración de dirección IP.



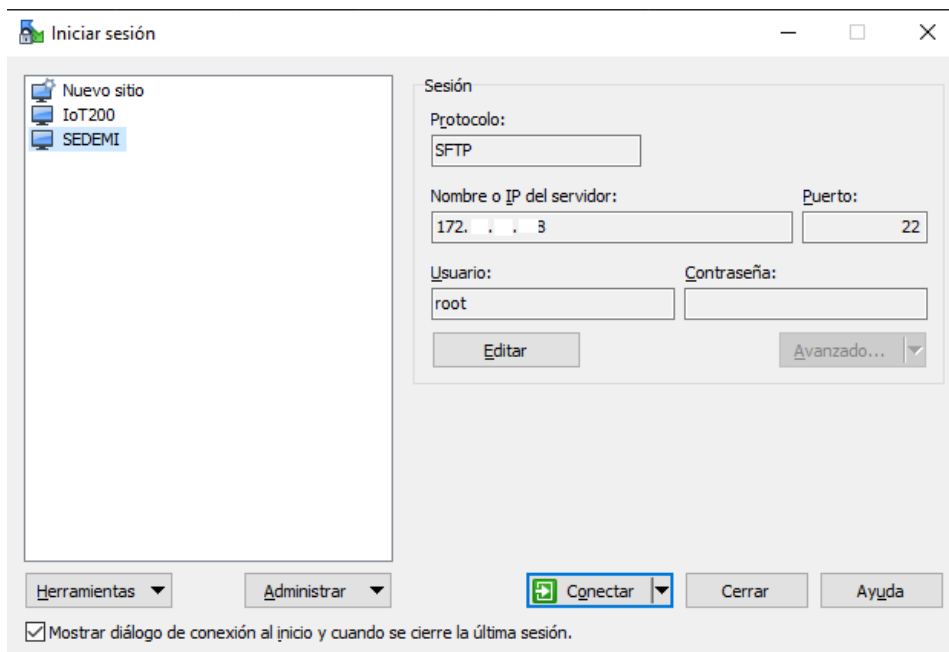
Nota: Elaboración propia

Se confirmará el cambio de direccionamiento IP.

Por medio de la herramienta WinSCP se accede a los registros internos de la pasarela Siemens IoT2040, con ello se procede a validar la información de la puerta de enlace en vista de que este registro se borra al momento de encender la pasarela, por cuestiones de políticas internas se menciona este paso, pero no se muestra el registro, adicional a ello es necesario actualizar y completar los repositorios de descarga para los nodos en vista de que existen paginas proporcionadas por el repositorio GitHub y NMPjs, mismos que se muestran a continuación.

Figura 7

Acceso a los registros internos del IoT2040 por medio del software WinSCP.

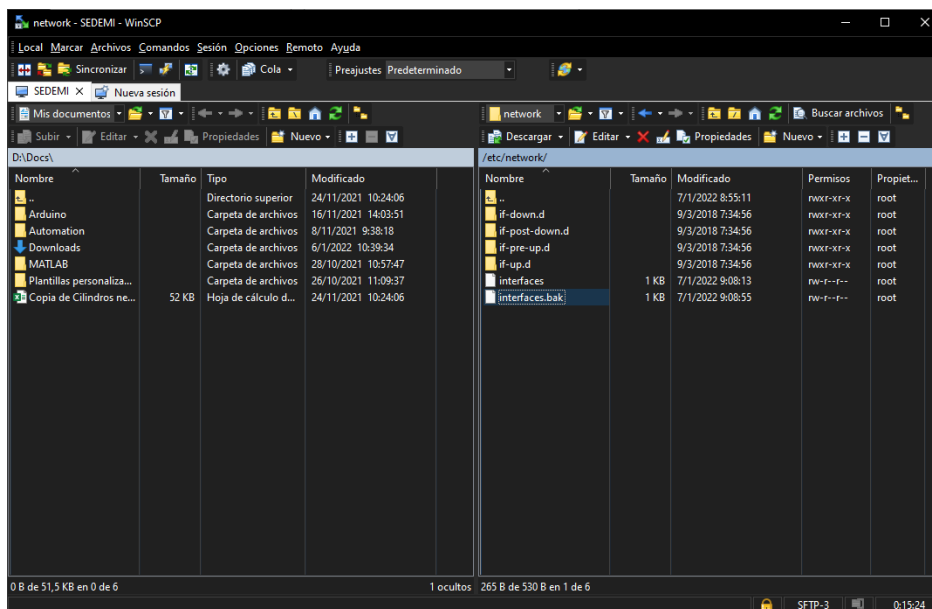


Nota: Elaboración propia

Para la configuración del enlace a la red se modifican los archivos “interfaces” e “interfaces.bak”, que se encuentran en la ruta /etc/network.

Figura 8

Ruta para configuración de archivos del enlace de red.



Nota: Elaboración propia

Como primer paso se modifica el contenido del archivo “interfaces”. Mismo que contiene la dirección IP asignada al dispositivo en caso de que no se haya establecido posterior al cambio con el Putty y de igual forma el archivo “interfaces.bak”.

Figura 9

Configuración del archivo interfaces.

The screenshot shows a text editor window titled '/etc/network/interfaces - SEDEMI - Editor - WinSCP'. The content of the file is as follows:

```
# /etc/network/interfaces -- configuration file for ifup(8), ifdown(8)

# The loopback interface
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
    address 172.1[redacted]
    netmask 255.255.255.0
    gateway 172.1[redacted]

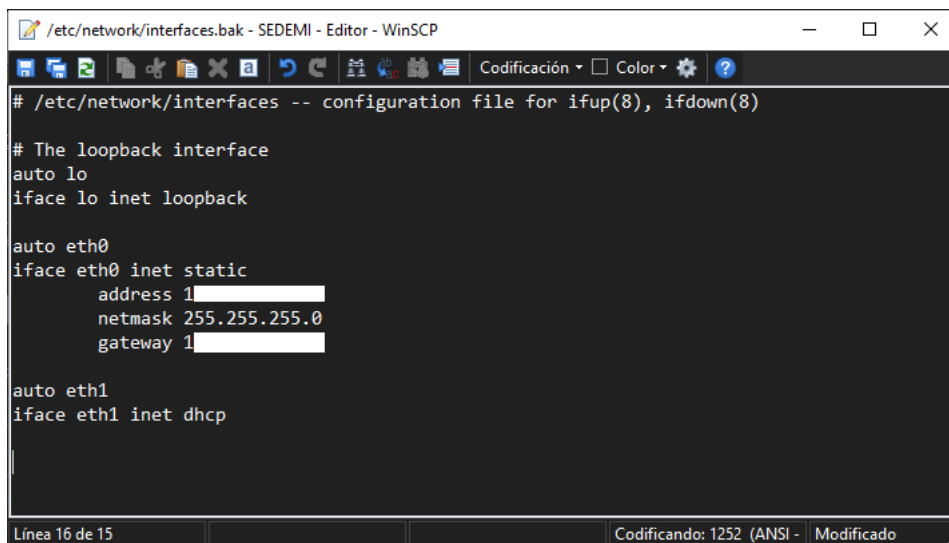
auto eth1
iface eth1 inet dhcp
```

The status bar at the bottom indicates 'Línea 11 de 15', 'Columna 30', and 'Codificando: 1252 (ANSI)'.

Nota: Elaboración propia

Figura 10

Configuración del archivo *interfaces.bak*.



```
# /etc/network/interfaces -- configuration file for ifup(8), ifdown(8)

# The loopback interface
auto lo
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
    address 1
    netmask 255.255.255.0
    gateway 1

auto eth1
iface eth1 inet dhcp
```

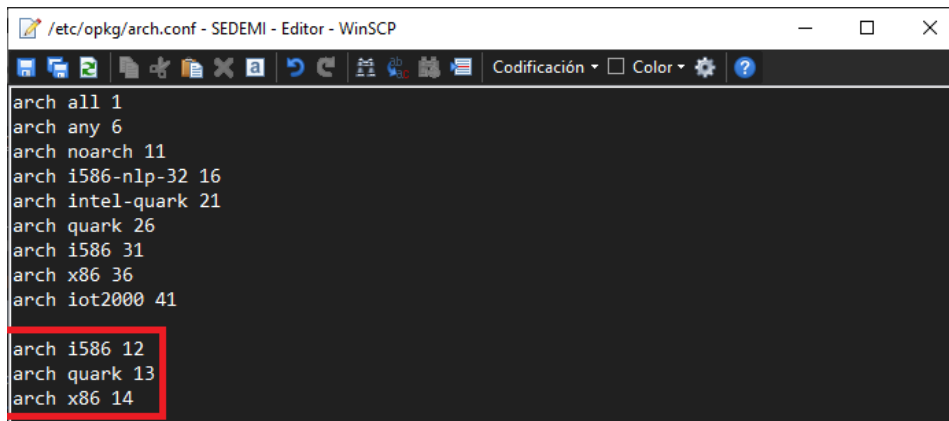
Nota: Elaboración propia

Tras ello se actualizan los archivos con las direcciones de los repositorios para la instalación de nuevos nodos, tanto el archivo “arch.conf” y “opkg.conf”, contenidos en la dirección /etc/opkg.

En el archivo “arch.conf”, se procede con la adición el tipo de archivos que se podrán actualizar como se muestran en la imagen a continuación.

Figura 11

Configuración del archivo *arch.conf*.



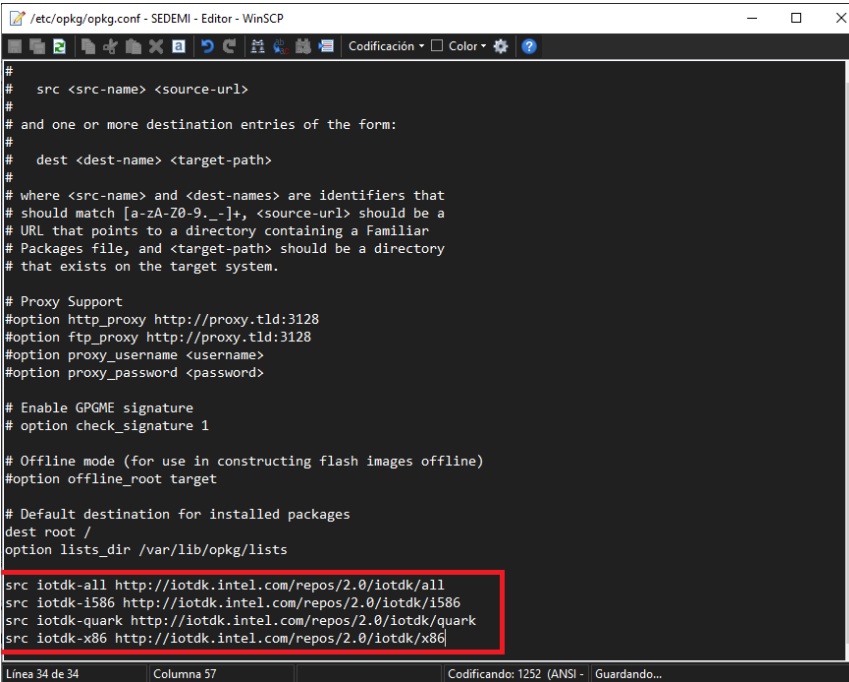
```
arch all 1
arch any 6
arch noarch 11
arch i586-nlp-32 16
arch intel-quark 21
arch quark 26
arch i586 31
arch x86 36
arch iot2000 41
arch i586 12
arch quark 13
arch x86 14
```

Nota: Elaboración propia

Tras ello en el archivo “opkg.conf”, añadimos las fuentes de donde se podrán obtener nodos y actualizaciones, como se indica a continuación.

Figura 12

Configuración del archivo opkg.conf.



```
#
# src <src-name> <source-url>
#
# and one or more destination entries of the form:
#
# dest <dest-name> <target-path>
#
# where <src-name> and <dest-names> are identifiers that
# should match [a-zA-Z0-9._-]+, <source-url> should be a
# URL that points to a directory containing a Familiar
# Packages file, and <target-path> should be a directory
# that exists on the target system.
#
# Proxy Support
#option http_proxy http://proxy.tld:3128
#option ftp_proxy http://proxy.tld:3128
#option proxy_username <username>
#option proxy_password <password>
#
# Enable GPGME signature
# option check_signature 1
#
# Offline mode (for use in constructing flash images offline)
#option offline_root target
#
# Default destination for installed packages
dest root /
option lists_dir /var/lib/opkg/lists

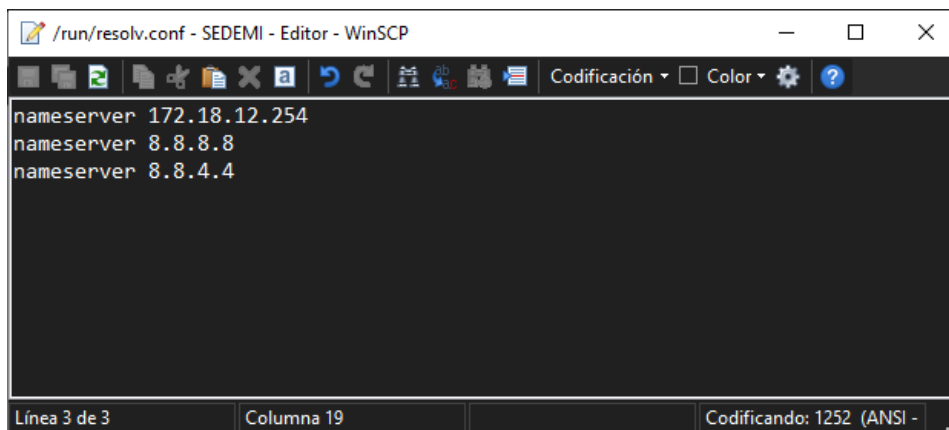
src iotdk-all http://iotdk.intel.com/repos/2.0/iotdk/all
src iotdk-i586 http://iotdk.intel.com/repos/2.0/iotdk/i586
src iotdk-quark http://iotdk.intel.com/repos/2.0/iotdk/quark
src iotdk-x86 http://iotdk.intel.com/repos/2.0/iotdk/x86
```

Nota: Elaboración propia

Tras ello es necesario el acceder al archivo “resolv.conf” en la ubicación /run/, para colocar los nameserver que permitirán el acceso a internet.

Figura 13

Configuración del archivo resolv.conf.

A screenshot of a text editor window titled "/run/resolv.conf - SEDEMI - Editor - WinSCP". The window displays the following content:

```
nameserver 172.18.12.254
nameserver 8.8.8.8
nameserver 8.8.4.4
```

The editor interface includes a toolbar with various icons, a status bar at the bottom showing "Línea 3 de 3", "Columna 19", and "Codificando: 1252 (ANSI - ...)".

Nota: Elaboración propia

Con esto se tendrá lista la pasarela IoT2040 para la instalación de los nodos y actualización de los mismos.

Para poder proceder con la programación adecuada se instala el paquete de nodo necesario para el tratamiento completo del flujo de información el cual es:

- To Float: nodo que nos permitirá la conversión de los datos leídos a valores flotantes de manera que puedan ser visibles con los decimales necesarios, se realiza la instalación por medio del comando: "nodo-rojo-contrib-float" en la versión 1.0.3

Una vez instalados los nodos y actualizaciones necesarias se tiene lista la pasarela Siemens IoT2040 con el entorno Node-RED para la adquisición y tratamiento de datos previo al envío a la nube de Ubidots.

Capítulo IV. Diseño del Sistema de Adquisición y Tratamiento de Datos en Node-RED

RED

Establecimiento de Comunicación TCP entre la pasarela Siemens IoT2040 y el Medidor Sentron PAC3200

Para establecer la comunicación entre la pasarela Siemens IoT2040 y el medidor digital Sentron PAC3200 es necesario el nodo de comunicación Modbus TCP y Serial, en su versión 4.1.3. Por medio de este nodo se ingresa la dirección IP del medidor Sentron PAC3200 y su puerto de comunicación, como se muestra a continuación.

Figura 14

Nodo de comunicación Modbus TCP.



Nota: Elaboración propia

Figura 15

Configuración del nodo Modbus Getter.

La imagen muestra la interfaz de configuración del nodo 'Edit Modbus-Getter node > Edit modbus-client node'. Incluye botones 'Delete', 'Cancel' y 'Update'. La sección 'Properties' contiene los siguientes campos:

- Name: SENTRON PAC3200 220
- Type: TCP
- Host: 172. . . . 6
- Port: 502
- TCP Type: DEFAULT
- Unit-Id: 1
- Timeout (ms): 1000
- Reconnect timeout (ms): 2000
- Log states changes:
- Queue commands:
- Queue delay (ms): 1

Nota: Elaboración propia

Tras esto se configura el registro al que se accederá para obtener la información detallada en la “Tabla 1 Parámetros solicitados por parte de la empresa SEDEMI (SIEMENS, 2008)”, se considera que el registro a acceder es el FC3: Read Holding Registers. En los parámetros comprendidos entre la dirección 1 y la 73, estos 37 valores están almacenados cada uno en dos registros cada una.

Figura 16

Acceso al registro FC3.

Nota: Elaboración propia

Desarrollo del Flujo para Tratamiento de Datos Adquiridos

Tras establecer la comunicación se desarrolla el flujo de función que permitirá el tratamiento de los datos ya que al ser obtenidos de dos registros se debe conformar en una sola variable y dar paso a la conversión de dato en punto flotante.

Se tomará como ejemplo el valor de Voltaje de Línea – Neutro almacenado en la dirección 1 en dos registros es decir se tendrá la información completa de esta variable en los registros 1 y 2, para relacionar estos dos valores se tiene la siguiente ecuación, estos valores tendrán una conversión de decimales a binarios:

Figura 17

Nodo de conversión decimal a binario.

$$L1N = Registro[1] * 65536 + Registro[2] \quad (2.1)$$



Nota: Elaboración propia

Al aplicar la ecuación a todos los valores a leerse se desarrolla un nodo de función como se muestra a continuación tanto para las variables de voltaje, corriente y potencia.

Figura 18

Función para calcular el valor binario de cada variable.

```

Edit function node > JavaScript editor
Cancel Done

1 //-----VOLTAJE-----//
2 //Voltaje de fase
3 var L1N=msg.payload[0]*65536 + msg.payload[1];
4 var L2N=msg.payload[2]*65536 + msg.payload[3];
5 var L3N=msg.payload[4]*65536 + msg.payload[5];
6 //Voltaje de linea
7 var L1L2=msg.payload[6]*65536 + msg.payload[7];
8 var L2L3=msg.payload[8]*65536 + msg.payload[9];
9 var L1L3=msg.payload[10]*65536 + msg.payload[11];
10 //Frecuencia
11 var f=msg.payload[54]*65536 + msg.payload[55];
12 //Armonicos Voltaje
13 var THDRL1=msg.payload[42]*65536 + msg.payload[43];
14 var THDRL2=msg.payload[44]*65536 + msg.payload[45];
15 var THDRL3=msg.payload[46]*65536 + msg.payload[47];
16 //Voltaje medio
17 var VMLN=msg.payload[56]*65536 + msg.payload[57];
18 var VMLL=msg.payload[58]*65536 + msg.payload[59];
19 //Amplitud desfasada Voltaje
20 var ADV=msg.payload[70]*65536 + msg.payload[71];
21 //Vector de salida
22 const voltaje=[L1N,L2N,L3N,L1L2,L2L3,L1L3,f,THDRL1,THDRL2,THDRL3,VMLN,VMLL,ADV];
23
24 //-----CORRIENTE-----//
25 //Corriente de fase
26 var L1=msg.payload[12]*65536 + msg.payload[13];
27 var L2=msg.payload[14]*65536 + msg.payload[15];
28 var L3=msg.payload[16]*65536 + msg.payload[17];
29 //Armonicos de corriente
30 var THDRL1I=msg.payload[48]*65536 + msg.payload[49];
31 var THDRL2I=msg.payload[50]*65536 + msg.payload[51];
32 var THDRL3I=msg.payload[52]*65536 + msg.payload[53];
33 var IMLL=msg.payload[60]*65536 + msg.payload[61];
34 //Amplitud desfasada corriente
35 var ADI=msg.payload[72]*65536 + msg.payload[73];
36 const corriente=[L1,L2,L3,THDRL1I,THDRL2I,THDRL3I,IMLL,ADI];
37

```

```

38 //-----POTENCIA-----//
39 var SL1=msg.payload[18]*65536 + msg.payload[19];
40 var PL1=msg.payload[24]*65536 + msg.payload[25];
41 var QL1=msg.payload[30]*65536 + msg.payload[31];
42 var fpL1=msg.payload[36]*65536 + msg.payload[37];
43
44 var SL2=msg.payload[20]*65536 + msg.payload[21];
45 var PL2=msg.payload[26]*65536 + msg.payload[27];
46 var QL2=msg.payload[32]*65536 + msg.payload[33];
47 var fpL2=msg.payload[38]*65536 + msg.payload[39];
48
49 var SL3=msg.payload[22]*65536 + msg.payload[23];
50 var PL3=msg.payload[28]*65536 + msg.payload[29];
51 var QL3=msg.payload[34]*65536 + msg.payload[35];
52 var fpL3=msg.payload[40]*65536 + msg.payload[41];
53
54 var S=msg.payload[62]*65536 + msg.payload[63];
55 var P=msg.payload[64]*65536 + msg.payload[65];
56 var Q=msg.payload[66]*65536 + msg.payload[67];
57 var fp=msg.payload[68]*65536 + msg.payload[69];
58 const potencia=[SL1,SL2,SL3,S,PL1,PL2,PL3,P,QL1,QL2,QL3,Q,fpL1,fpL2,fpL3,fp];
59
60 msg.payload=[L1N,L2N,L3N,L1L2,L2L3,L1L3,f,THDRL1,THDRL2,THDRL3,VMLN,VMLL,ADV,L1,L2,L3,
61 return msg;

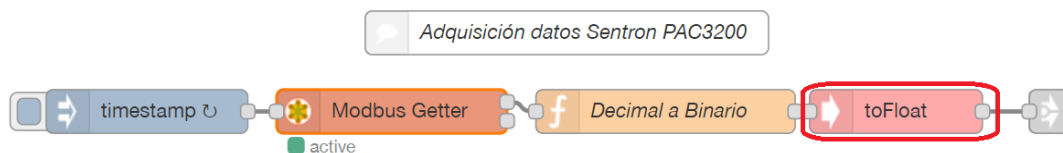
```

Nota: Elaboración propia

Para obtener el valor correspondiente a cada variable se pasan los vectores generados por un nodo de conversión de binario a punto flotante.

Figura 19

Nodo de conversión binario a flotante.



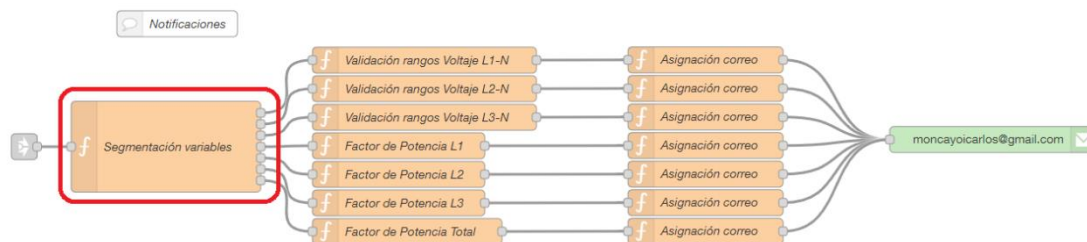
Nota: Elaboración propia

Desarrollo del Flujo de Sistema de Notificación de Eventos por Medio de Correo Electrónico

El personal de mantenimiento requiere tener conocimiento sobre cómo se comporta la alimentación eléctrica, por lo que fue solicitado que se tenga un sistema de notificaciones por medio de correo electrónico para las variaciones de voltaje de línea, factor de potencia por línea y el factor de potencia total. En primer lugar, se segmentan las variables que son necesarias:

Figura 20

Nodo función para segmentación de variables a ser notificadas.



Nota: Elaboración propia

Figura 21

Segmentación de variables para las notificaciones.

Editar función de nodo

Eliminar Cancelar Done

Propiedades

Nombre Segmentación variables

Configuración Función Cerrar

```

1 var L1N=msg.payload[0];
2 var L2N=msg.payload[1];
3 var L3N=msg.payload[2];
4 var fpL1=msg.payload[33];
5 var fpL2=msg.payload[34];
6 var fpL3=msg.payload[35];
7 var fp=msg.payload[36];
8
9 msg1={
10   payload:L1N
11 ^ };
12 msg2={
13   payload:L2N
14 ^ };
15 msg3={
16   payload:L3N
17 ^ };
18 msg4={
19   payload:fpL1
20 ^ };
21 msg5={
22   payload:fpL2
23 ^ };
24 msg6={
25   payload:fpL3
26 ^ };
27 msg7={
28   payload:fp
29 ^ };
30 return [msg1,msg2,msg3,msg4,msg5,msg6,msg7];

```

Salidas 7

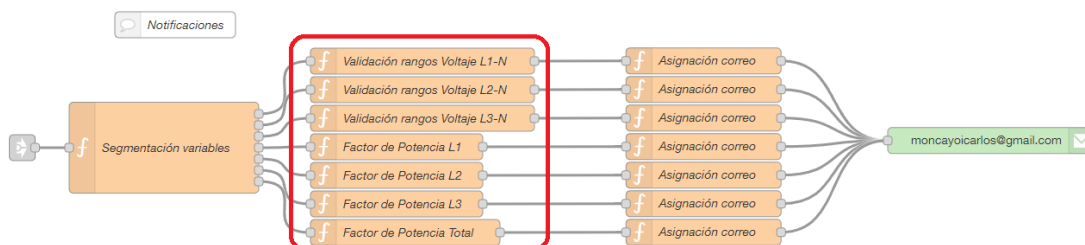
Activado

Nota: Elaboración propia

Para brindar estas notificaciones es necesario un nodo de función para validar el rango dentro del cual se considerará como normales a las fluctuaciones existentes, en el voltaje se permitirá un valor del 8% y para el factor de potencia se debe considerar valores menores a 0.92 como se rige en la normativa ecuatoriana.

Figura 22

Asignación de límites admisibles para las variables eléctricas.



Nota: Elaboración propia

Donde el valor permitido para voltaje de Línea – Neutro, los valores permitidos serán obtenidos mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_{L-N \text{ máx}} = 1.08 * \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (2.2)$$

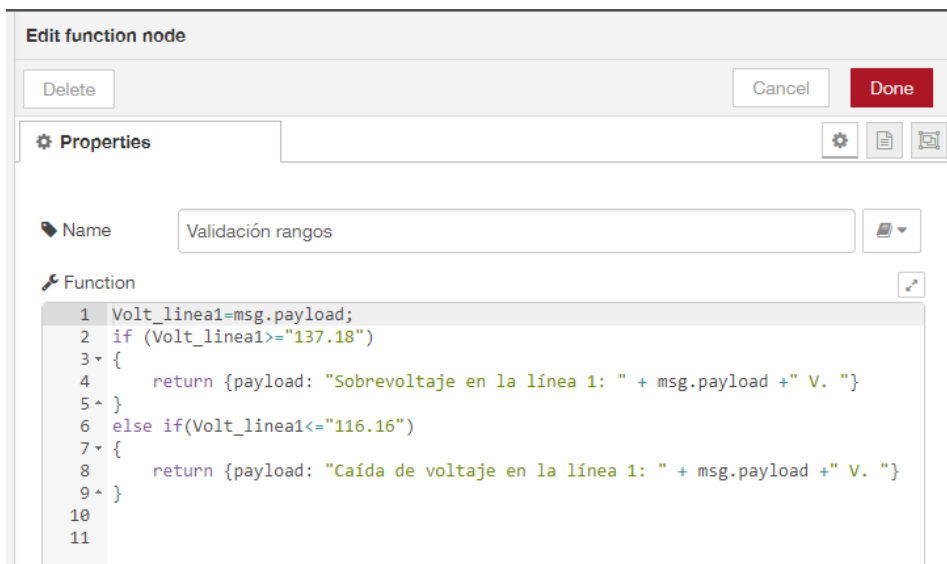
$$V_{L-N \text{ mín}} = 0.92 * \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

En base a ello, el voltaje máximo y mínimo permitido son 137.18 V y 116.16 V respectivamente.

Valores que conforman los límites del rango permitido por la Regulación ARCONEL 005/18 para variaciones dentro de una red de bajo voltaje.

Figura 23

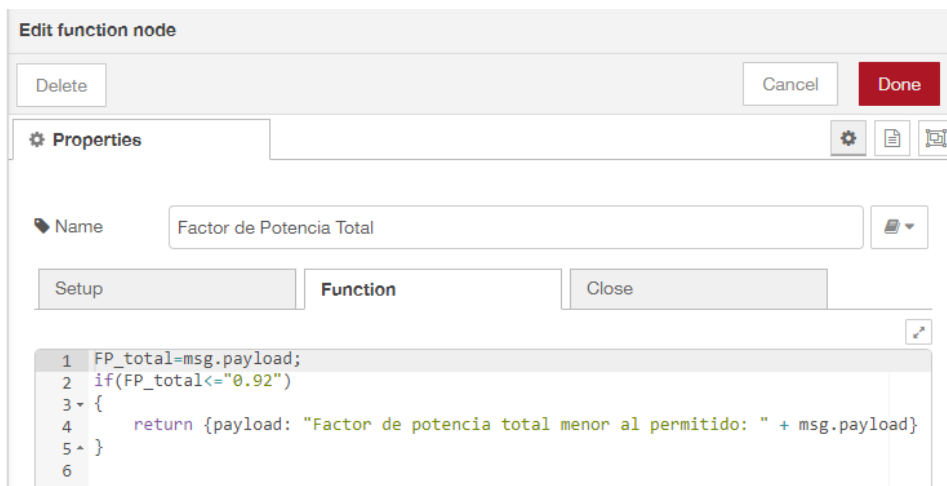
Asignación de mensaje de notificación de voltaje.



Nota: Elaboración propia

Figura 24

Asignación de mensaje de notificación de factor de potencia.

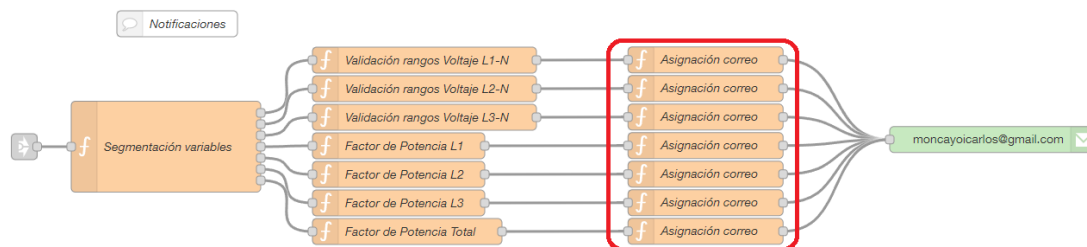


Nota: Elaboración propia

Posteriormente se debe realizar la asignación de asunto y fecha/tiempo para el correo correspondiente que se genera con cada variación detectada.

Figura 25

Asignación de asunto y fecha/tiempo.

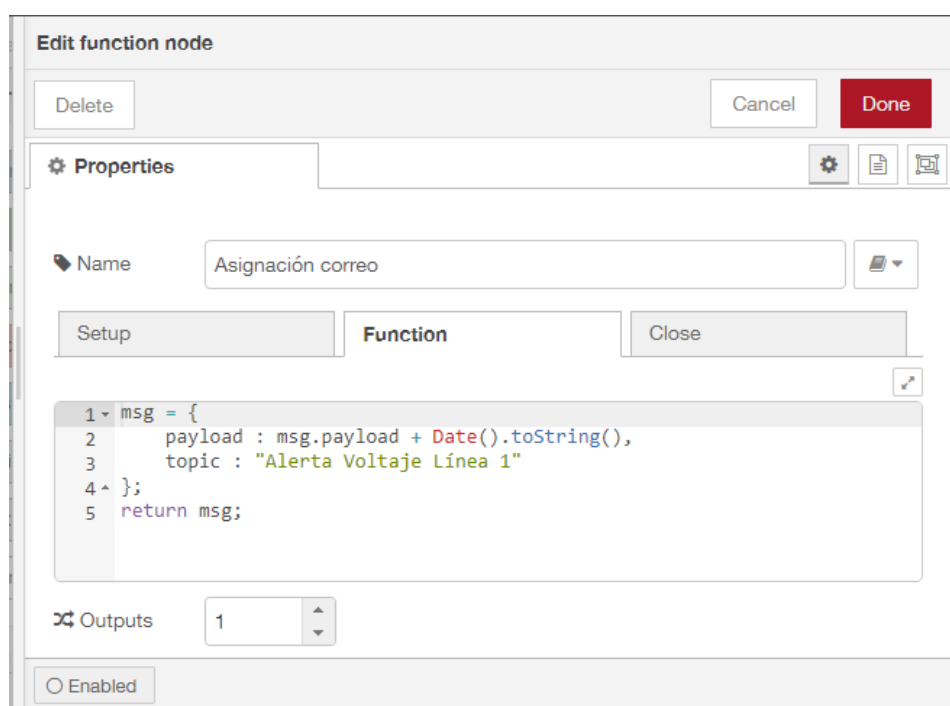


Nota: Elaboración propia

Dentro de esta función se desarrolla el siguiente comando.

Figura 26

Función de asignación de asunto y fecha/tiempo.

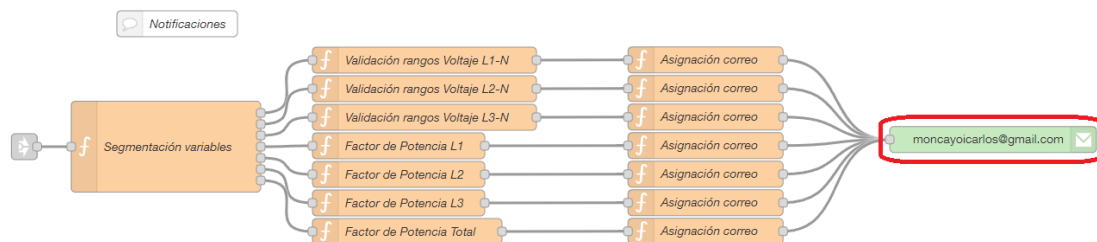


Nota: Elaboración propia

Detallados los datos correspondientes para cada alerta por correo electrónico se configura el nodo de envío.

Figura 27

Nodo de envío de correo electrónico.



Nota: Elaboración propia

Figura 28

Personal destinatario en el sistema de notificaciones.

Nota: Elaboración propia

Los datos serán enviados al personal responsable de mantenimiento:

- Danilo Guayasamin – Coordinador de Mantenimiento.
- Danilo Vicente – Especialista Eléctrico.
- Jaime Vargas – Analista Eléctrico.

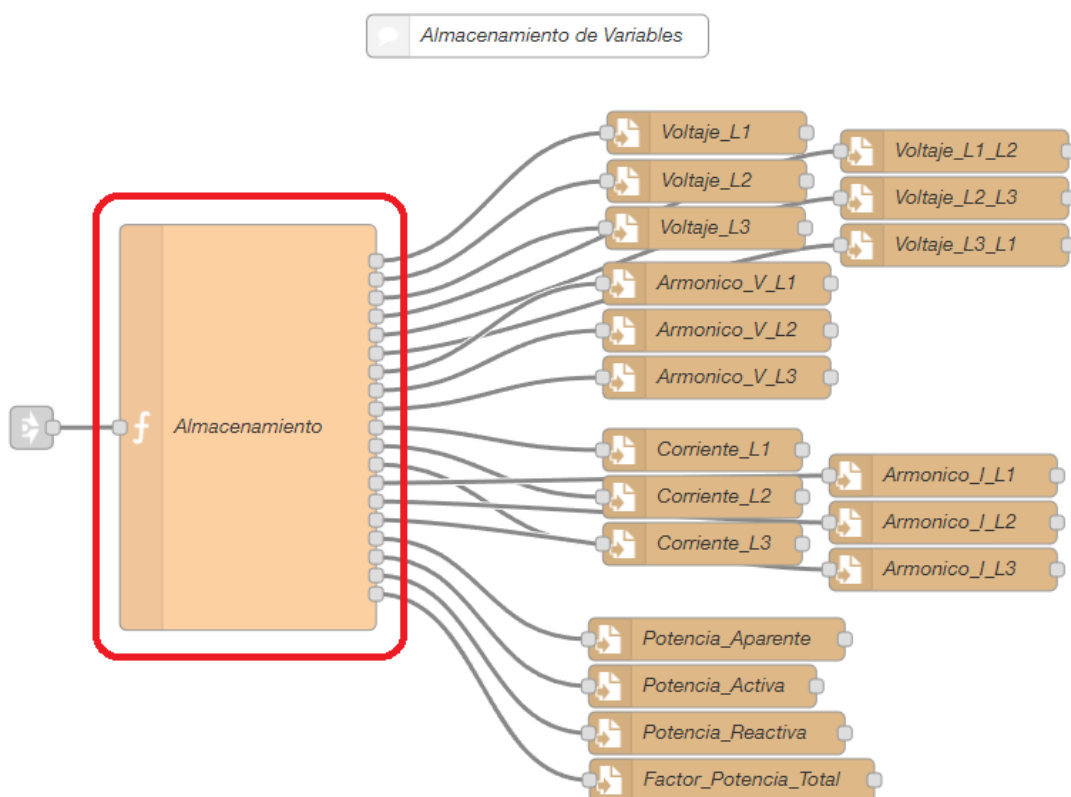
Desarrollo de Flujo para el Almacenamiento Local de Variables

Para el almacenamiento de variables se utilizará un nodo de función para segmentar los datos requeridos para históricos solicitados por el personal de mantenimiento, la segmentación es la siguiente:

- Voltaje:
 - Voltajes Línea – Neutro
 - Voltajes Línea – Línea
 - Armónicos de voltaje
- Corriente:
 - Corrientes de Línea
 - Armónicos de corriente
- Potencia:
 - Potencia Aparente.
 - Potencia Activa.
 - Potencia Reactiva.
 - Factor de potencia total.

Figura 29

Segmentación de datos destinados para almacenamiento.



Nota: Elaboración propia

Figura 30

Función de segmentación para el almacenamiento de datos.

```

1 //-----VOLTAJE-----//
2 var L1N=msg.payload[0];
3 var L2N=msg.payload[1];
4 var L3N=msg.payload[2];
5 var L1L2=msg.payload[3];
6 var L2L3=msg.payload[4];
7 var L1L3=msg.payload[5];
8 var THDRL1=msg.payload[7];
9 var THDRL2=msg.payload[8];
10 var THDRL3=msg.payload[9];
11 //-----CORRIENTE-----//
12 var L1=msg.payload[13];
13 var L2=msg.payload[14];
14 var L3=msg.payload[15];
15 var THDRL1I=msg.payload[16];
16 var THDRL2I=msg.payload[17];
17 var THDRL3I=msg.payload[18];
18 //-----POTENCIA-----//
19 var S=msg.payload[24];
20 var P=msg.payload[28];
21 var Q=msg.payload[32];
22 var fp=msg.payload[36];
23 //-----ALMACENAMIENTO VOLTAJE-----//
24 msg1={
25   payload:L1N+" "+Date().toString()
26 };
27 msg2={
28   payload:L2N+" "+Date().toString()
29 };
30 msg3={
31   payload:L3N+" "+Date().toString()
32 };
33 msg4={
34   payload:L1L2+" "+Date().toString()
35 };
36 msg5={
37   payload:L2L3+" "+Date().toString()
38 };
39 msg6={
40   payload:L1L3+" "+Date().toString()
41 };
42 msg7={
43   payload:THDRL1+" "+Date().toString()
44 };
45 msg8={
46   payload:THDRL2+" "+Date().toString()
47 };
48 msg9={
49   payload:THDRL3+" "+Date().toString()
50 };
51 //-----ALMACENAMIENTO CORRIENTE-----//
52 msg10={
53   payload:L1+" "+Date().toString()
54 };
55 msg11={
56   payload:L2+" "+Date().toString()
57 };
58 msg12={
59   payload:L3+" "+Date().toString()
60 };
61 msg13={
62   payload:THDRL1I+" "+Date().toString()
63 };
64 msg14={
65   payload:THDRL2I+" "+Date().toString()
66 };
67 msg15={
68   payload:THDRL3I+" "+Date().toString()
69 };
70 //-----ALMACENAMIENTO POTENCIA-----//
71 msg16={
72   payload:S+" "+Date().toString()
73 };
74 msg17={
75   payload:P+" "+Date().toString()
76 };
77 msg18={
78   payload:Q+" "+Date().toString()
79 };
80 msg19={
81   payload:fp+" "+Date().toString()
82 };
83
84 return [msg1,msg2,msg3,msg4,msg5,msg6,msg7,msg8,msg9,msg10,msg11,msg12,msg13,msg14,msg15,msg16,msg17,msg18,msg19];

```

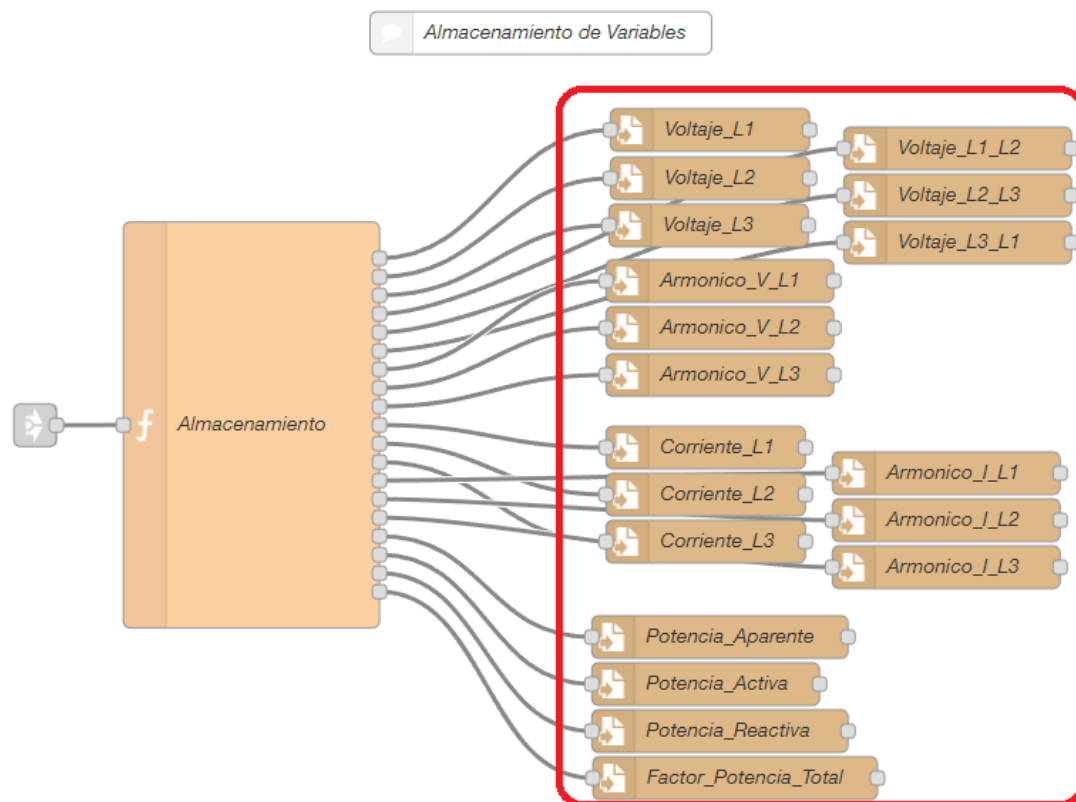
Nota: Elaboración propia

Se crean archivos dentro de un directorio en la raíz del IoT2040 Siemens.

Para voltaje “/Historicos/Voltaje”, para corriente “/Historicos/Corriente” y para potencia “/Historicos/Potencia”, por medio de los siguientes nodos.

Figura 31

Direccionamiento para almacenamiento de variables.



Nota: Elaboración propia

Figura 32

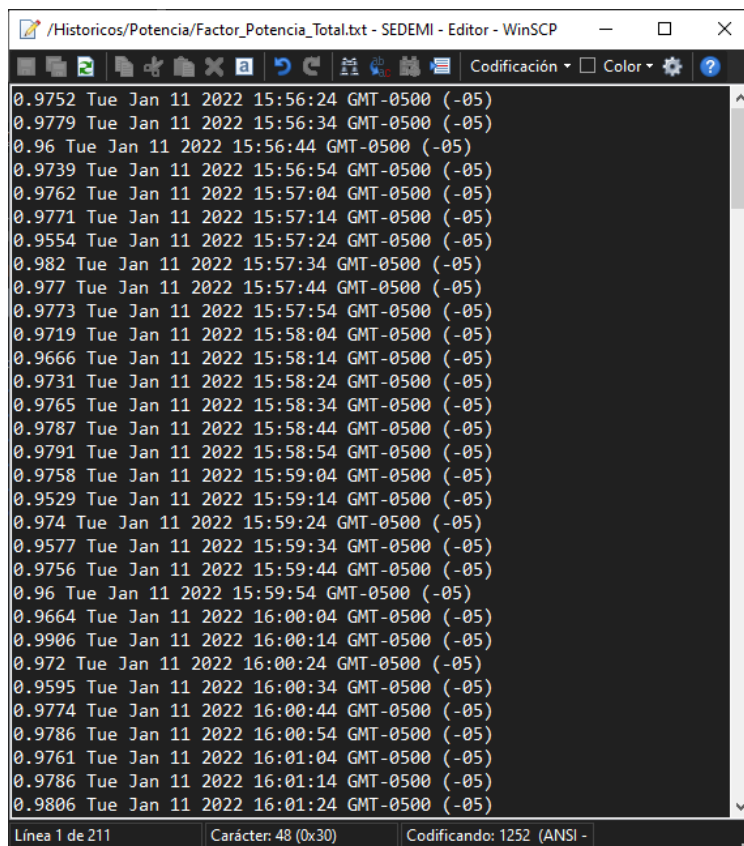
Localización de datos almacenados.

/Historicos/				
Nombre	Tamaño	Modificado	Permisos	Propiet...
..		11/1/2022 15:50:22	rwxr-xr-x	root
Corriente		11/1/2022 15:52:54	rwxr-xr-x	root
Potencia		11/1/2022 15:52:54	rwxr-xr-x	root
Voltaje		11/1/2022 15:52:54	rwxr-xr-x	root

Nota: Elaboración propia

Figura 33

Directorio con datos almacenados correspondientes al FP total.



```
/Historicos/Potencia/Factor_Potencia_Total.txt - SEDEMI - Editor - WinSCP
Codificación Color
0.9752 Tue Jan 11 2022 15:56:24 GMT-0500 (-05)
0.9779 Tue Jan 11 2022 15:56:34 GMT-0500 (-05)
0.96 Tue Jan 11 2022 15:56:44 GMT-0500 (-05)
0.9739 Tue Jan 11 2022 15:56:54 GMT-0500 (-05)
0.9762 Tue Jan 11 2022 15:57:04 GMT-0500 (-05)
0.9771 Tue Jan 11 2022 15:57:14 GMT-0500 (-05)
0.9554 Tue Jan 11 2022 15:57:24 GMT-0500 (-05)
0.982 Tue Jan 11 2022 15:57:34 GMT-0500 (-05)
0.977 Tue Jan 11 2022 15:57:44 GMT-0500 (-05)
0.9773 Tue Jan 11 2022 15:57:54 GMT-0500 (-05)
0.9719 Tue Jan 11 2022 15:58:04 GMT-0500 (-05)
0.9666 Tue Jan 11 2022 15:58:14 GMT-0500 (-05)
0.9731 Tue Jan 11 2022 15:58:24 GMT-0500 (-05)
0.9765 Tue Jan 11 2022 15:58:34 GMT-0500 (-05)
0.9787 Tue Jan 11 2022 15:58:44 GMT-0500 (-05)
0.9791 Tue Jan 11 2022 15:58:54 GMT-0500 (-05)
0.9758 Tue Jan 11 2022 15:59:04 GMT-0500 (-05)
0.9529 Tue Jan 11 2022 15:59:14 GMT-0500 (-05)
0.974 Tue Jan 11 2022 15:59:24 GMT-0500 (-05)
0.9577 Tue Jan 11 2022 15:59:34 GMT-0500 (-05)
0.9756 Tue Jan 11 2022 15:59:44 GMT-0500 (-05)
0.96 Tue Jan 11 2022 15:59:54 GMT-0500 (-05)
0.9664 Tue Jan 11 2022 16:00:04 GMT-0500 (-05)
0.9906 Tue Jan 11 2022 16:00:14 GMT-0500 (-05)
0.972 Tue Jan 11 2022 16:00:24 GMT-0500 (-05)
0.9595 Tue Jan 11 2022 16:00:34 GMT-0500 (-05)
0.9774 Tue Jan 11 2022 16:00:44 GMT-0500 (-05)
0.9786 Tue Jan 11 2022 16:00:54 GMT-0500 (-05)
0.9761 Tue Jan 11 2022 16:01:04 GMT-0500 (-05)
0.9786 Tue Jan 11 2022 16:01:14 GMT-0500 (-05)
0.9806 Tue Jan 11 2022 16:01:24 GMT-0500 (-05)
Línea 1 de 211 Carácter: 48 (0x30) Codificando: 1252 (ANSI -
```

Nota: Elaboración propia

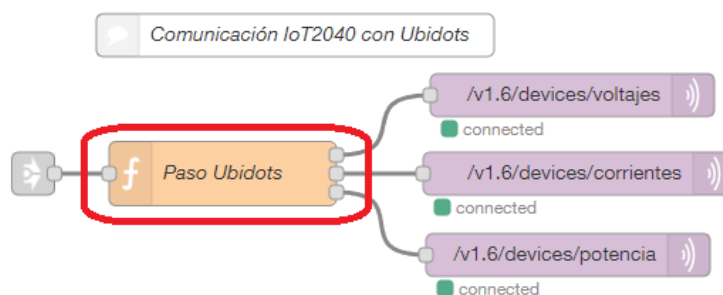
Desarrollo de Comunicación entre Node-Red y la Nube de Ubidots

La comunicación para el envío de los datos adquiridos a la nube de Ubidots, se utiliza un nodo de comunicación MQTT, mismo que al configurar los datos del token se hace el envío por medio de distintos dispositivos, mismos que son:

- Voltajes
- Corrientes
- Potencia

Figura 34

Nodo de configuración para concatenado de datos JSON.



Nota: Elaboración propia

El nodo de función debe ser configurado para asignar un nombre a cada variable a ser enviada y separadas por vectores que irán a cada uno de los dispositivos acorde a su correspondencia.

Figura 35

Asignación de mensaje de notificación de voltaje.

```

Edit function node > JavaScript editor
-----VOLTAJE-----//
1 //-----VOLTAJE-----//
2 var L1N=msg.payload[0];
3 var L2N=msg.payload[1];
4 var L3N=msg.payload[2];
5 var L1L3=msg.payload[3];
6 var L2L3=msg.payload[4];
7 var L1L3=msg.payload[5];
8 var f=msg.payload[6];
9 var THDRL1=msg.payload[7];
10 var THDRL2=msg.payload[8];
11 var THDRL3=msg.payload[9];
12 var VMLN=msg.payload[10];
13 var VMLL=msg.payload[11];
14 var ADV=msg.payload[12];
15 //-----CORRIENTE-----//
16 var L1=msg.payload[13];
17 var L2=msg.payload[14];
18 var L3=msg.payload[15];
19 var THDRL1I=msg.payload[16];
20 var THDRL2I=msg.payload[17];
21 var THDRL3I=msg.payload[18];
22 var IMLL=msg.payload[19];
23 var ADI=msg.payload[20];
24 //-----POTENCIA-----//
25 var SL1=msg.payload[21];
26 var SL2=msg.payload[22];
27 var SL3=msg.payload[23];
28 var S=msg.payload[24];
29 var PL1=msg.payload[25];
30 var PL2=msg.payload[26];
31 var PL3=msg.payload[27];
32 var P=msg.payload[28];
33 var QL1=msg.payload[29];
34 var QL2=msg.payload[30];
35 var QL3=msg.payload[31];
36 var Q=msg.payload[32];
37 var fPL1=msg.payload[33];
38 var fPL2=msg.payload[34];
39 var fPL3=msg.payload[35];
40 var fp=msg.payload[36];
41 msg1={
42   payload:{"L1-N":L1N,"L2-N":L2N,"L3-N":L3N,"L1-L2":L1L2,"L2-L3":L2L3,"L1-L3":L1L3,"Frecuencia":f,"THDR L1":THDRL1,"THDR L2":THDRL2,"THDR L3":THDRL3,"V_medio_L-N":VMLN,"V_medio_L-L":VMLL,"De
43   "};
44   msg2={
45     payload:{"L1":L1,"L2":L2,"L3":L3,"THDR L1":THDRL1I,"THDR L2":THDRL2I,"THDR L3":THDRL3I,"I_medio_L-L":IMLL,"Desbalance":ADI}
46   };
47   msg3={
48     payload:{"P_Aparente_L1":SL1,"P_Aparente_L2":SL2,"P_Aparente_L3":SL3,"P_Aparente_T":S,"P_Activa_L1":PL1,"P_Activa_L2":PL2,"P_Activa_L3":PL3,"P_Activa_T":P,"P_Reactiva_L1":QL1,"P_Reactiva_L
49   };
50   };
51   return [msg1,msg2,msg3];

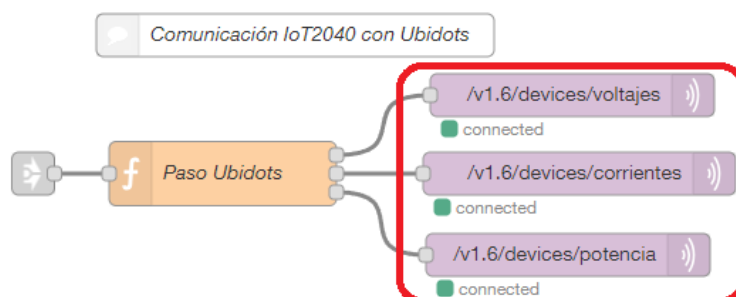
```

Nota: Elaboración propia

Tras ello se configura el nodo MQTT para el envío de los datos a la nube de Ubidots.

Figura 36

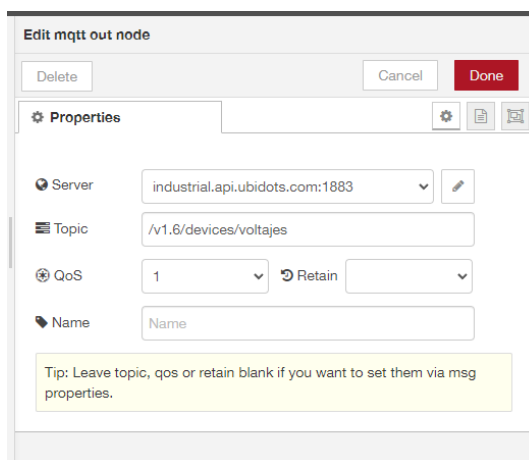
Direccionamiento por dispositivo hacia la nube de Ubidots.



Nota: Elaboración propia

Figura 37

Ejemplo de configuración de nodo MQTT para variables de voltaje.



Nota: Elaboración propia

Figura 38

Configuración direccionamiento al servidor de Ubidots.

The screenshot shows the configuration window for an MQTT broker node. The 'Connection' tab is selected, displaying the following settings:

- Name:** [Empty text field]
- Server:** industrial.api.ubidots.com
- Port:** 1883
- Client ID:** Leave blank for auto generated
- Keep alive time (s):** 60
- Use clean session:**
- Use legacy MQTT 3.1 support:**

At the bottom, it indicates '3 nodes use this config' and 'On all flows'.

Nota: Elaboración propia

Figura 39

Asignación de identificador TOKEN para la aplicación de SEDEMI S.C.C.

The screenshot shows the configuration window for an MQTT broker node, with the 'Security' tab selected. The following settings are visible:

- Username:** B 4Vsmf iQe
- Password:** [Empty text field]

At the bottom, it indicates '3 nodes use this config' and 'On all flows'.

Nota: Elaboración propia

Desarrollo de paneles HMI de Monitoreo en Ubidots










Los paneles desarrollados en la plataforma Ubidots muestran las variables que requieren de un monitoreo a tiempo de históricos con una tasa de actualización de 5 segundos acorde a lo solicitado por el personal de mantenimiento. Esto debido a que la implementación de correcciones se las hará tras un análisis quincenal o mensual, pero bajo las notificaciones recibidas por correo se podrá tener un análisis en las gráficas del HMI en cuanto a cómo se ha comportado la red y si algún dispositivo que se haya

conectado durante ese tiempo pudo afectar el sistema eléctrico, la ventaja está en el poder operar bajo distintos rangos de tiempo.

Dentro de esta plataforma se cuenta con el apartado de dispositivos, donde se cuentan con los tres creados a partir del Node-RED, Voltajes, Corrientes y Potencia con sus correspondientes variables.

Figura 40

Dispositivos de almacenamiento en servidor de Ubidots.

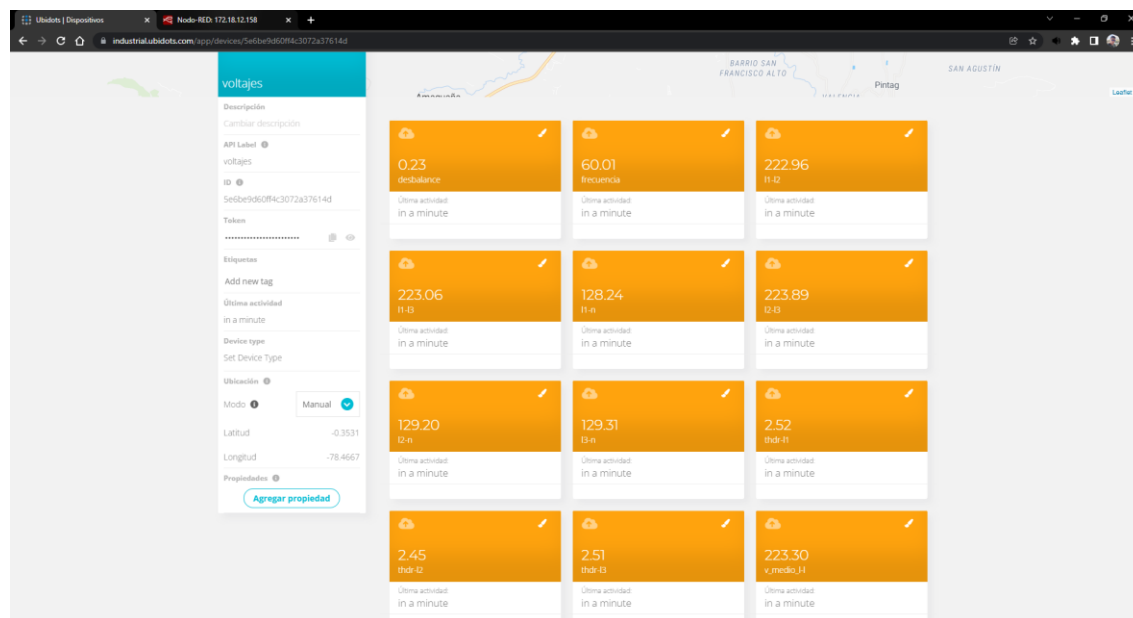
	potencia	in 2 minutes	2020-03-13 16:32:59 -05:00	ESPE -SEDEMI	 
	corrientes	in 2 minutes	2020-03-13 16:18:43 -05:00	ESPE -SEDEMI	 
	voltajes	in 2 minutes	2020-03-13 15:15:18 -05:00	ESPE -SEDEMI	 

Nota: Elaboración propia

Dentro de cada dispositivo vamos a encontrar las variables correspondientes.

Figura 41

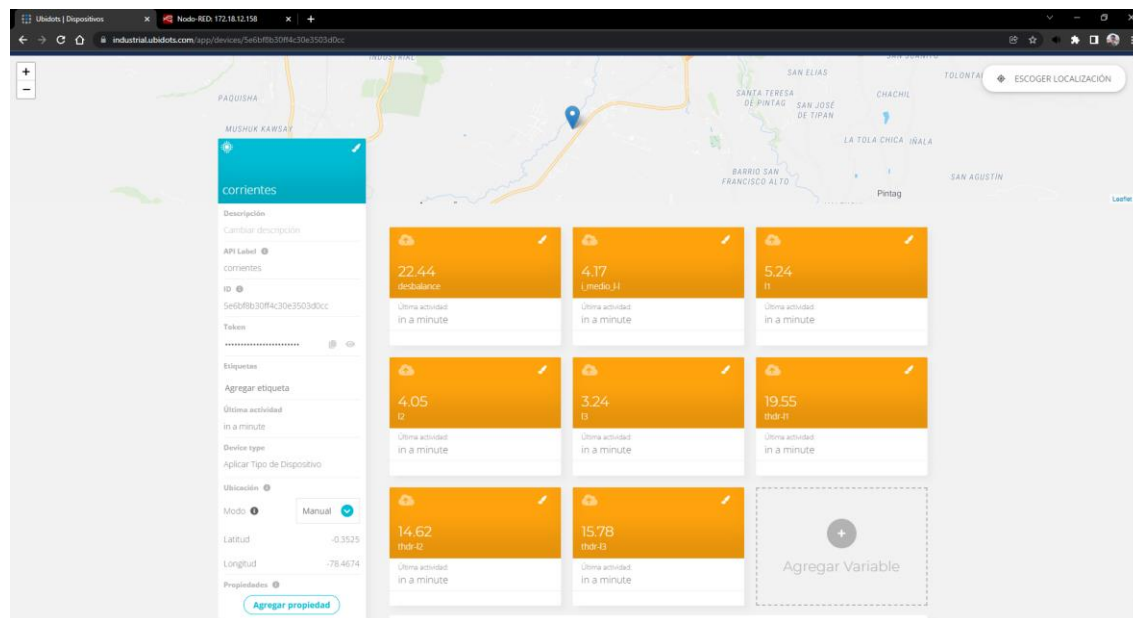
Variables de monitoreo correspondientes al voltaje.



Nota: Elaboración propia

Figura 42

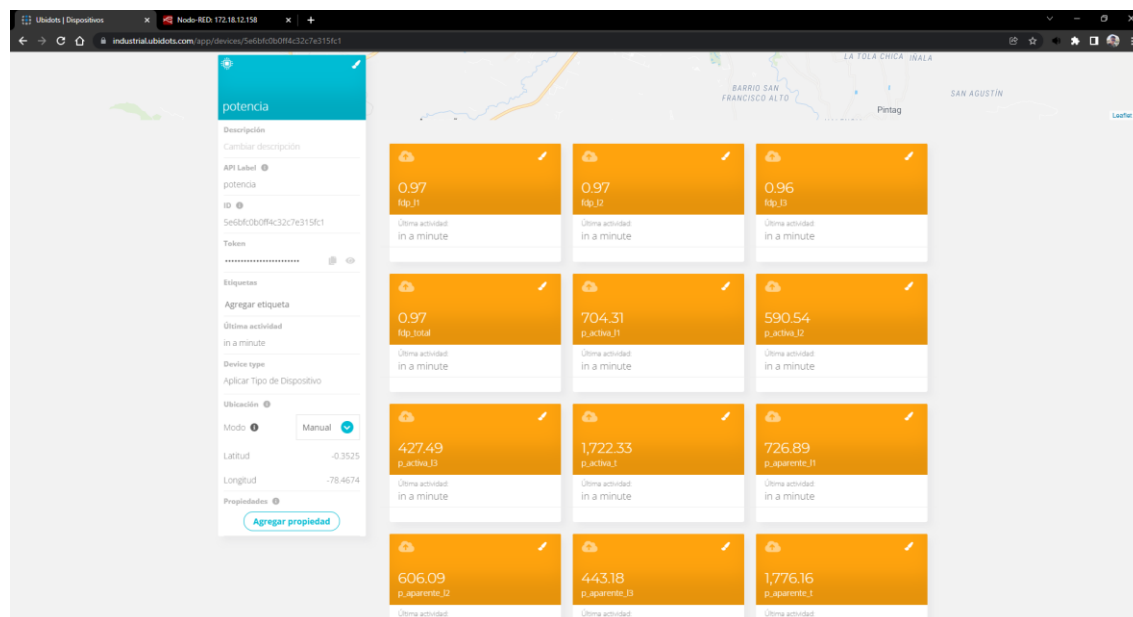
Variables de monitoreo correspondientes a la corriente.



Nota: Elaboración propia

Figura 43

Variables de monitoreo correspondientes a la potencia.



Nota: Elaboración propia

Las variables ligadas a cada dispositivo serán expresadas por medio de indicadores y medidores que puedan relacionar las mismas y permitan tener un mejor entendimiento de su comportamiento al paso del tiempo. Cada panel es desarrollado por dispositivo (variable Voltaje, Corriente y Potencia), sus componentes se describen en las Tabla 7, Tabla 8 y

Tabla 9 respectivamente.

- Panel de Voltajes.

Figura 44

Panel HMI para visualización de variables de voltaje.



Nota: Elaboración propia

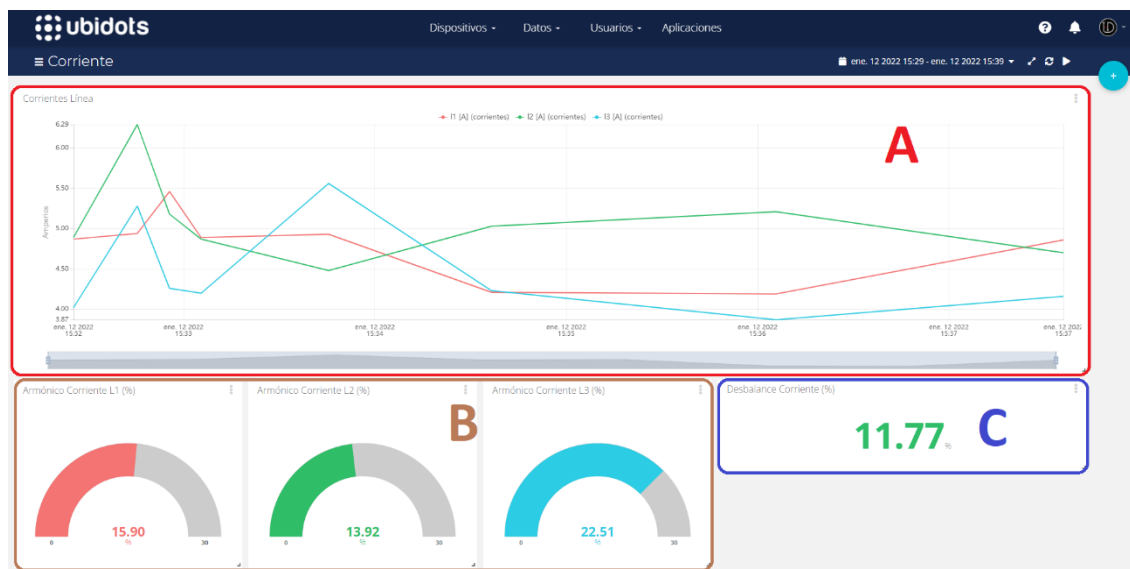
Tabla 7*Descripción de indicadores y medidores del panel de voltaje*

Indicador	Descripción
A	Voltajes Línea - Neutro
B	Voltajes Línea - Línea
C	Armónicos de voltaje
D	Desbalance de voltaje
E	Frecuencia
F	Voltaje medio Línea - Línea

Nota: Elaboración propia

- Panel de Corrientes

Figura 45*Panel HMI para visualización de variables de corriente.*



Nota: Elaboración propia

Tabla 8

Descripción de indicadores y medidores del panel de corriente

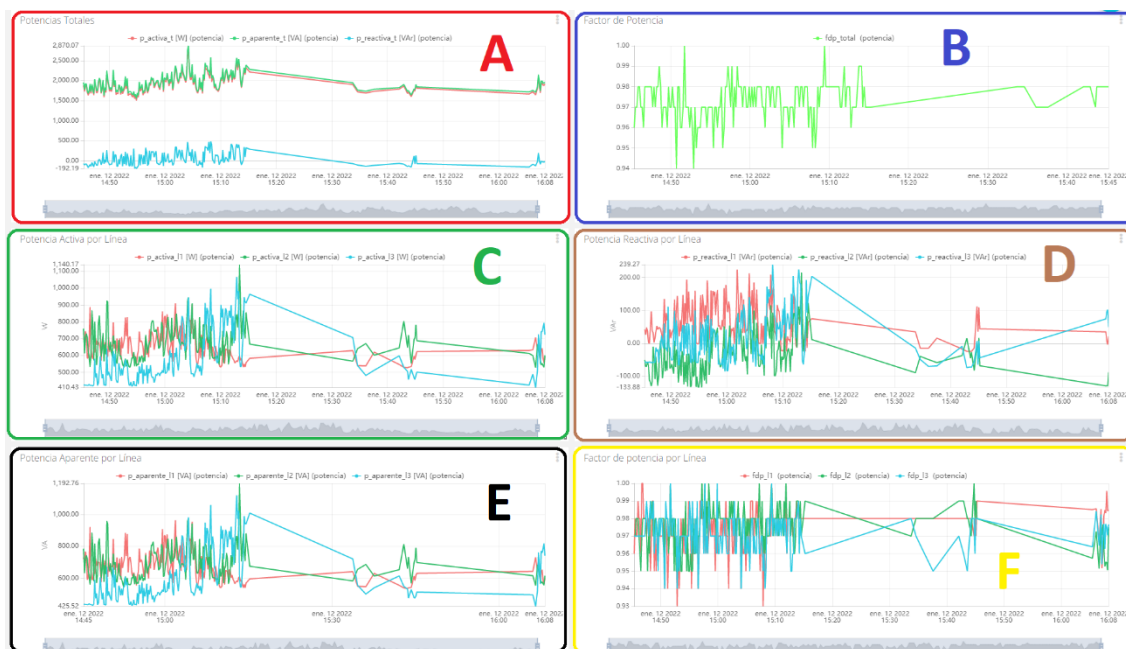
Indicador	Descripción
A	Corrientes de Línea
B	Armónicos de corriente
C	Desbalance de corriente

Nota: Elaboración propia

- Panel de Potencias

Figura 46

Panel HMI para visualización de variables de potencia.



Nota: Elaboración propia

Tabla 9

Descripción de indicadores y medidores del panel de potencia

Indicador	Descripción
A	Potencias totales: Activa, Aparente, Reactiva
B	Factor de potencia Total
C	Potencia Activa por Línea
D	Potencia Reactiva por Línea
E	Potencia Aparente por Línea
F	Factor de potencia por Línea

Nota: Elaboración propia

Capítulo V. Escenario de Prueba y Elaboración de Documentación

El funcionamiento del sistema puede ser verificado con el acceso al servidor de Ubidots en el link: <https://medidoriotstedemi.iot.ubidots.com/accounts/signin/>, se tiene como credenciales de acceso:

- Nombre de Usuario: tesis_moncayo
- Contraseña: tesis

De igual manera se puede evidenciar el funcionamiento en video en el siguiente link:

YouTube: https://youtu.be/xqq6ffMJj_A

Drive:

<https://drive.google.com/file/d/1KrsiQ0MdbpdrkXaWBGsL8QFpnH1wnveZ/view?usp=sharing>

Pruebas

Los resultados de las pruebas se evidenciarán tres meses, estos son analizados por medio de un Excel a manera de base de datos ya que se cuenta con los archivos planos que contienen información almacenada, se desarrolla en base a las variables que presentan mayor índice de incidencias dentro de la alimentación tales como son (solicitadas por el personal de mantenimiento):

- Para voltaje:
 - Voltajes de Línea - Neutro.
 - Voltejes Línea – Línea.
 - Armónicos de voltaje.

- Para corriente:
 - Corrientes de Línea.
 - Armónicos de corriente.
- Para potencia:
 - Factor de Potencia Total.
 - Potencia Activa Total.
 - Potencia Reactiva Total.
 - Potencia Aparente Total.

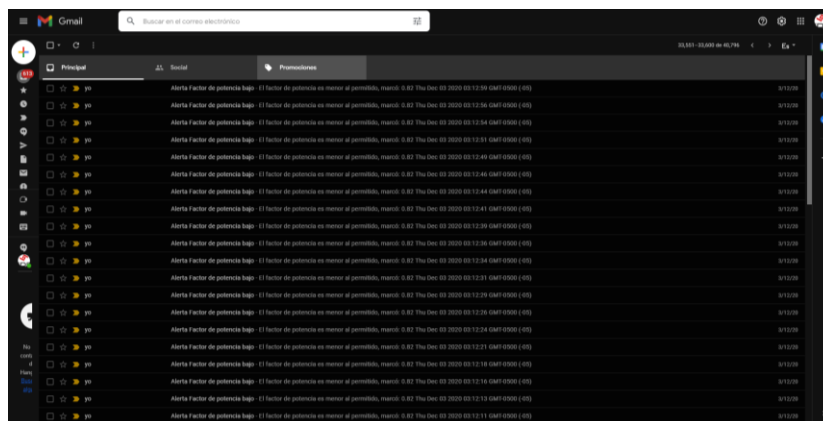
Notificación en caso de eventos

En caso de presentarse un evento a ser notificado como son:

- Voltajes de Línea – Neutro fuera del rango comprendido entre 116.16V y 137.18V.
- Factor de potencia por Línea y Total menor al 0.92

Figura 47

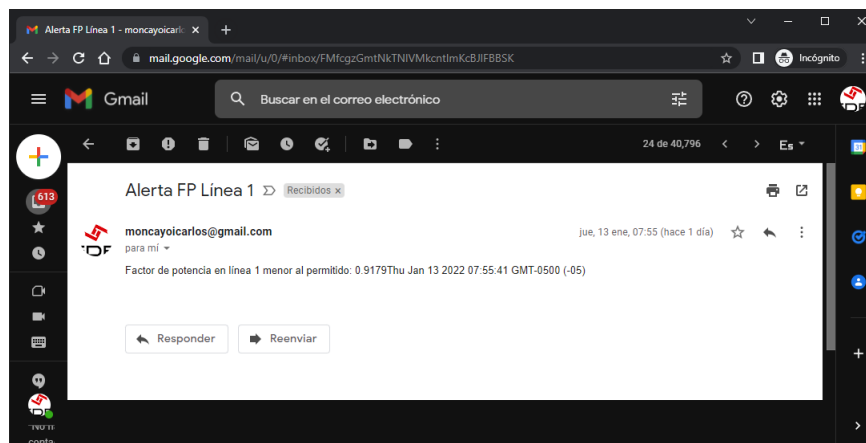
Notificaciones al correo de prueba para notificaciones.



Nota: Elaboración propia

Figura 48

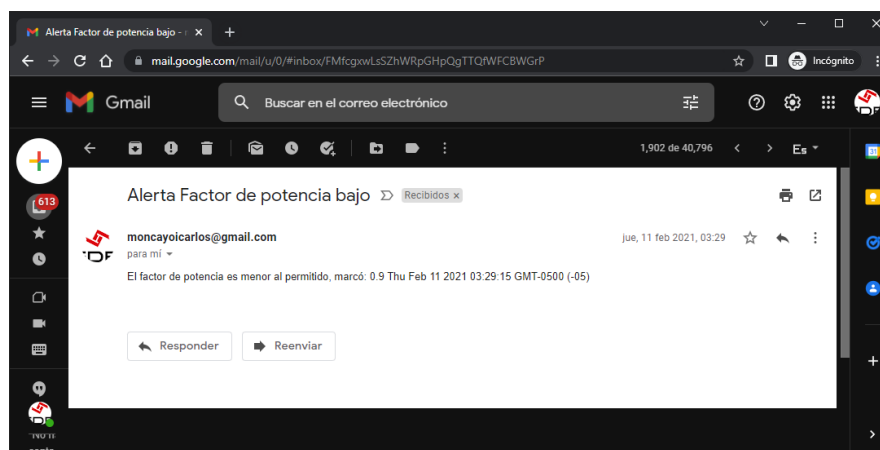
Notificación para alerta de un bajo factor de potencia en la línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 49

Notificación para alerta de un bajo factor de potencia total.



Nota: Elaboración propia

Análisis de Resultados

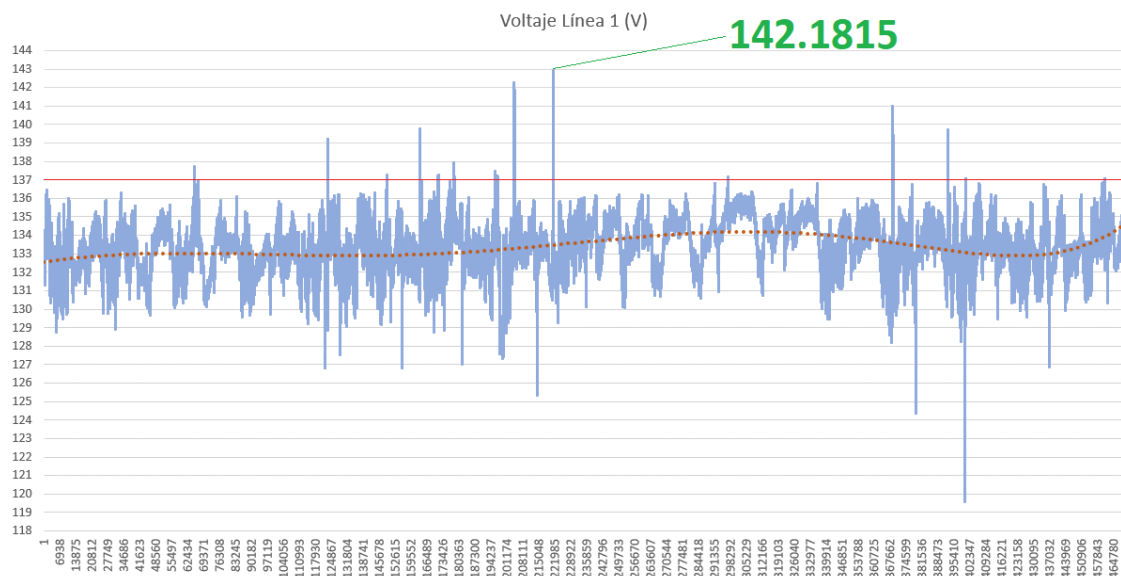
Para el análisis de resultados se observan las gráficas generadas por Excel en donde se han administrado los resultados almacenados y recolectados, con fines de análisis tendremos tres meses analizados.

Febrero 2020

- Voltaje de Línea:

Figura 50

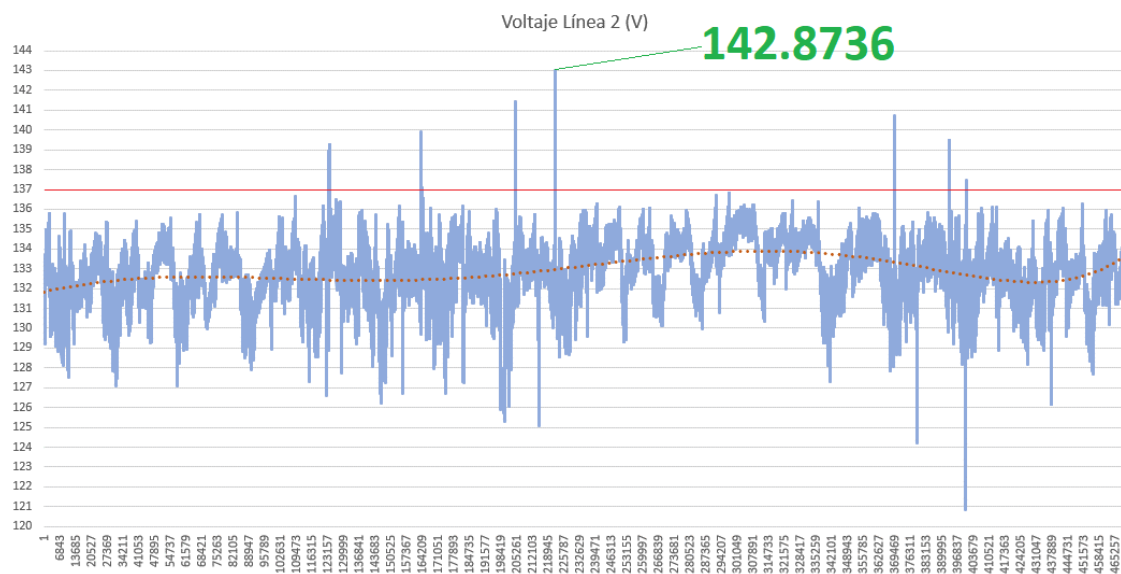
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 - Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 51

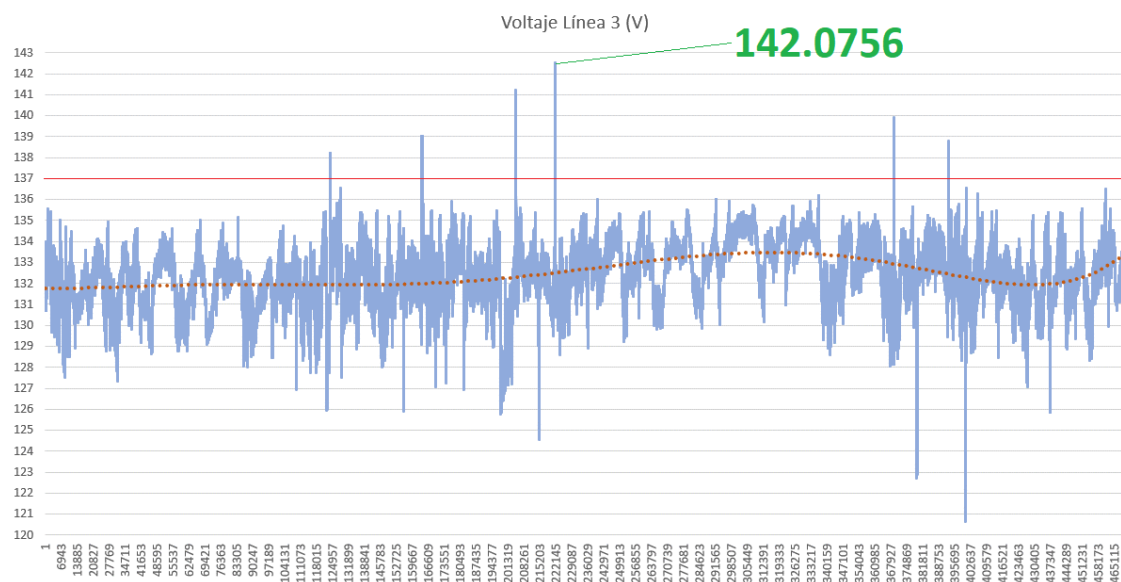
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 - Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 52

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 - Neutro.



Nota: Elaboración propia

Los voltajes deben estar dentro del rango] 116.16, 137.18 [V y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10

Límites de voltaje medidos en el mes de febrero

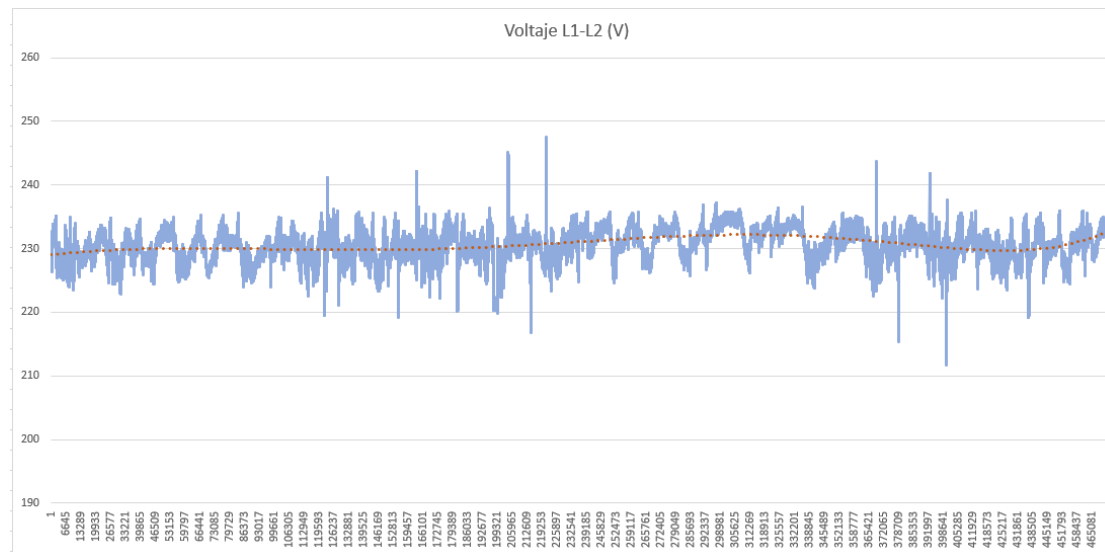
Línea de voltaje	Límites de voltaje medidos	Observación
Línea 1	]119.5628, 142.1815] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]120.8385, 142.8736] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]120.6381, 142.0756] V	No cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Voltajes entre Líneas:

Figura 53

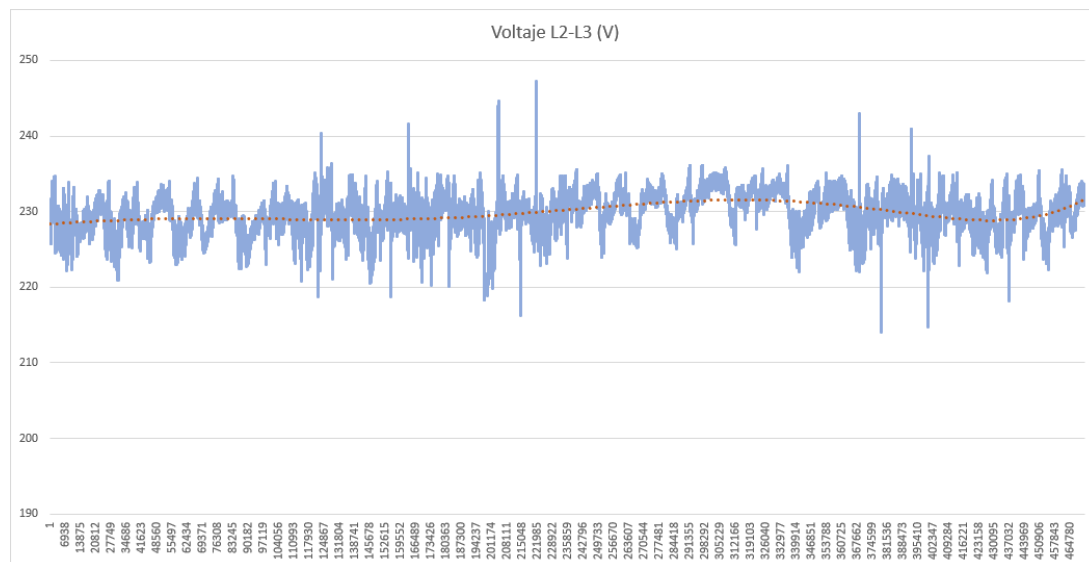
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 54

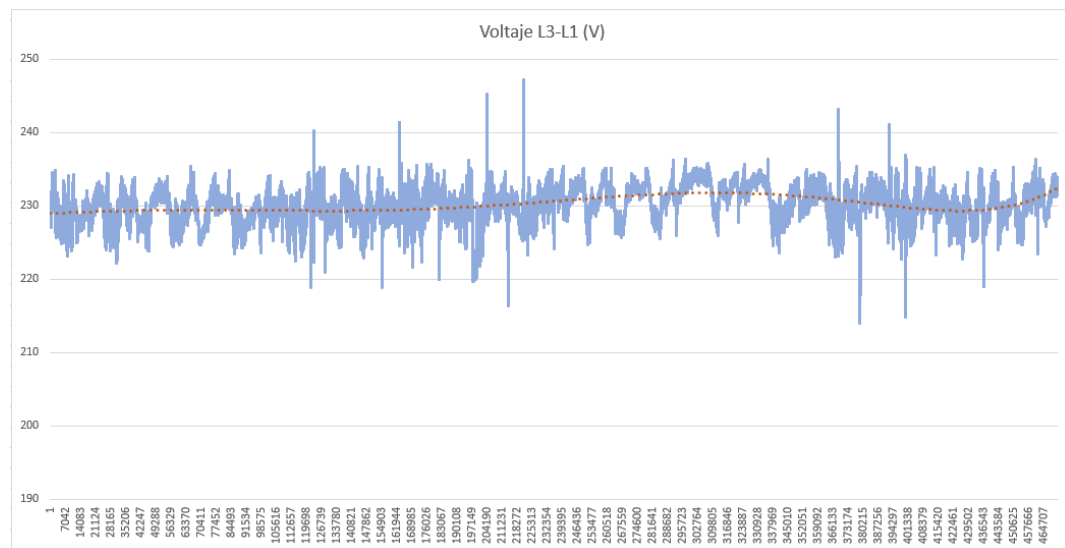
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Figura 55

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.



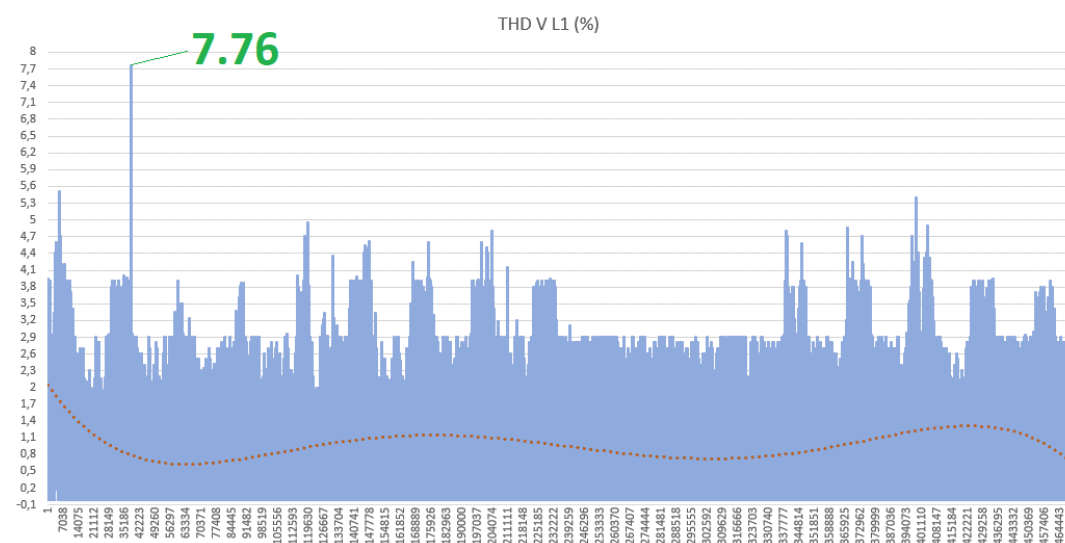
Nota: Elaboración propia

Al existir valores superiores al rango superior de voltaje en la medición por Línea – Neutro los voltajes medidos entre Líneas presentarán la misma anomalía.

- Armónicos de voltaje por Línea:

Figura 56

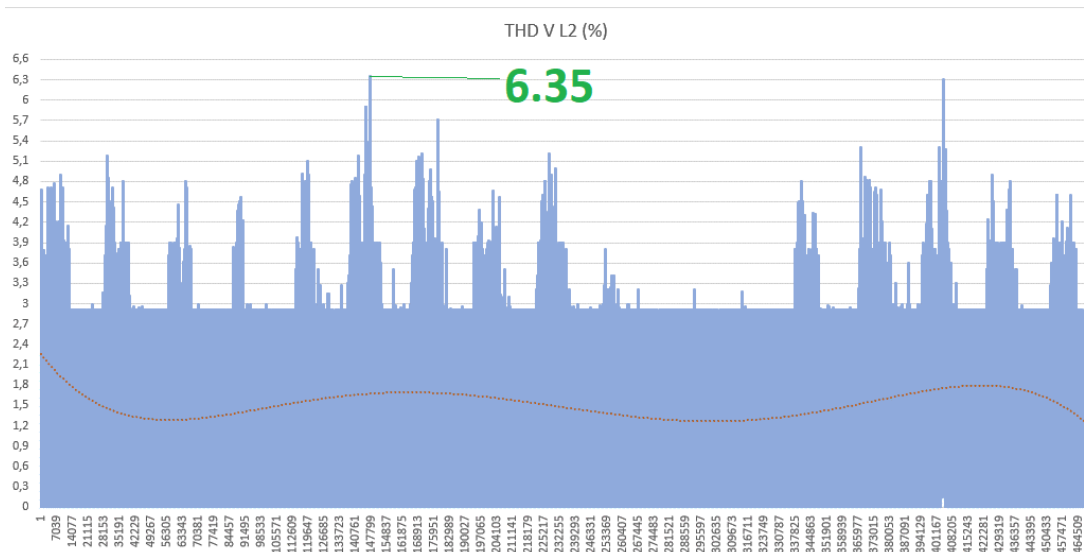
Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 57

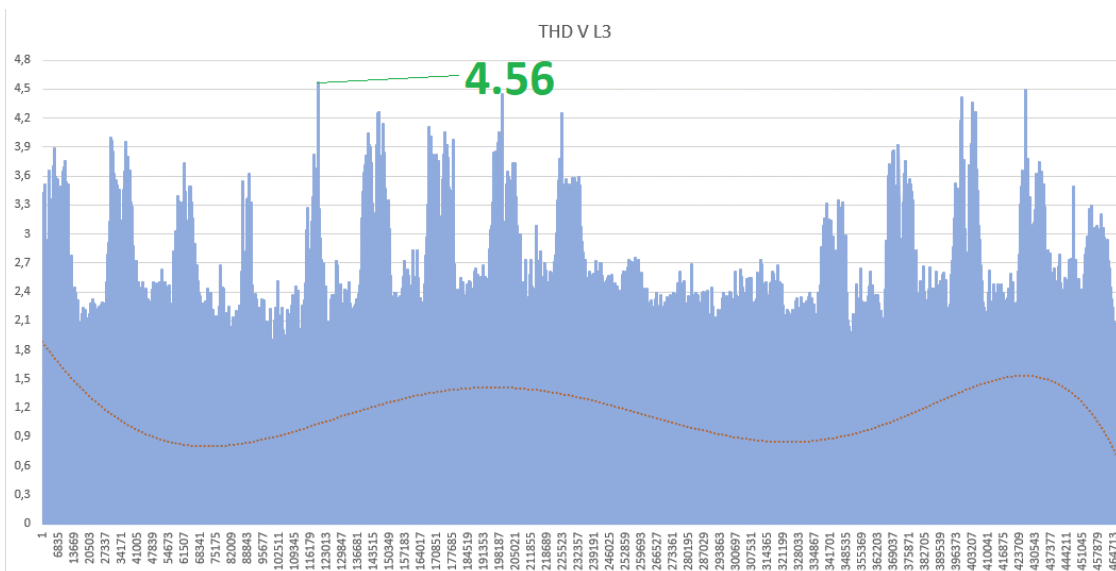
Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 58

Datos de monitoreo armónicos de voltaje en la Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los armónicos de voltajes deben estar dentro del rango $[0, 8]$ % y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11

Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de febrero

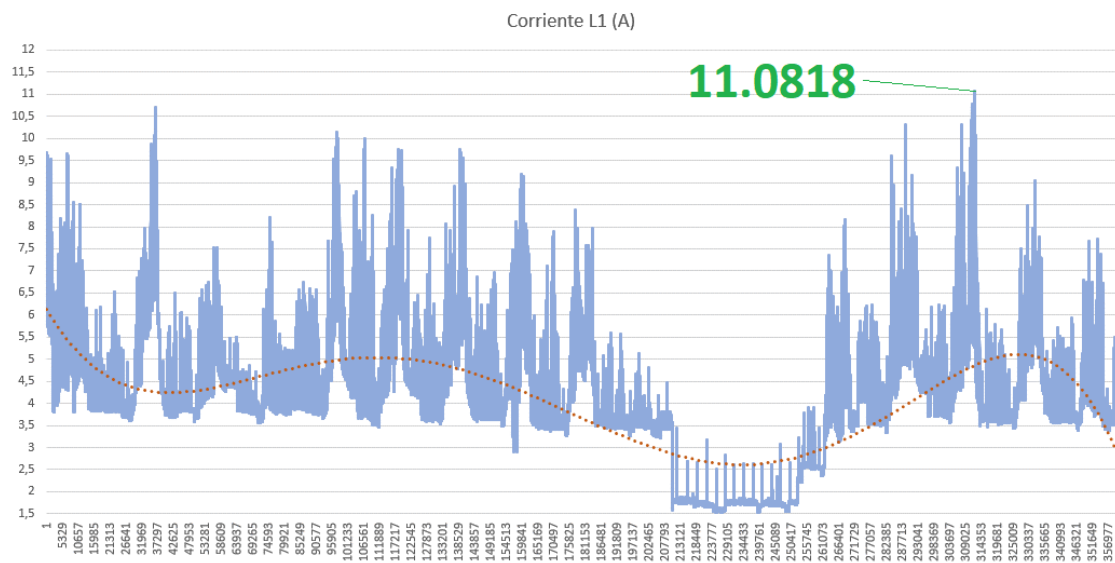
Armónico de línea voltaje	Límites de armónicos medidos	Observación
Línea 1	]0, 7.76] %	cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]0, 6.35] %	cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]0, 4.56] %	cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Corrientes por Línea:

Figura 59

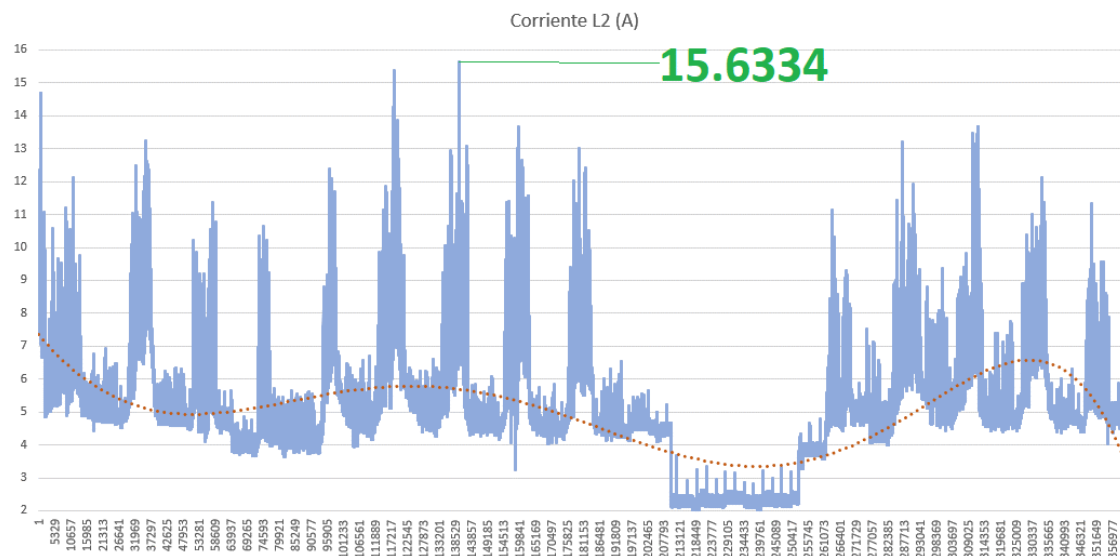
Datos de monitoreo de corriente en la Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 60

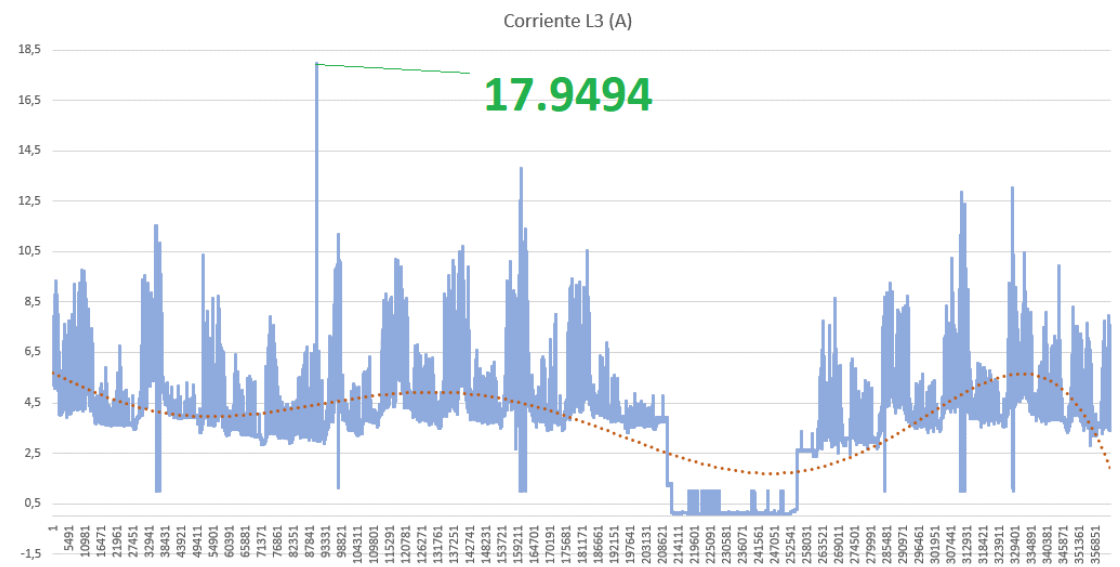
Datos de monitoreo de corriente en la Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 61

Datos de monitoreo de corriente en la Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los valores de corriente se encuentran presentados en la

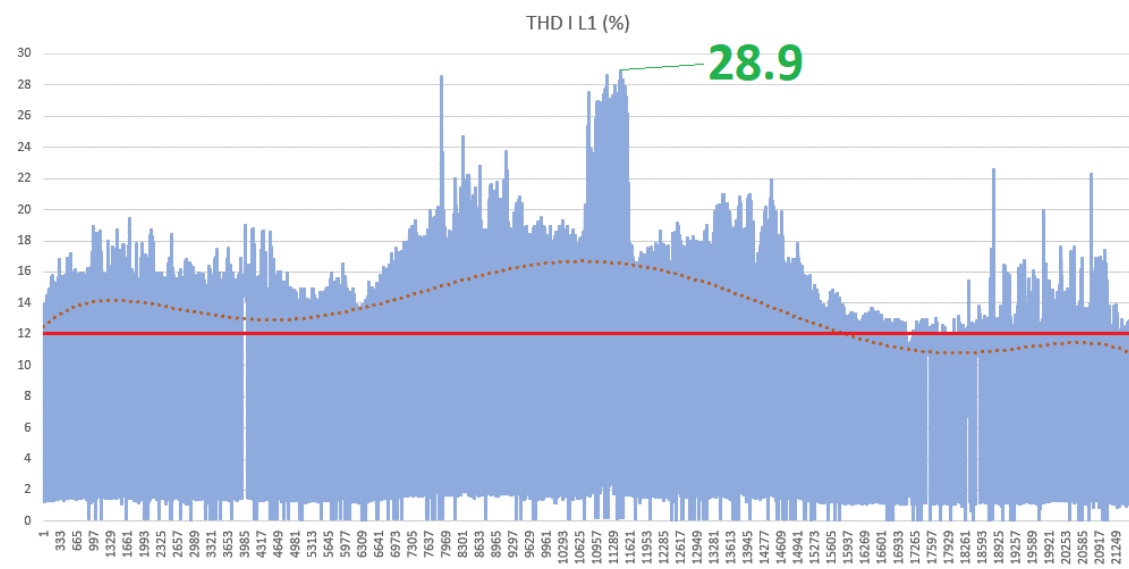
Tabla 12.

Tabla 12*Corriente medida en el mes de febrero*

Corriente de línea	Límites de corriente medidos
Línea 1	]1.5571, 11.0818] A
Línea 2	]2.1621, 15.6334] A
Línea 3	]0.10874, 17.9494] A

Nota: Elaboración propia

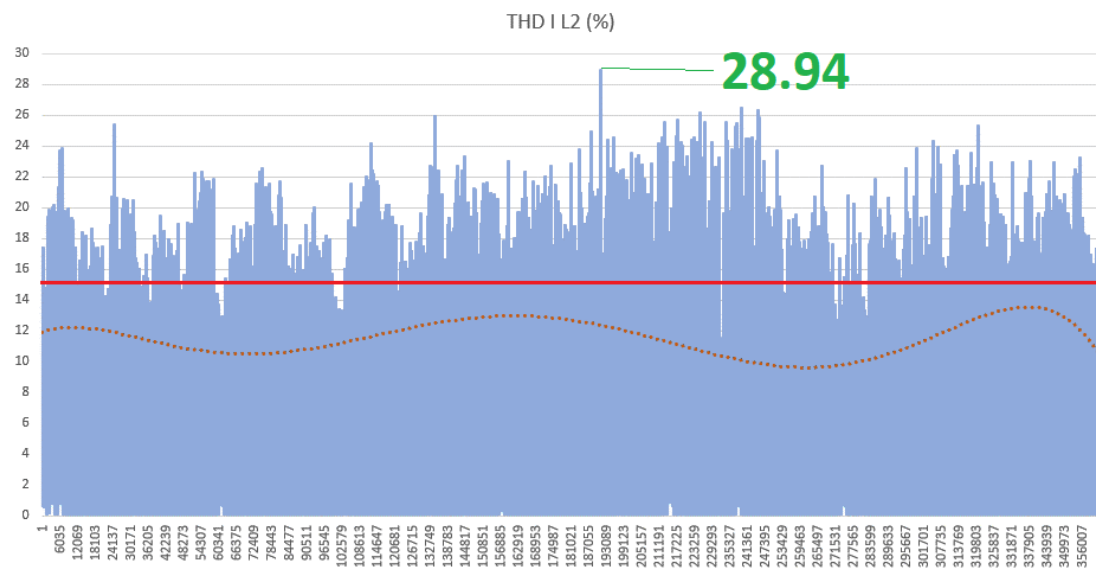
- Armónicos de corriente por Línea:

Figura 62*Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 1.*

Nota: Elaboración propia

Figura 63

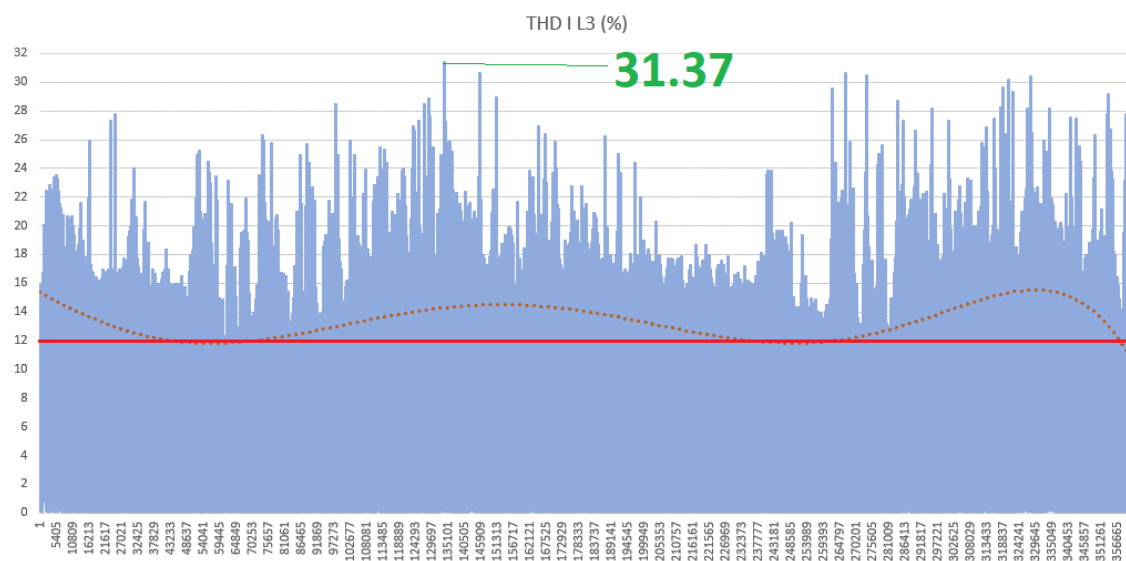
Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 64

Datos de monitoreo armónicos de corriente en la Línea 3.



Nota: Elaboración propia

La distancia entre el tablero principal de 220V se encuentra a una distancia de 100 de la entrega de suministro, que son principalmente los Departamentos de Abastecimiento y Armado & Soldadura, la resistencia de los conductores es aproximadamente $0.000849 \Omega/m$. Se aplica la ecuación (2.2) para las tres líneas se tiene, que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) es 1495.88 A, del apartado anterior se obtiene que la corriente máxima L1, L2 y L3 son 11.0818, 15.6334 y 17.9494 A respectivamente.

La relación de cortocircuito SCR al aplicar la ecuación (2.1) para la línea 1 es 134.99, para la línea 2 es 95.68 y para la línea es 83.34. Para la línea L1 el SCR obtenido se encuentra dentro del rango $100 < 1000$, mientras que para las Líneas L2 y L3 el SCR se encuentra en el rango $50 < 100$. Como se considera la corriente máxima la distorsión armónica de corriente total (THDI) y la distorsión de la demanda total (TDD) son iguales por ende sus valores no deben superar el 15% para la línea L1 y el 12% para las líneas L2 y L3.

Los valores de los armónicos de corriente obtenidos en la medición, así como la observación de cumplimiento en base a los límites establecidos por la normativa IEEE 519-2014 se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13

Límites de armónicos de corriente medida en el mes de febrero

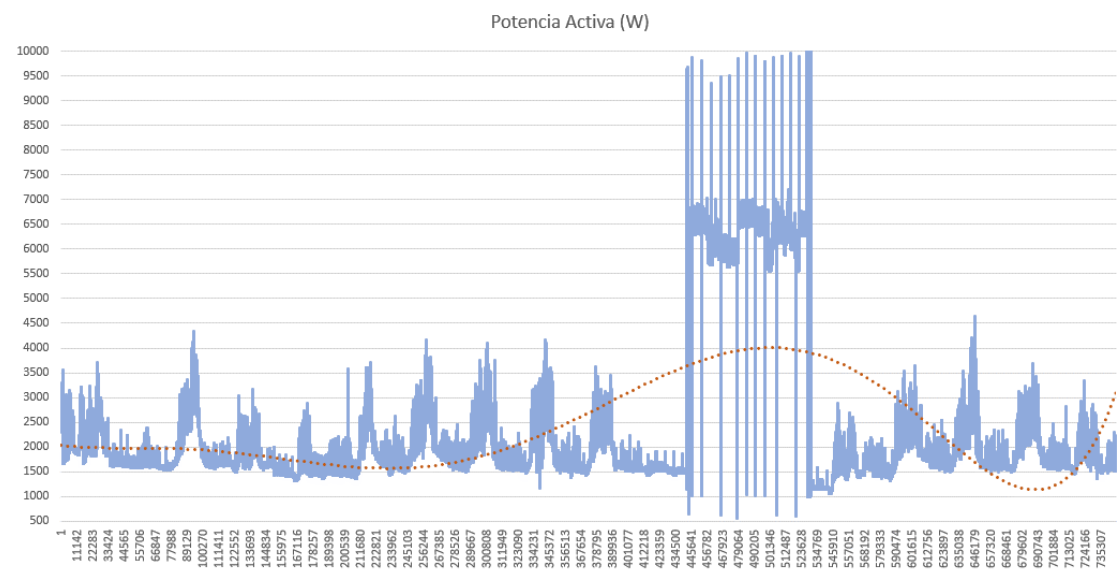
Armónicos de corriente de línea	Límites de armónicos de corriente medidos	Observación
Línea 1	]0.014, 28.9] %	No cumple con el límite 15%
Línea 2	]0.1, 28.94] %	No cumple con el límite 12%
Línea 3	]0.1, 31.37] %	No cumple con el límite 12%

Nota: Elaboración propia

- Potencia Activa Total:

Figura 65

Datos de monitoreo potencia activa total.

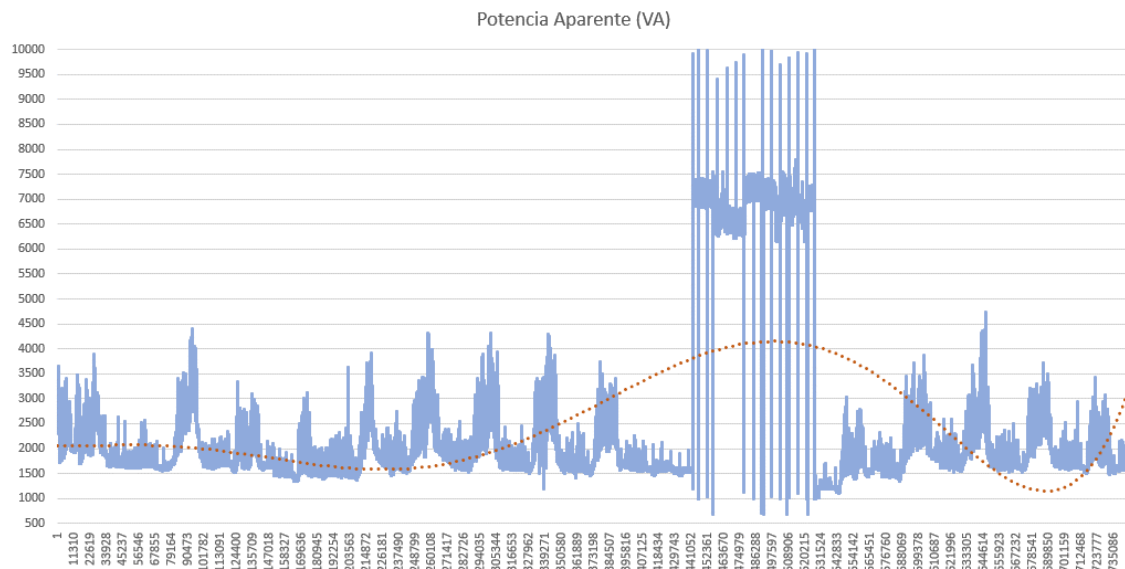


Nota: Elaboración propia

- Potencia Aparente Total:

Figura 66

Datos de monitoreo potencia aparente total.

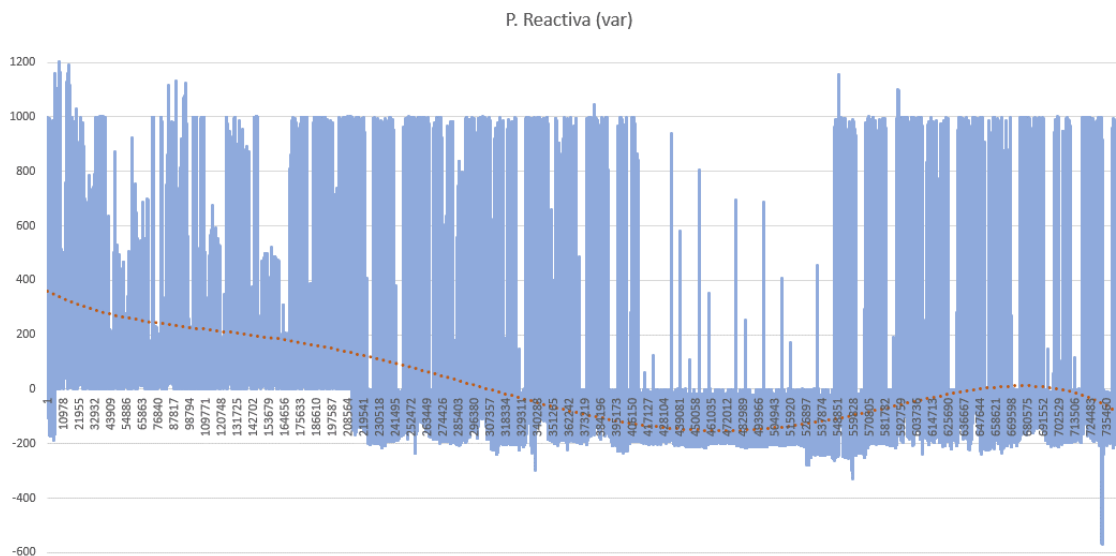


Nota: Elaboración propia

- Potencia Reactiva Total:

Figura 67

Datos de monitoreo potencia reactiva total.

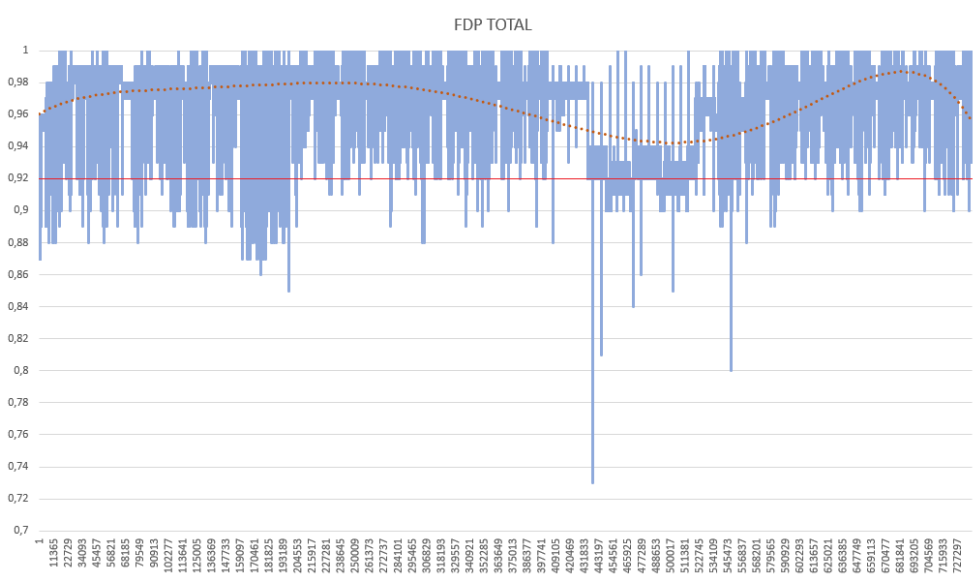


Nota: Elaboración propia

- Factor de Potencia Total:

Figura 68

Datos de monitoreo factor de potencia total.



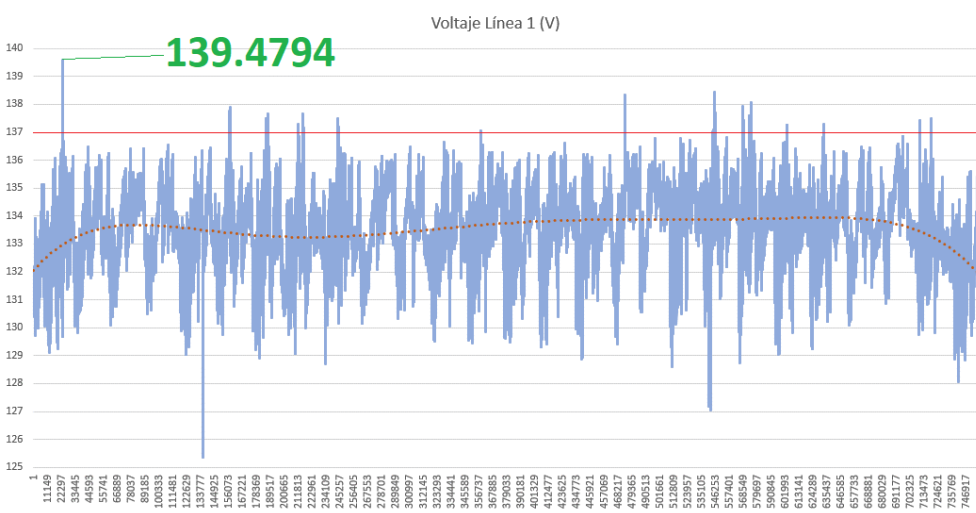
Nota: Elaboración propia

Junio 2020

- Voltaje de Línea:

Figura 69

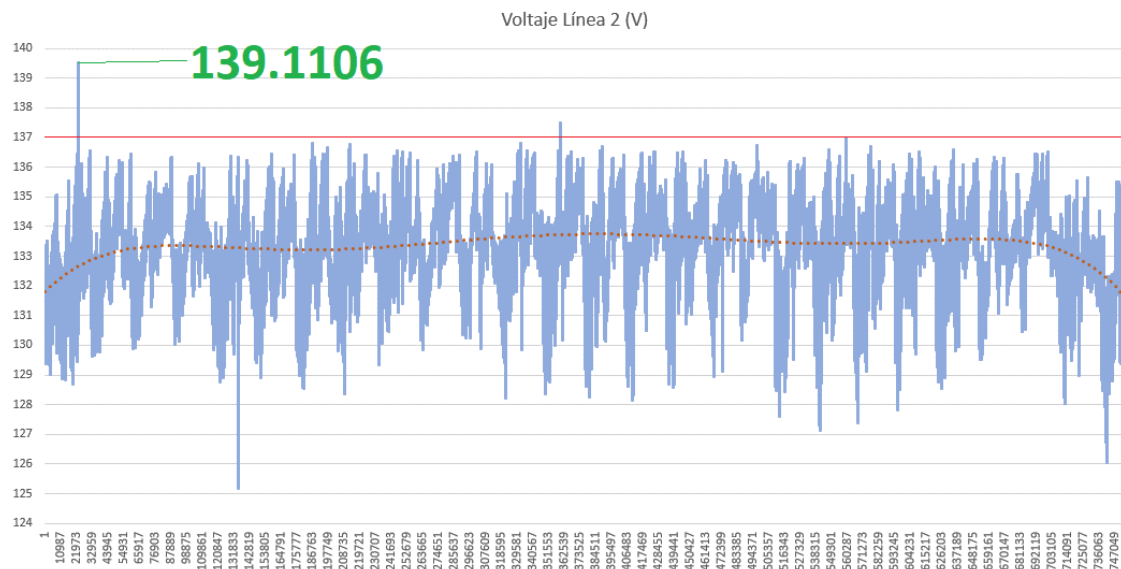
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 70

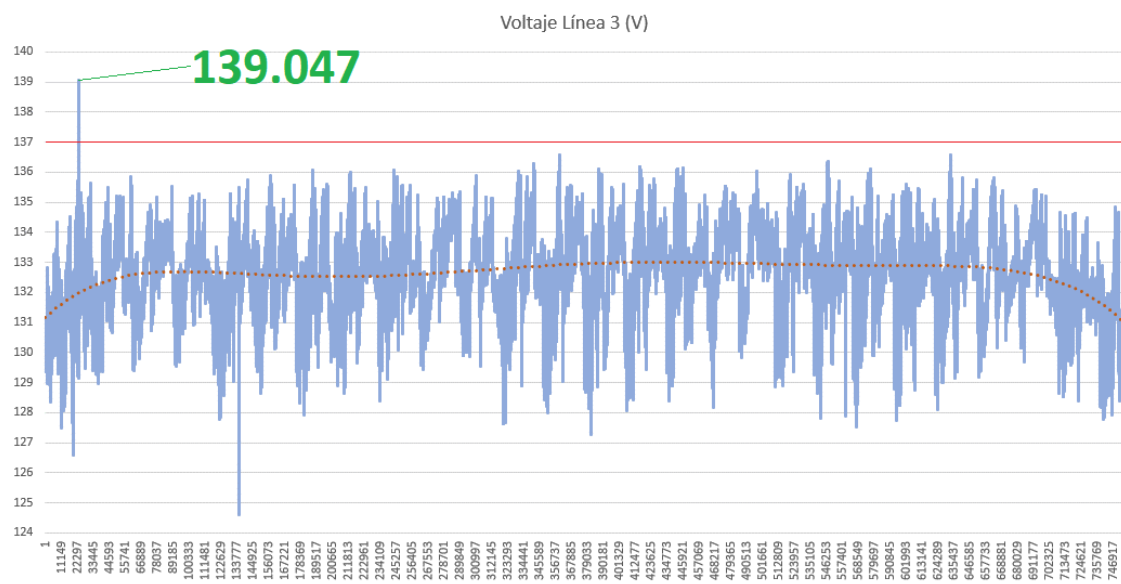
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 71

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Los voltajes deben estar dentro del rango]116.16, 137.18 [V y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14

Límites de voltaje medidos en el mes de junio

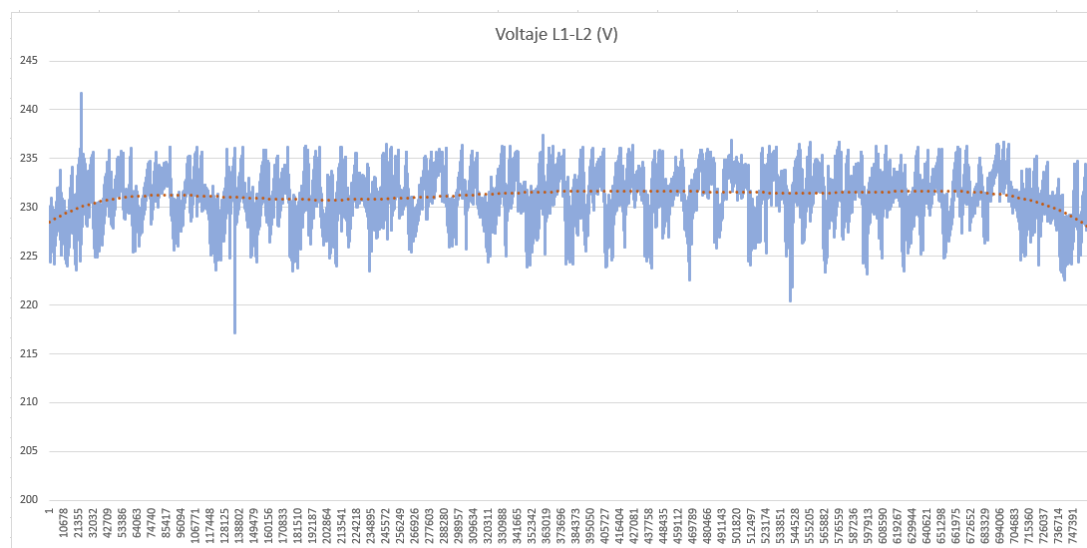
Línea de voltaje	Límites de voltaje medidos	Observación
Línea 1	]125.3646, 139.4794] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]125.1701, 139.1106] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]124.5936, 139.047] V	No cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Voltajes entre Líneas:

Figura 72

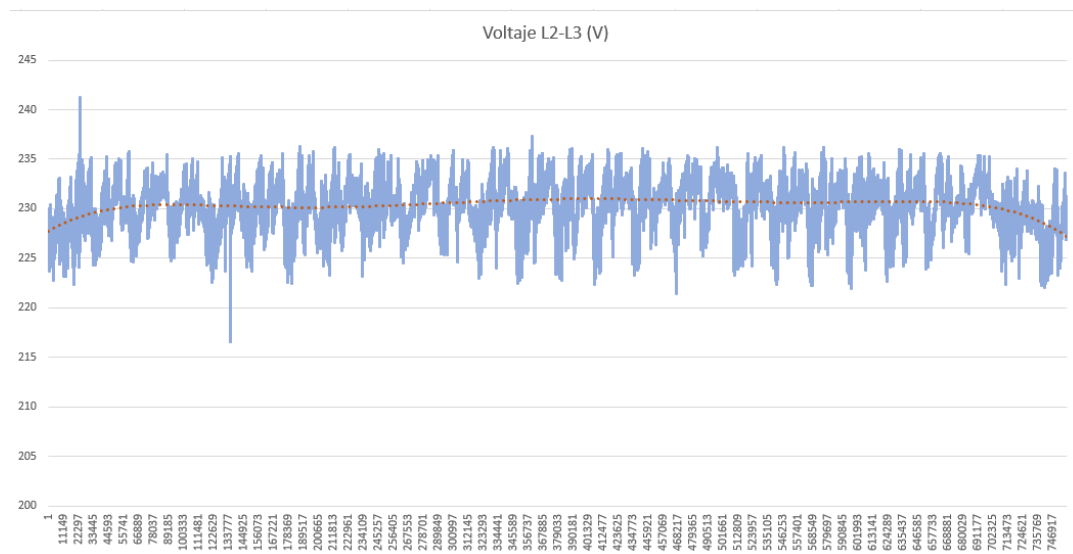
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 73

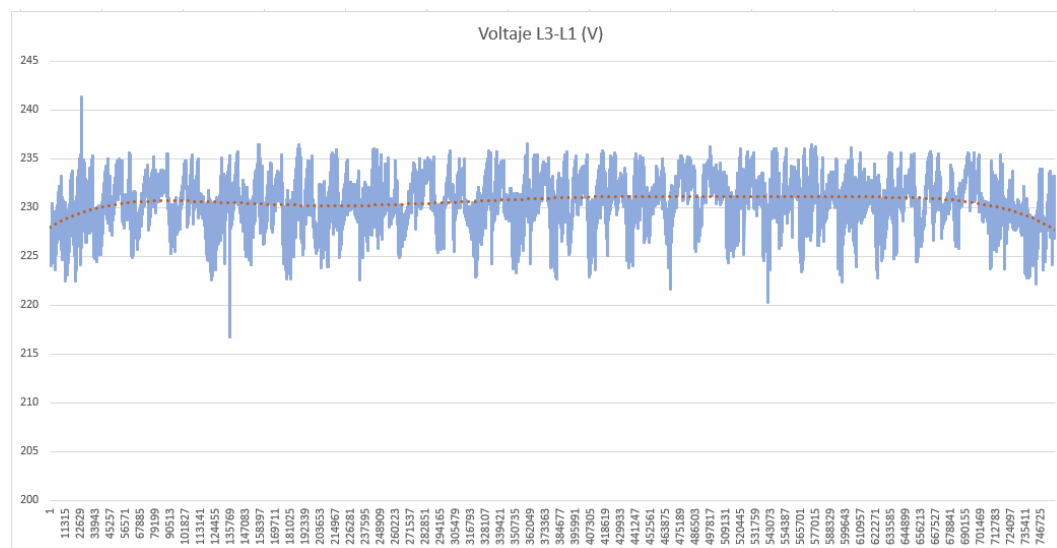
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Figura 74

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.



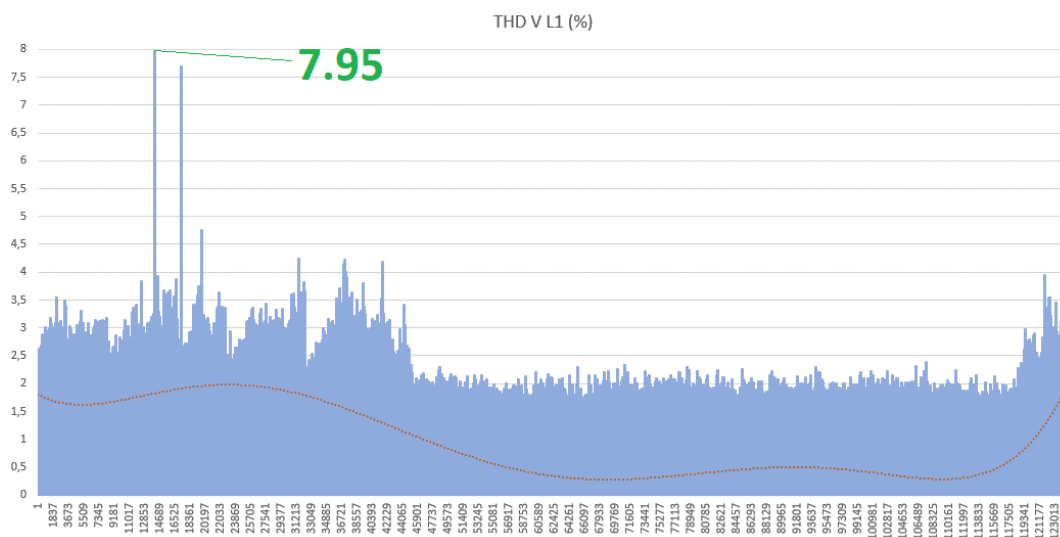
Nota: Elaboración propia

Al existir valores superiores al rango superior de voltaje en la medición por Línea – Neutro los voltajes medidos entre Líneas presentarán la misma anomalía.

- Armónicos de voltaje por Línea:

Figura 75

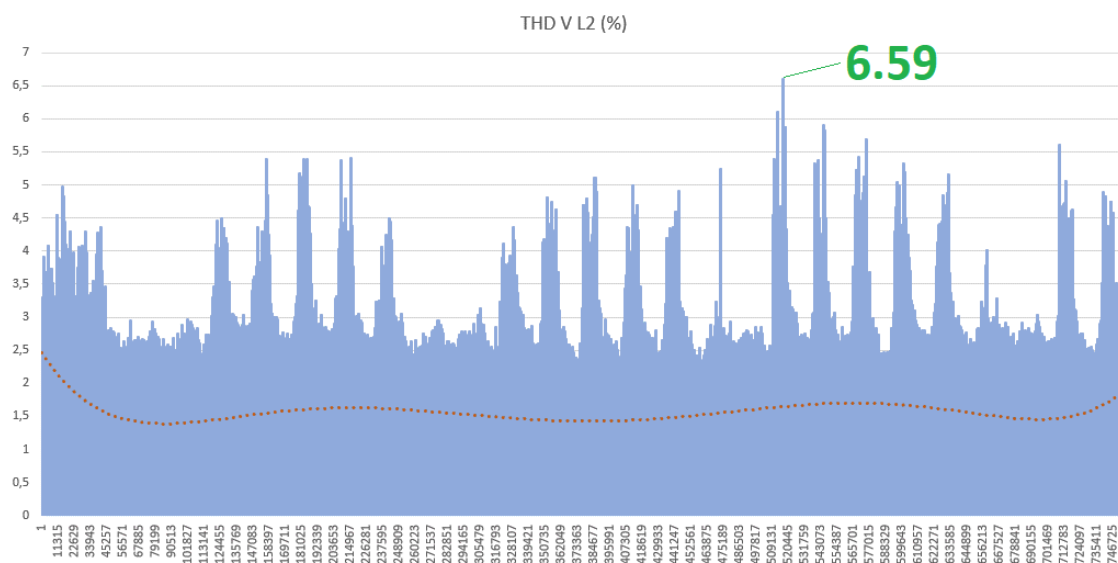
Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 76

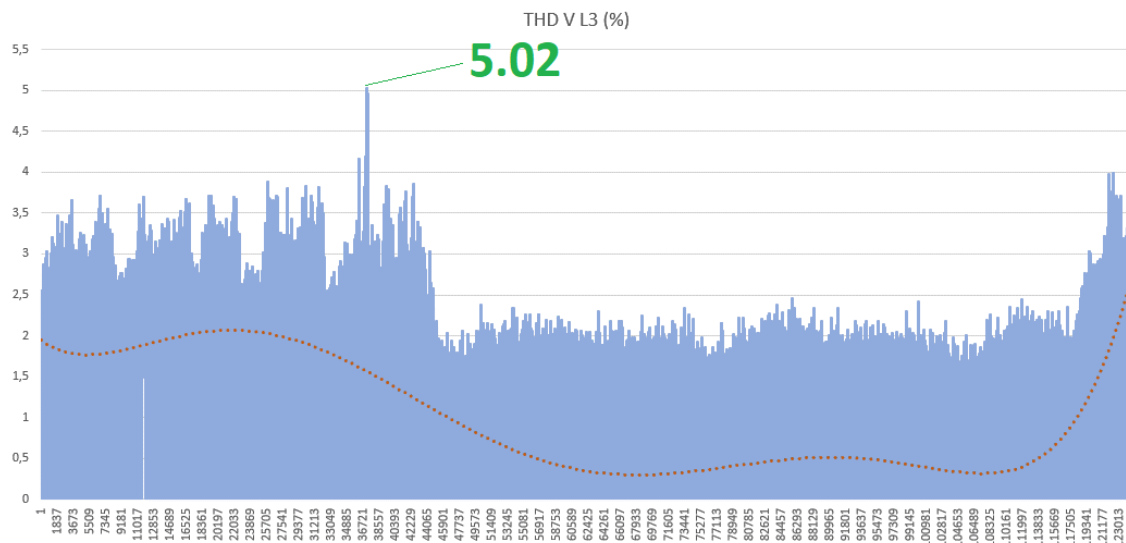
Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 77

Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los armónicos de voltajes deben estar dentro del rango]0, 8[% y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de junio

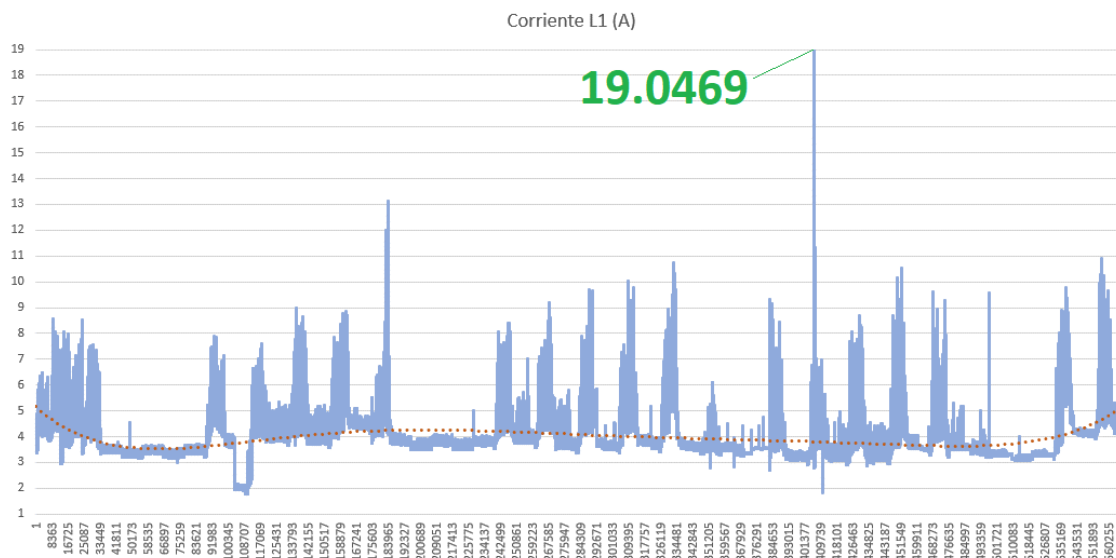
Armónico de línea voltaje	Límites de armónicos medidos	Observación
Línea 1	]0, 7.95] %	cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]0, 6.59] %	cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]0, 5.02] %	cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Corrientes por Línea:

Figura 78

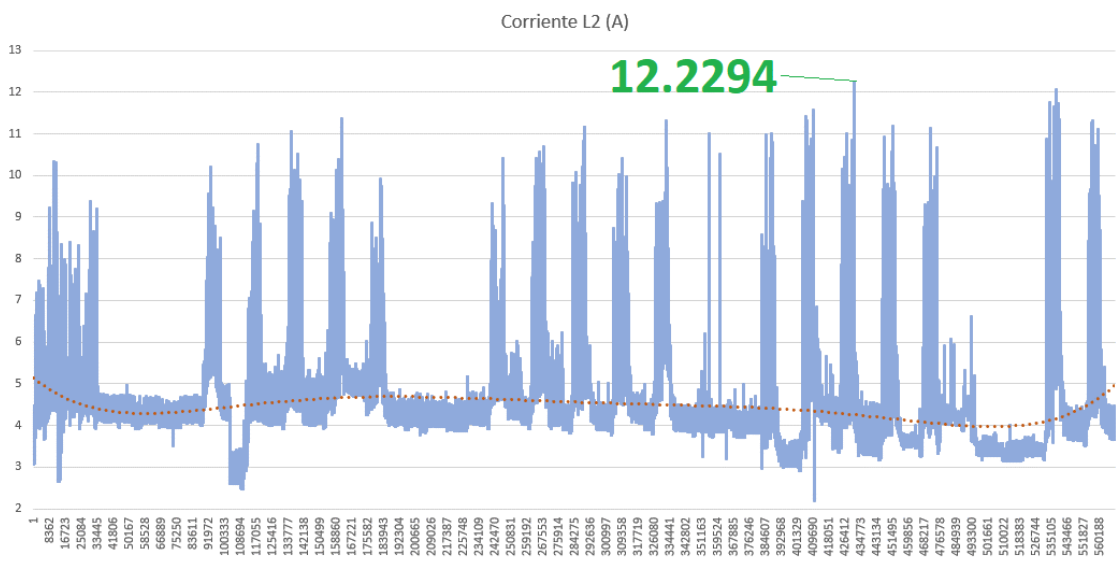
Datos de monitoreo de corriente de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 79

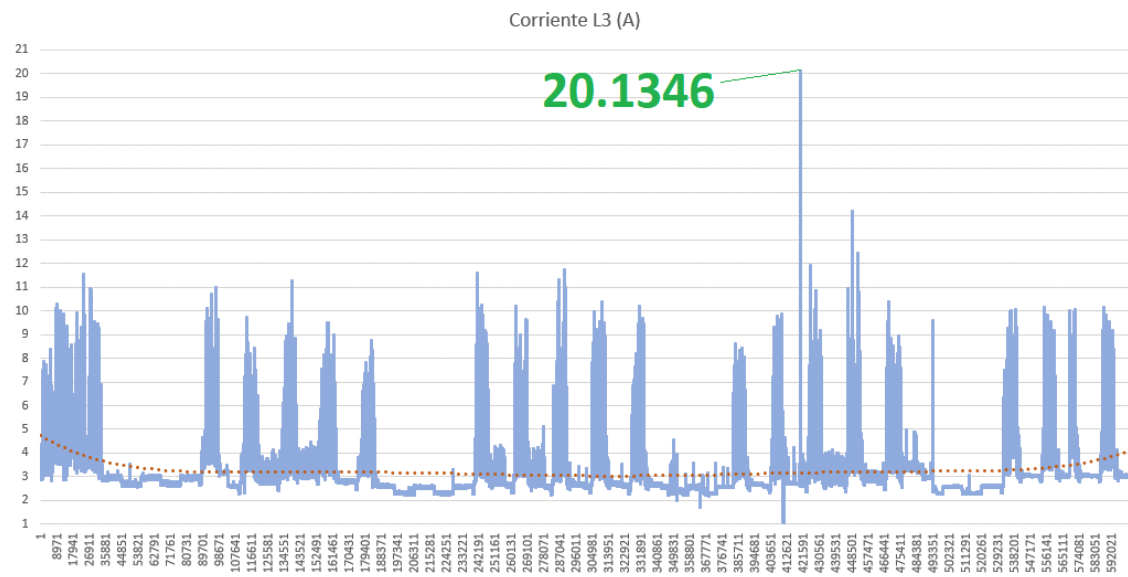
Datos de monitoreo de corriente de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 80

Datos de monitoreo de corriente de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los valores de corriente se encuentran presentados en la

Tabla 16.

Tabla 16

Corriente medida en el mes de junio

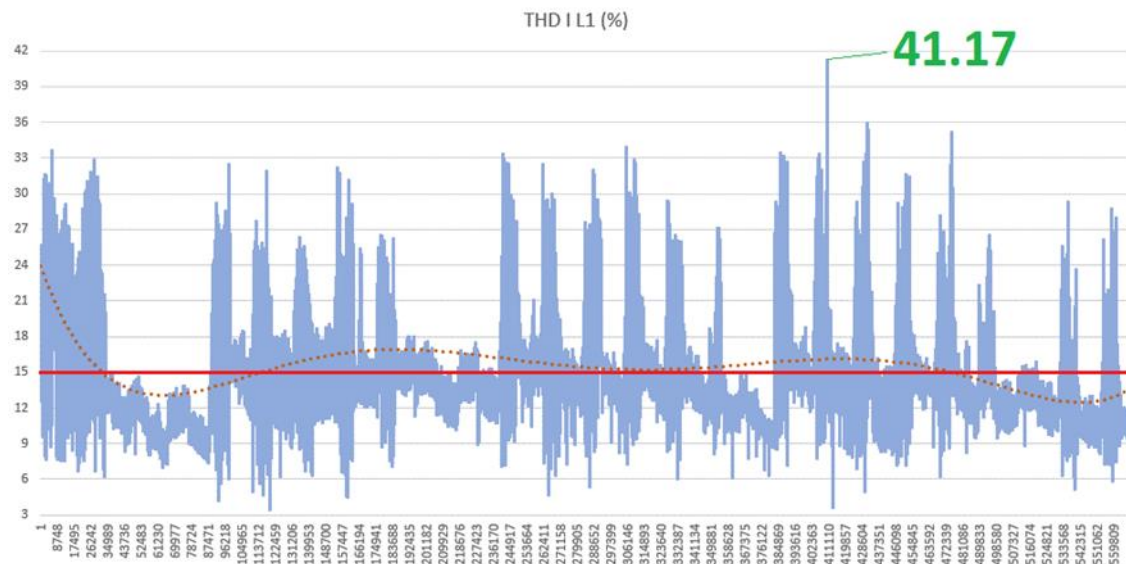
Corriente de línea	Límites de corriente medidos
Línea 1	]1.7752, 19.0469] A
Línea 2	]2.2931, 12.2294] A
Línea 3	]1.1081, 20.1346] A

Nota: Elaboración propia

- Armónicos de corriente por Línea:

Figura 81

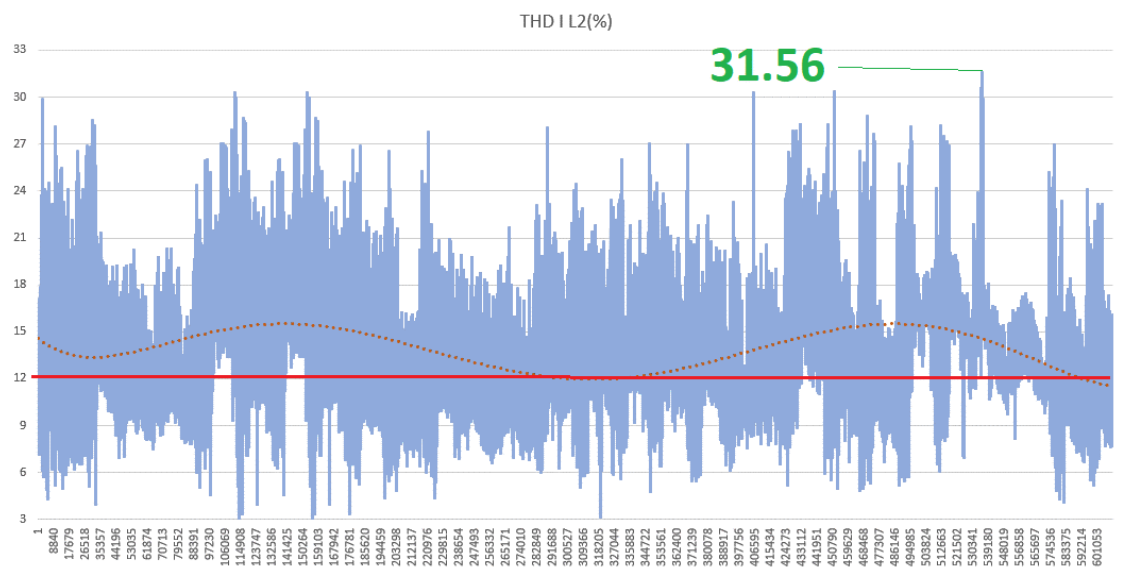
Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 82

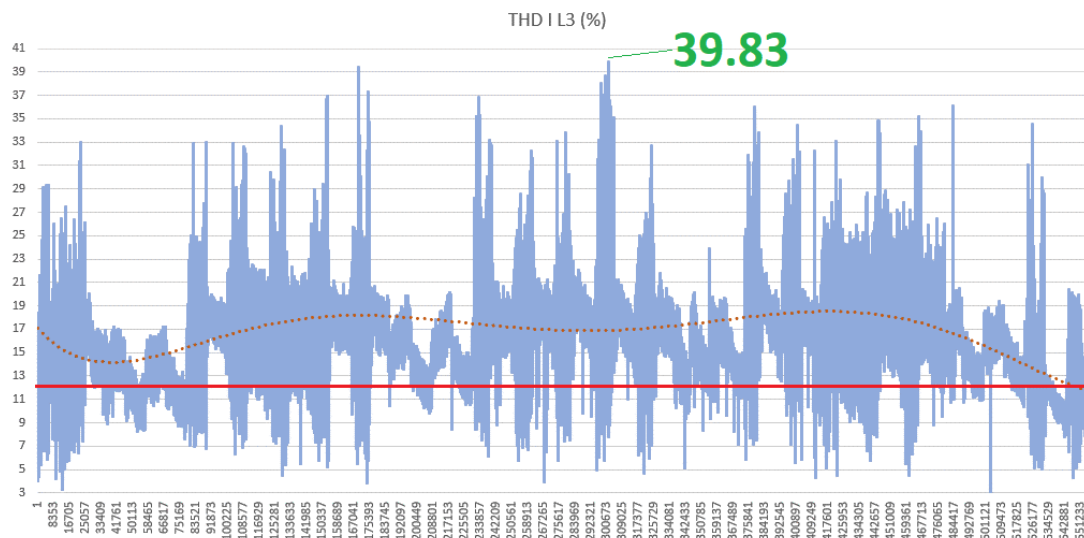
Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 83

Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

La distancia entre el tablero principal de 220V se encuentra a una distancia de 100 de la entrega de suministro, que son principalmente los Departamentos de Abastecimiento y Armado & Soldadura, la resistencia de los conductores es aproximadamente $0.000849 \Omega/m$. Se aplica la ecuación (2.2) para las tres líneas se tiene, que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) es 1495.88 A, del apartado anterior se obtiene que la corriente máxima L1, L2 y L3 son 19.0469, 12.2294 y 20.1346 A respectivamente.

La relación de cortocircuito SCR al aplicar la ecuación (2.1) para la línea 1 es 78.54, para la línea 2 es 122.32 y para la línea 3 es 74.29. Para la línea L2 el SCR obtenido se encuentra dentro del rango $100 < 1000$, mientras que para las Líneas L1 y L3 el SCR se encuentra en el rango $50 < 100$. Como se considera la corriente máxima la distorsión armónica de corriente total (THDI) y la distorsión de la demanda total (TDD)

son iguales por ende sus valores no deben superar el 15% para la línea L2 y el 12% para las líneas L1 y L3.

Los valores de los armónicos de corriente obtenidos en la medición, así como la observación de cumplimiento en base a los límites establecidos por la normativa IEEE 519-2014 se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

Límites de armónicos de corriente medida en el mes de junio

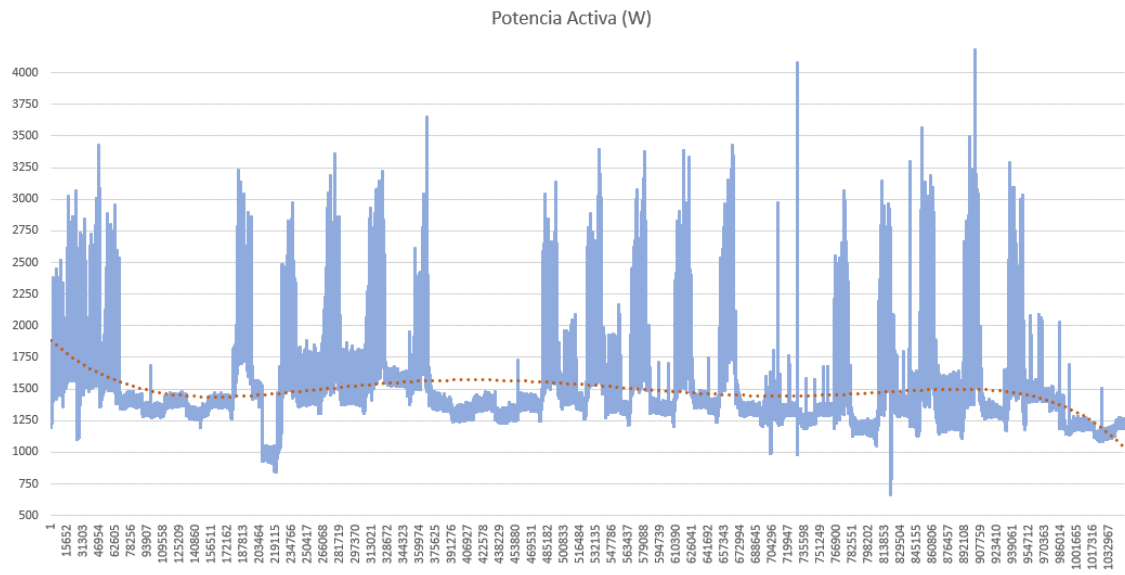
Armónicos de corriente de línea	Límites de armónicos de corriente medidos	Observación
Línea 1	]3.46, 41.17] %	No cumple con el límite 12%
Línea 2	]3.16, 31.56] %	No cumple con el límite 15%
Línea 3	]2.32, 39.83] %	No cumple con el límite 12%

Nota: Elaboración propia

- Potencia Activa Total:

Figura 84

Datos de monitoreo de potencia activa total.

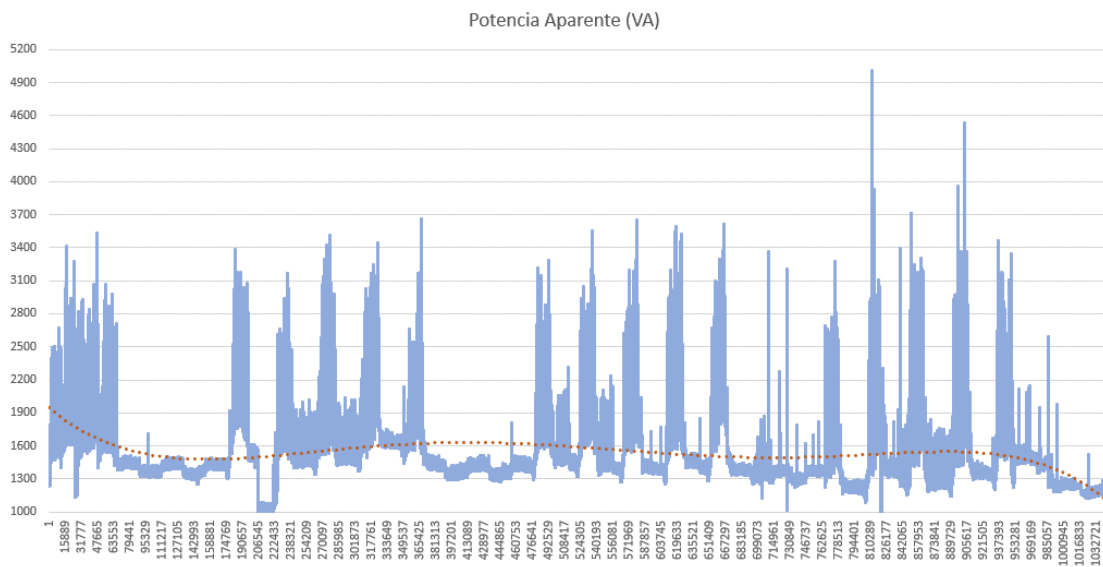


Nota: Elaboración propia

- Potencia Aparente Total:

Figura 85

Datos de monitoreo de potencia aparente total.

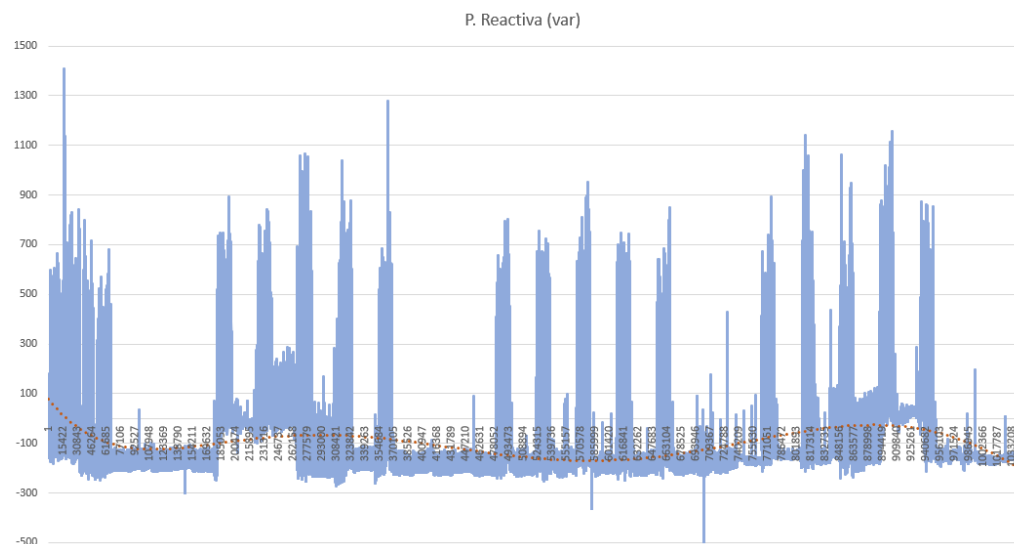


Nota: Elaboración propia

- Potencia Reactiva Total:

Figura 86

Datos de monitoreo de potencia reactiva total.

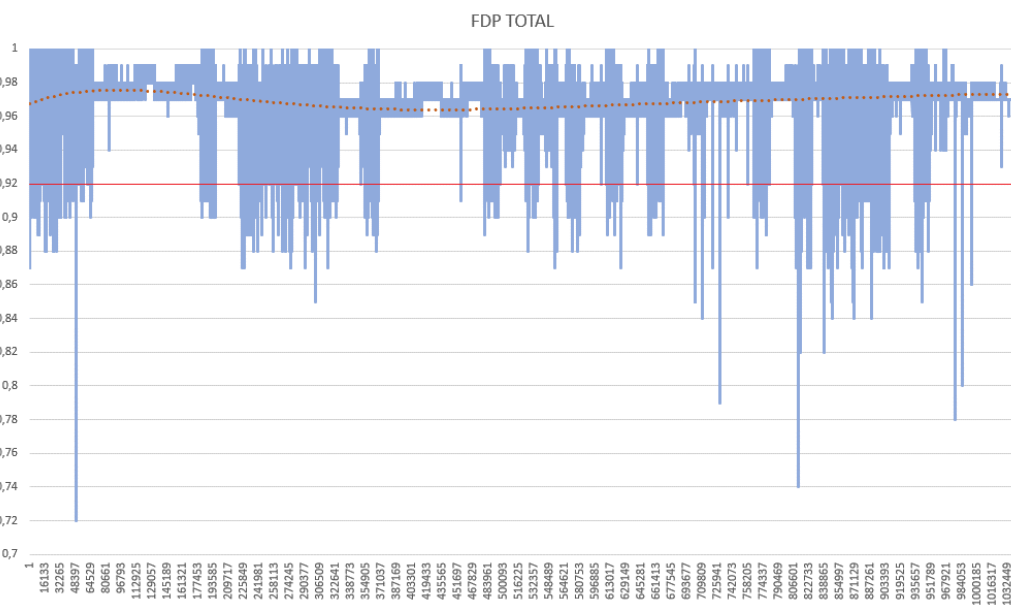


Nota: Elaboración propia

- Factor de Potencia Total:

Figura 87

Datos de monitoreo del factor de potencia total.



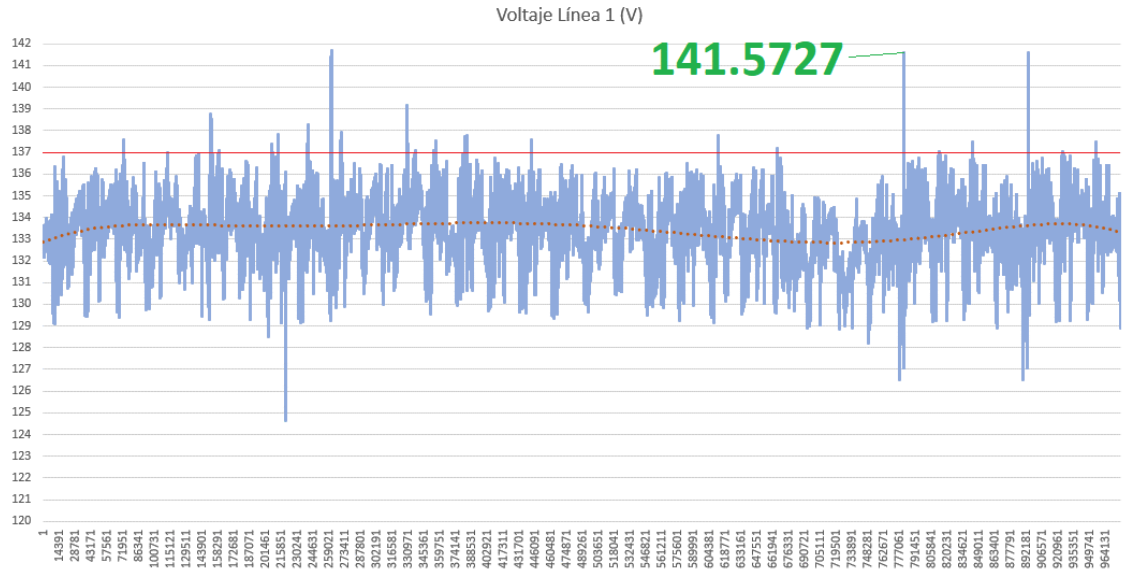
Nota: Elaboración propia

Julio 2020

- Voltaje de Línea:

Figura 88

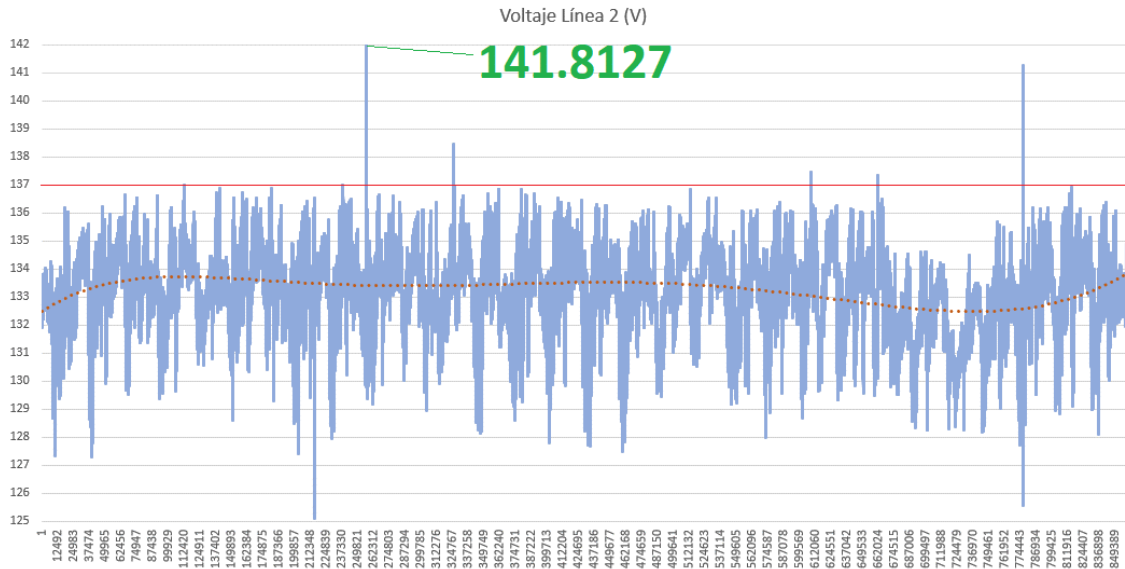
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 89

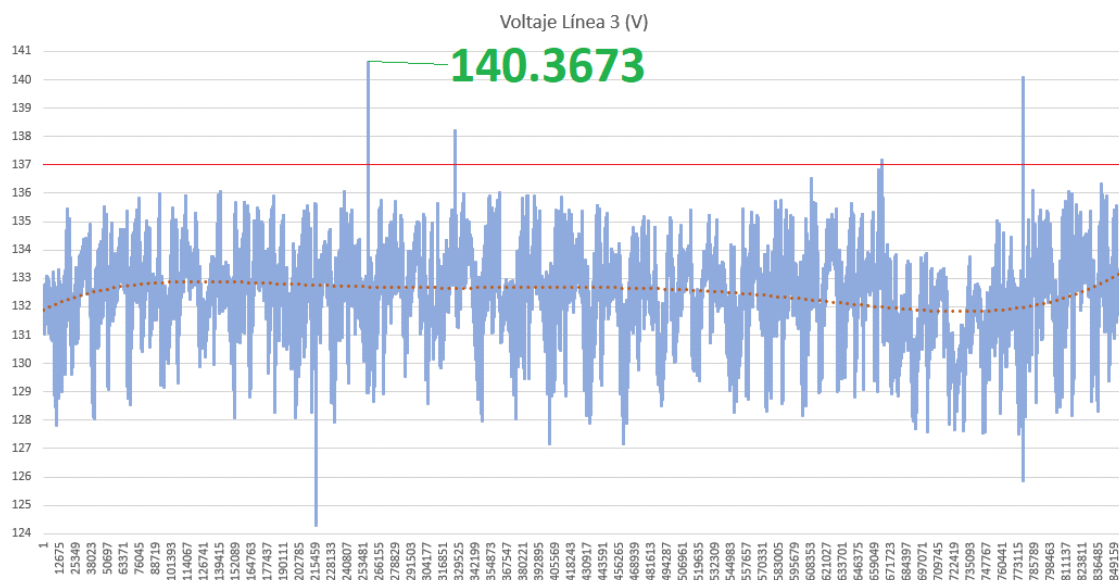
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Figura 90

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Neutro.



Nota: Elaboración propia

Los voltajes deben estar dentro del rango]116.16, 137.18 [V y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18

Límites de voltaje medidos en el mes de julio

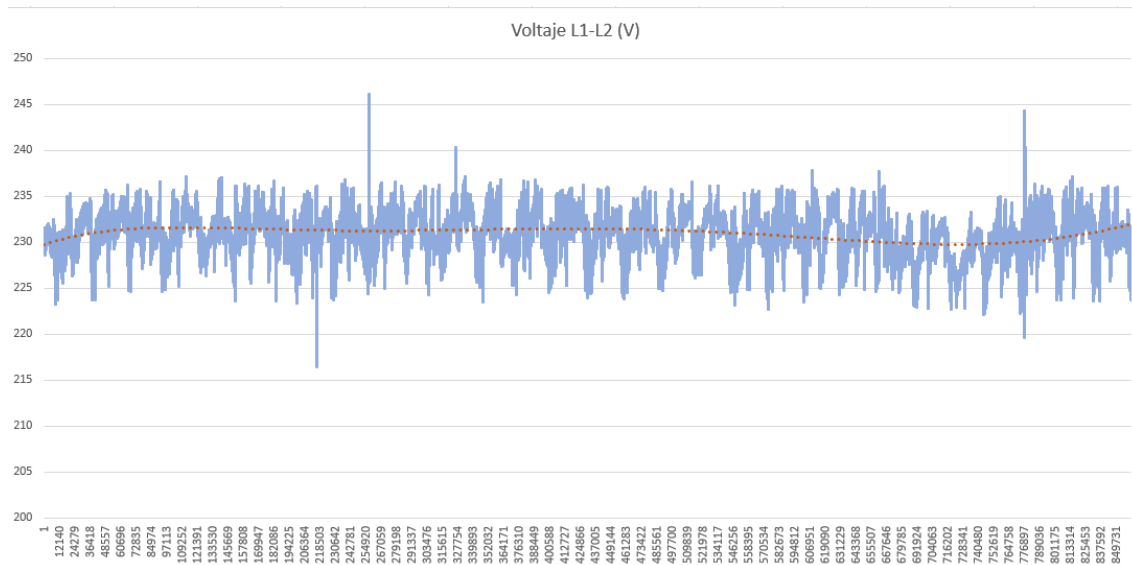
Línea de voltaje	Límites de voltaje medidos	Observación
Línea 1	]124.8686, 141.5727] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]125.121, 141.8127] V	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]124.3032, 140.3673] V	No cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Voltajes entre Líneas:

Figura 91

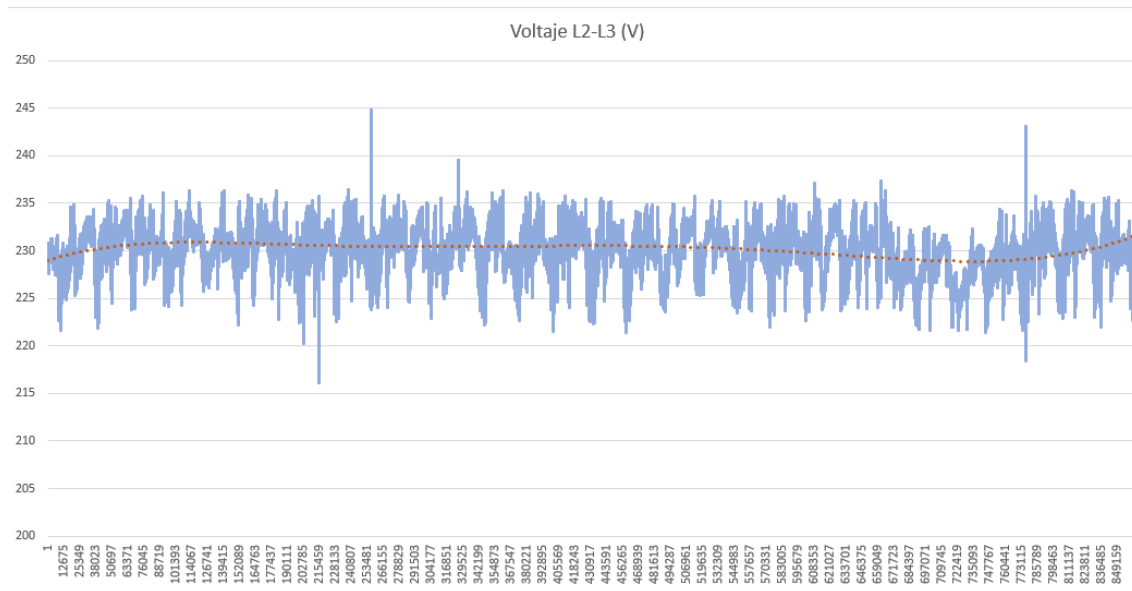
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 1 – Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 92

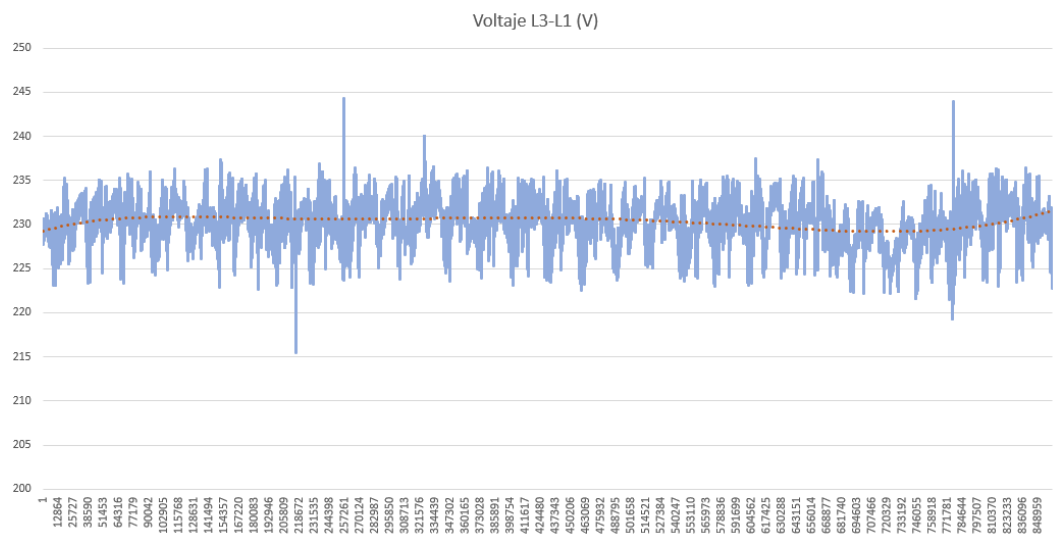
Datos de monitoreo de voltaje de Línea 2 – Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Figura 93

Datos de monitoreo de voltaje de Línea 3 – Línea 1.



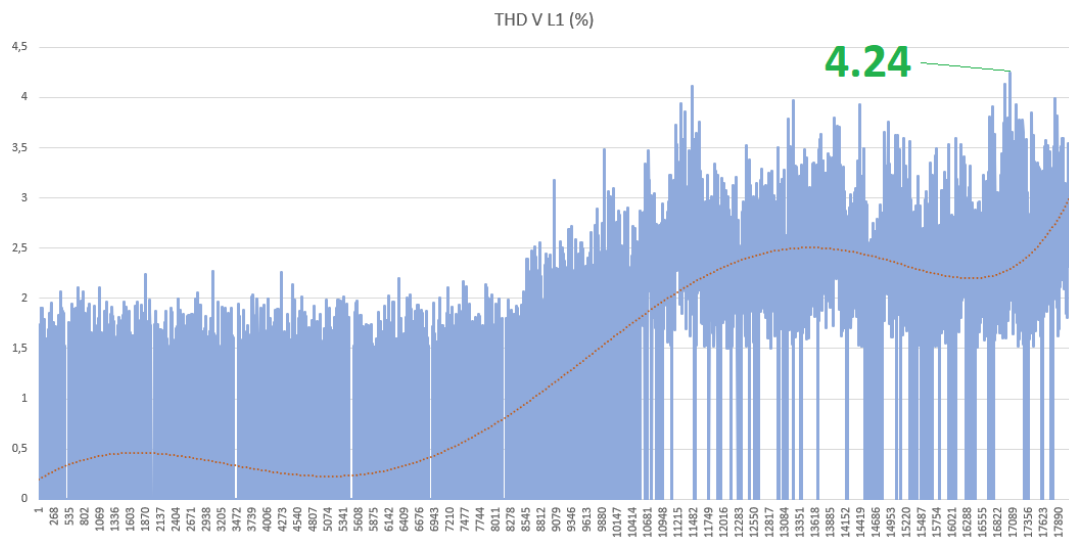
Nota: Elaboración propia

Al existir valores superiores al rango superior de voltaje en la medición por Línea – Neutro los voltajes medidos entre Líneas presentarán la misma anomalía.

- Armónicos de voltaje por Línea:

Figura 94

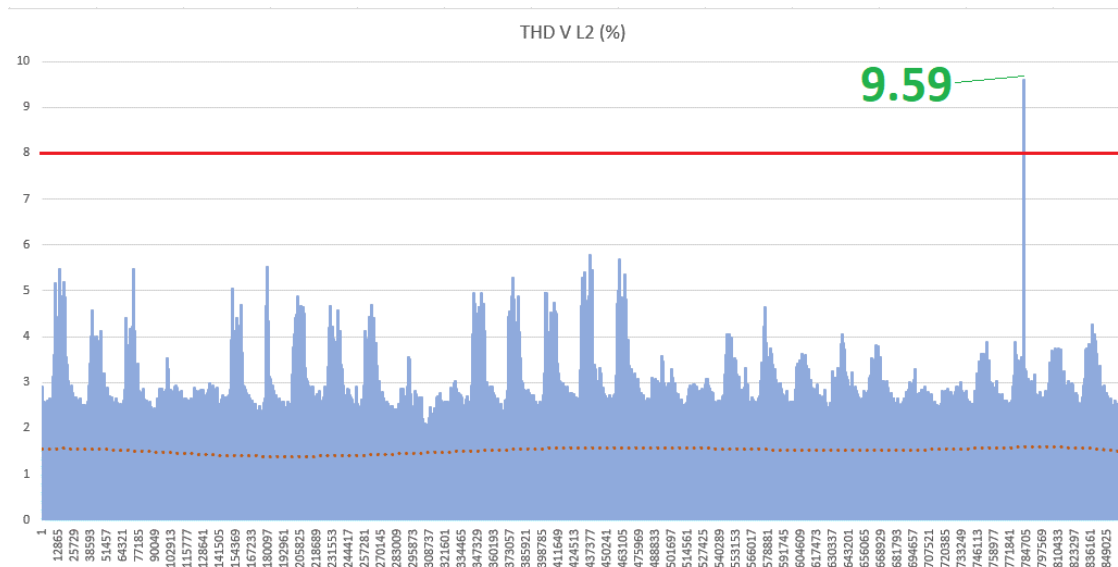
Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 95

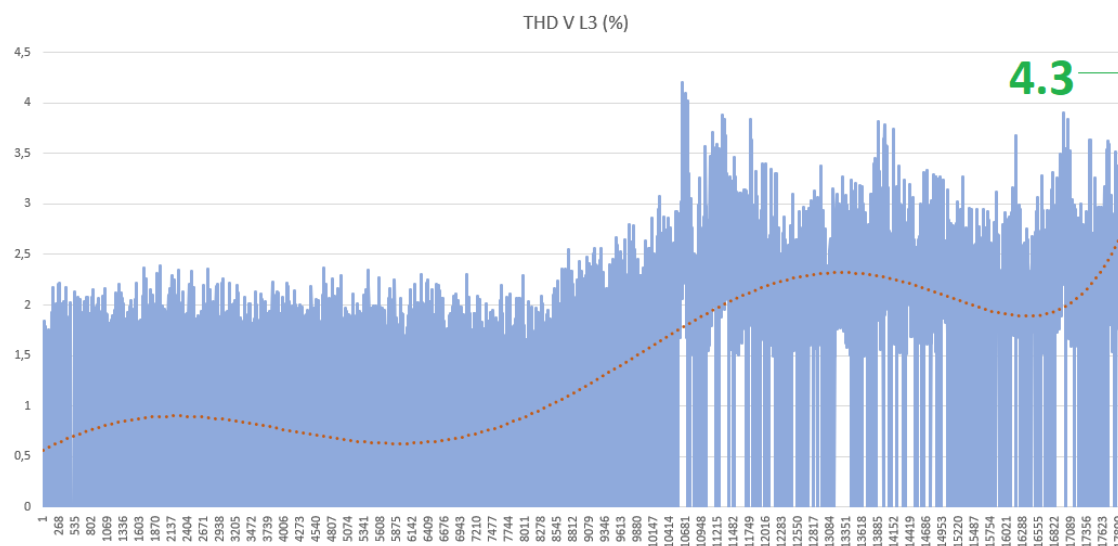
Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 96

Datos de monitoreo de armónicos de voltaje de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los armónicos de voltajes deben estar dentro del rango]0, 8[% y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19

Límites de armónicos voltaje medidos en el mes de julio

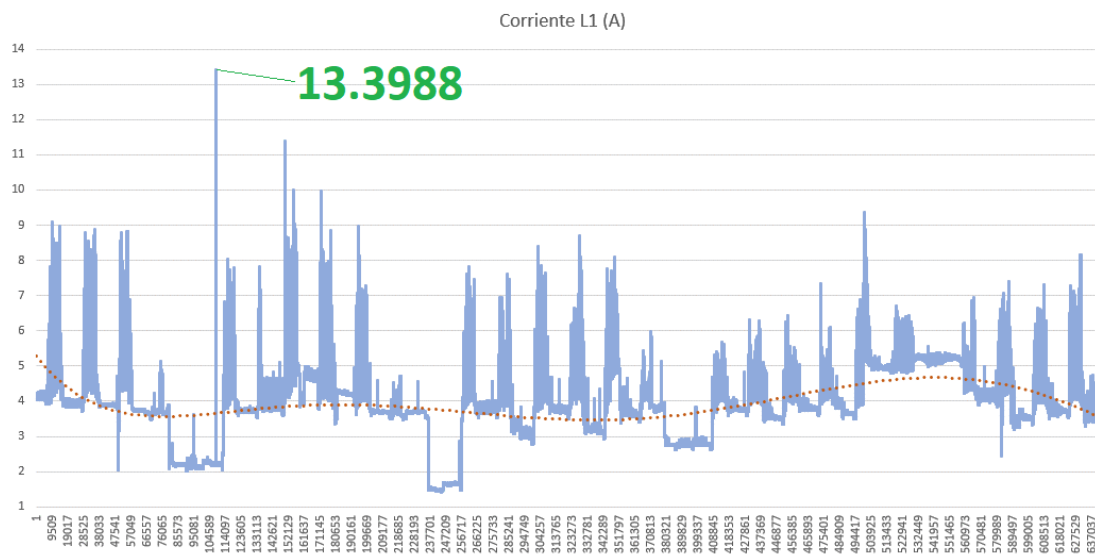
Armónico de línea voltaje	Límites de armónicos medidos	Observación
Línea 1	]0, 4.24] %	cumple con el rango superior establecido.
Línea 2	]0, 9.59] %	No cumple con el rango superior establecido.
Línea 3	]0, 4.3] %	cumple con el rango superior establecido.

Nota: Elaboración propia

- Corrientes por Línea:

Figura 97

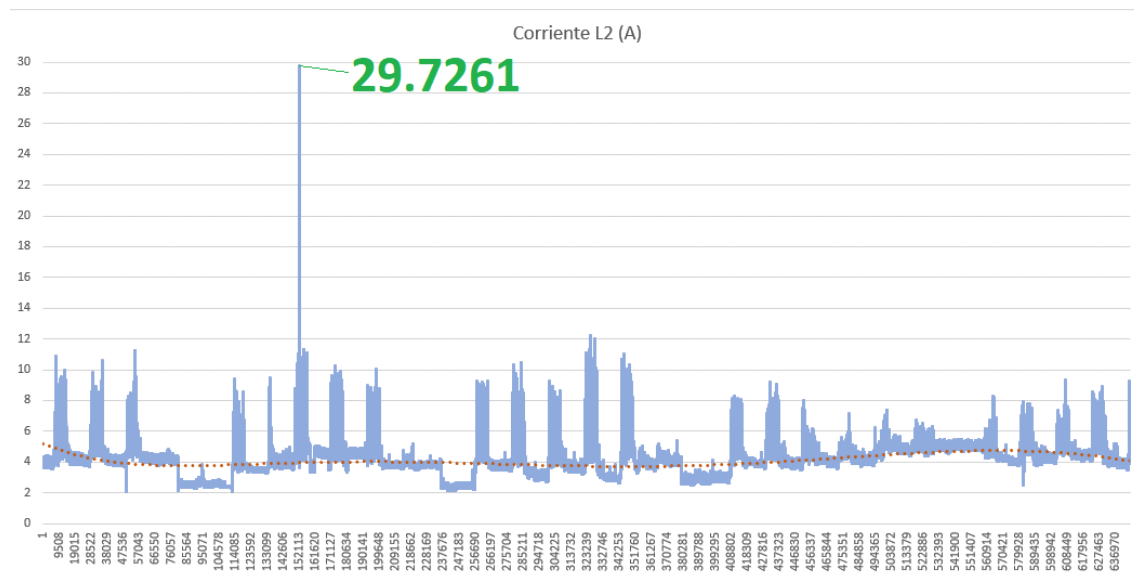
Datos de monitoreo de corriente de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 98

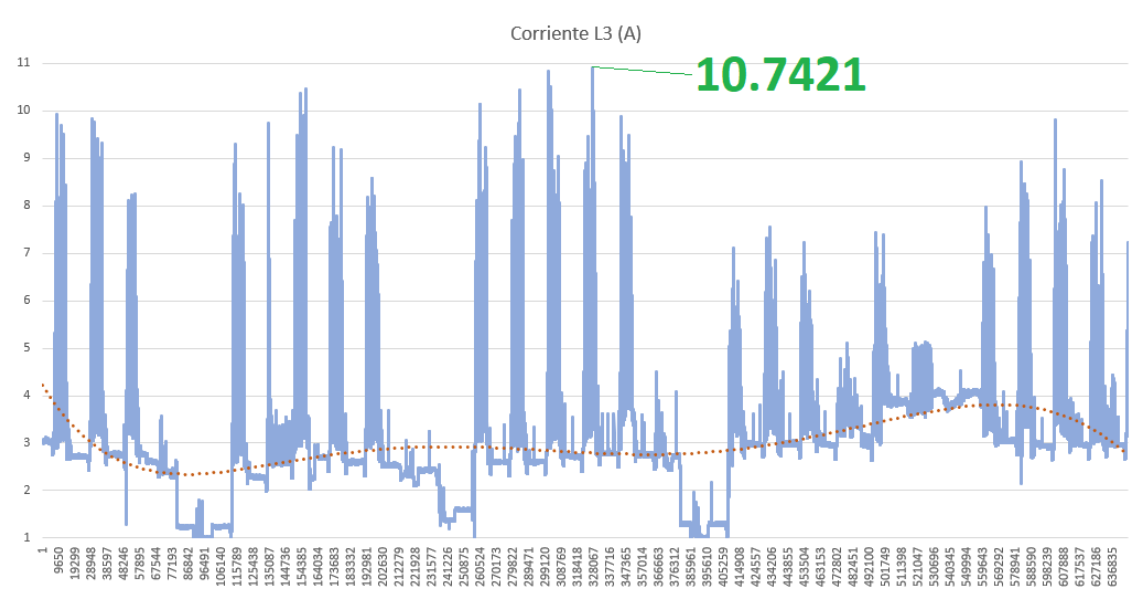
Datos de monitoreo de corriente de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 99

Datos de monitoreo de corriente de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

Los valores de corriente se encuentran presentados en la Tabla 20.

Tabla 20

Corriente medida en el mes de julio

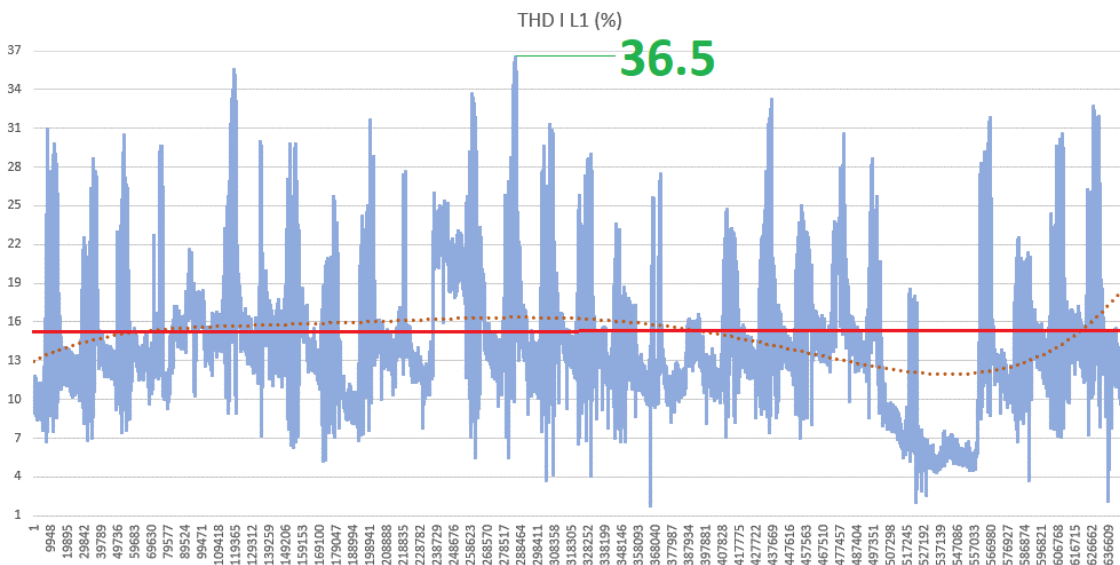
Corriente de línea	Límites de corriente medidos
Línea 1	]1.4403, 13.3988] A
Línea 2	]2.3222, 29.7261] A
Línea 3	]0.9689, 10.7421] A

Nota: Elaboración propia

- Armónicos de corriente por Línea:

Figura 100

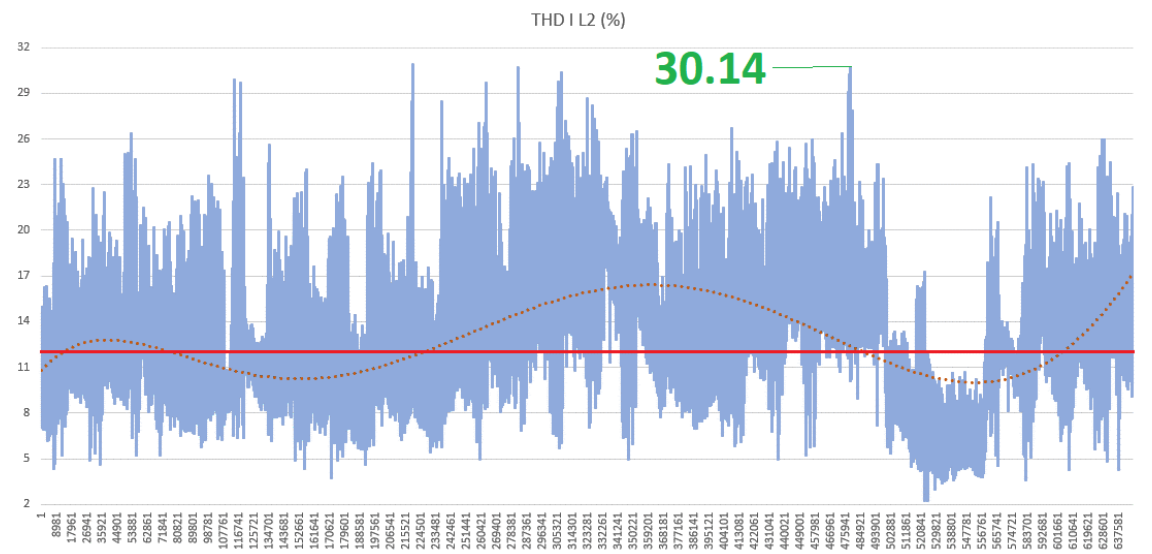
Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 1.



Nota: Elaboración propia

Figura 101

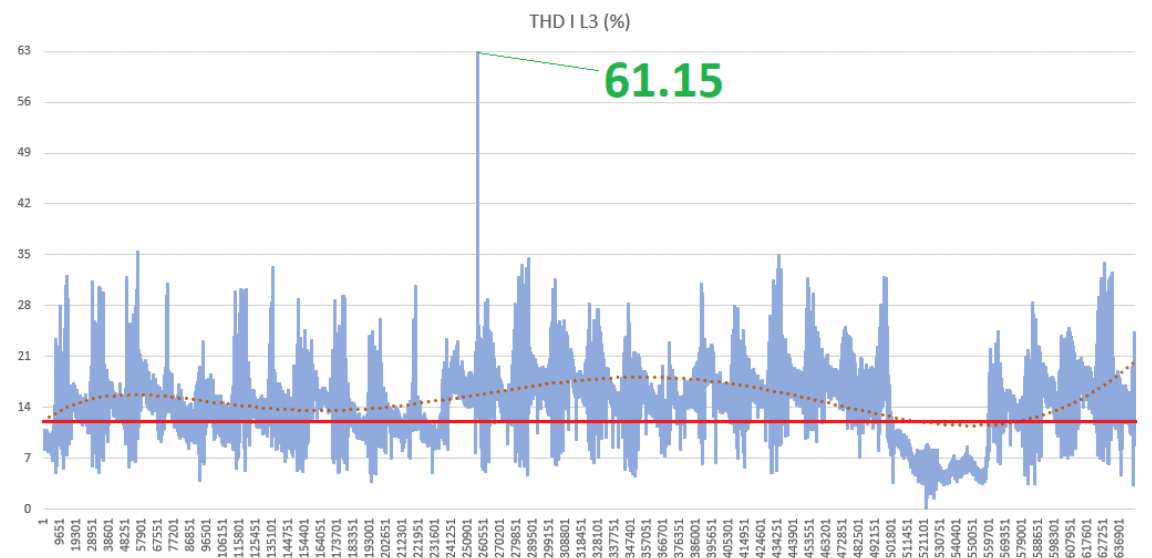
Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 2.



Nota: Elaboración propia

Figura 102

Datos de monitoreo de armónicos de corriente de Línea 3.



Nota: Elaboración propia

La distancia entre el tablero principal de 220V se encuentra a una distancia de 100 de la entrega de suministro, que son principalmente los Departamentos de

Abastecimiento y Armado & Soldadura, la resistencia de los conductores es aproximadamente $0.000849 \Omega/m$. Se aplica la ecuación (2.2) para las tres líneas se tiene, que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) es 1495.88 A, del apartado anterior se obtiene que la corriente máxima L1, L2 y L3 son 13.3988, 29.7261 y 10.7421 A respectivamente.

La relación de cortocircuito SCR al aplicar la ecuación (2.1) para la línea 1 es 111.64, para la línea 2 es 50.32 y para la línea 3 es 139.25.

Para la línea L2 el SCR obtenido se encuentra dentro del rango $50 < 100$, mientras que para las Líneas L1 y L3 el SCR se encuentra en el rango $100 < 1000$. Como se considera la corriente máxima la distorsión armónica de corriente total (THDI) y la distorsión de la demanda total (TDD) son iguales por ende sus valores no deben superar el 12% para la línea L2 y el 15% para las líneas L1 y L3.

Los valores de los armónicos de corriente obtenidos en la medición, así como la observación de cumplimiento en base a los límites establecidos por la normativa IEEE 519-2014 se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21

Límites de armónicos de corriente medida en el mes de julio

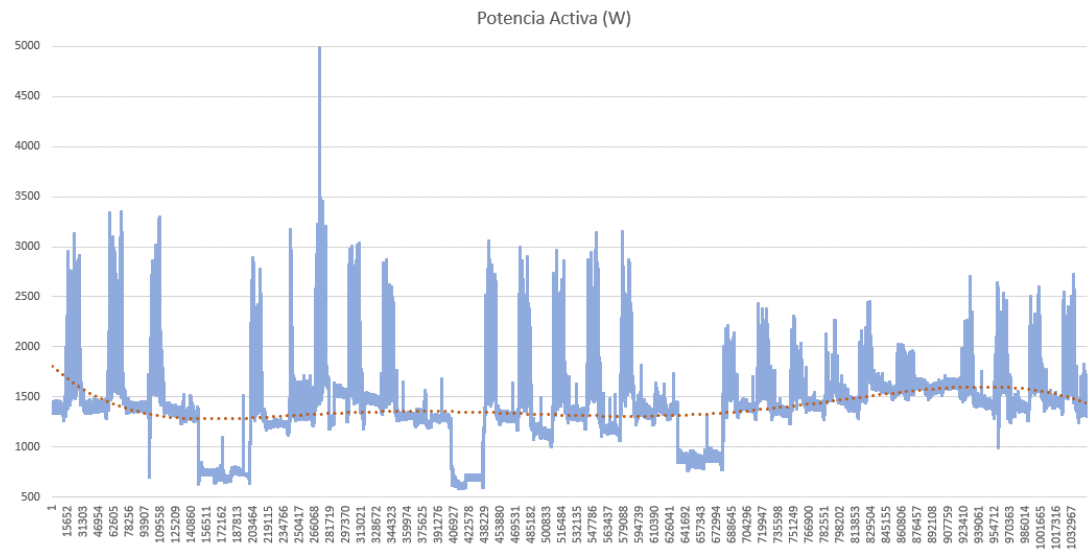
Armónicos de corriente de línea	Límites de armónicos de corriente medidos	Observación
Línea 1	]1.78, 36.5] %	No cumple con el límite 15%
Línea 2	]2.25, 30.14] %	No cumple con el límite 12%
Línea 3	]0, 61.15] %	No cumple con el límite 15%

Nota: Elaboración propia

- Potencia Activa Total:

Figura 103

Datos de monitoreo de potencia activa total.

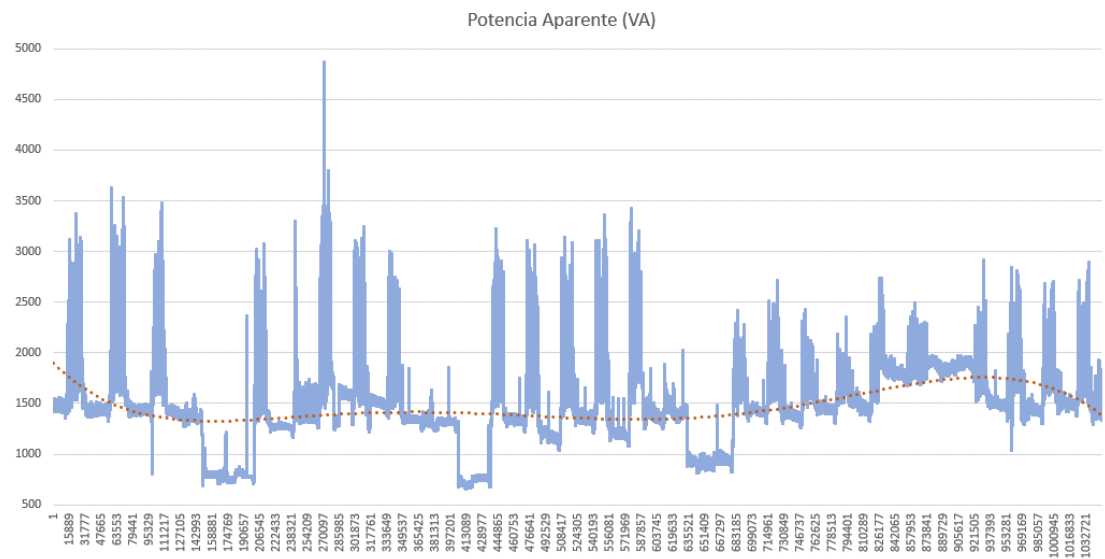


Nota: Elaboración propia

- Potencia Aparente Total:

Figura 104

Datos de monitoreo de potencia aparente total.

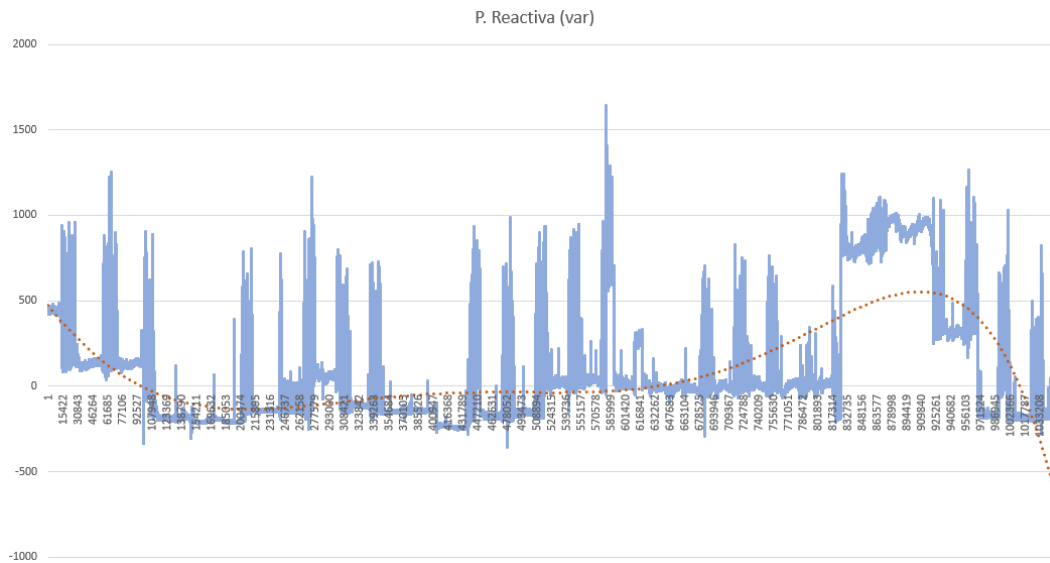


Nota: Elaboración propia

- Potencia Reactiva Total:

Figura 105

Datos de monitoreo de potencia reactiva total.

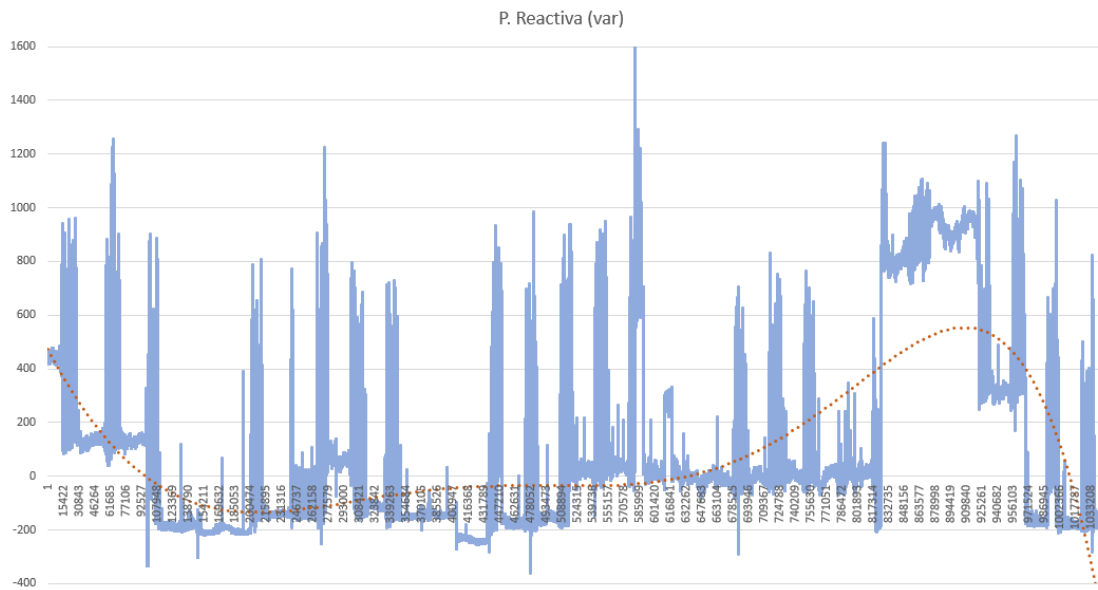


Nota: Elaboración propia

- Factor de Potencia Total:

Figura 106

Datos de monitoreo de factor de potencia total.



Nota: Elaboración propia

Desarrollo de manuales de usuario y mantenimiento

Los manuales son desarrollados en base al formato y requerimiento del departamento del SIG (Sistema Integrado de Gestión), se cuenta con dos instructivos, el primero el Instructivo de Operación para el Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía (Figura 107), donde se detallan las pantallas que están presentes en el servidor de Ubidots, para los tres paneles disponibles Voltaje, Corriente y Potencia, el instructivo detalla la manera de acceder, como interpretar y navegar entre paneles de igual forma el seleccionar el histórico que se requiera analizar. En información adicional se denota como obtener la información almacenada de manera local en la Pasarela de Comunicación Simatic IoT2040, todo esto para generar los archivos en Excel que han sido presentados.

En segundo lugar, se cuenta con el Instructivo de Mantenimiento para el Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía (Figura 108), dentro de este se menciona el cómo realizar la limpieza, verificación y ajuste en caso de presentar un mal funcionamiento la comunicación del medidor de Energía Sentron PAC3200, se contempla en cuenta la frecuencia con la que se deben realizar dichas actividades.

Por temas legales los instructivos desarrollados no pueden ser compartidos dentro del presente documento.

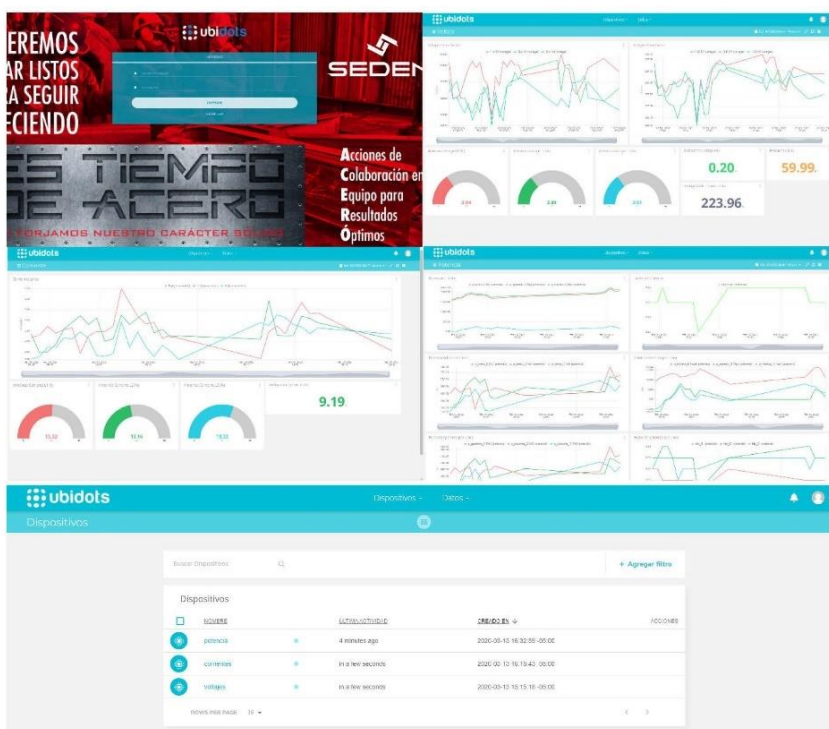
Figura 107

Instructivo de Operación para el Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía.


INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA

ISO 9001:2015
Código: INS FAM 43
7.1.3 Infraestructura
Ver.:01
Fecha: 04 03 20

INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA



Elaborado por: ASISTENTE TÉCNICO Fecha: 12 01 21	Revisado por: ANALISTA GESTIÓN DE CALIDAD Fecha: 15 01 21	Aprobado por: REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN Fecha: 18 01 21
www.sedemi.com		1 de 18

Nota: Elaboración propia

Figura 108

Instructivo de Mantenimiento para el Sistema de Monitoreo de Calidad de Energía.

	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA	
	ISO 9001:2015 Código: INS FAM 44	7.1.3 Infraestructura	Ver.:01 Fecha: 04 03 20

INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE ENERGÍA



Elaborado por: ASISTENTE TÉCNICO Fecha: 12 01 21	Revisado por: ANALISTA GESTIÓN DE CALIDAD Fecha: 15 01 21	Aprobado por: REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN Fecha: 18 01 21
www.sedemi.com		1 de 18

Nota: Elaboración propia

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Tras la implementación del sistema de monitoreo se evaluó la calidad de energía del tablero de distribución secundario a 220V para lo que se toma en cuenta la amplitud, el consumo de corriente, el total de armónicos presentes en la red tanto para voltaje como corriente, basándose en las normativas Nacionales ARCONEL 005/18 y 004/18, además de las normas internacionales EN50160, IEC61000-4-15 y la IEEE 519-2014. Con esta evaluación se evidenció que existen picos de voltaje para las líneas que superan el límite admisible que pueden ser provocados por el arranque de motores, la distorsión armónica para la variable de corriente no cumple con los límites admisibles, en el caso de la distorsión armónica de voltaje se mantiene en un rango tolerable, otra variable que presenta valores por debajo del límite permitido es el factor de potencia total, lo que provoca así el alto consumo de potencia reactiva debido a las cargas inductivas y capacitivas presentes en equipos de trabajo del personal operativo. Conjuntamente con el departamento de mantenimiento se puede validar que parte de los inconvenientes presentes en las máquinas del área pueden ser provocados por este tipo de problemas en la distribución de energía eléctrica.

El bajo factor de potencia total presente en el tablero se debe a que este no cuenta con un banco de capacitores acorde a lo necesario en vista de una mala organización en cuanto a los equipos y máquinas destinadas a trabajar con la alimentación de dicho tablero, esto provoca que al cambio de cargas presente las distorsiones y descompensaciones en la red.

La adición de filtros activos en paralelo al sistema de distribución es necesario para que este pueda trabajar dentro de la normativa ecuatoriana, con lo que se evita así la descompensación que pueda presentarse en el tablero principal de ingreso a planta.

Se presentan los valores medidos en los paneles de Ubidots se puede constatar tras una alerta de correo electrónico que existieron novedades en la red eléctrica lo que permite al personal calificado que se tome acciones en cuanto a los eventos que pudieron provocar dichas alteraciones, si equipos que no son pertenecientes a esa área fueron conectados o trasladados, así como si algún equipo presenta mal funcionamiento y requiere de un mantenimiento correctivo.

Recomendaciones

Se recomienda inicialmente que se implemente el sistema de monitoreo de variables y consumo en todos los tableros de distribución, así como también en las máquinas de mayor consumo para poder evidenciar y alertar casos de alteraciones en la red eléctrica, con esto no solamente se podrá conocer en que tableros existen perturbaciones sino en que maquinas se generan estas perturbaciones y así tomar decisiones de compensación más eficientes.

De instalarse este medidor se podrá también controlar el pago por consumo para llevar un mejor control de gastos de cada área ya que dentro de la empresa cada departamento o área tiene su presupuesto anual considerado todos los servicios incluido el consumo energético, lo que da el valor al trabajo y coste de producción por servicio prestado, como puede ser el corte y rolado por parte de Abastecimiento o el armado y soldado de Armado & Soldadura.

Trabajos Futuros

Dentro de los trabajos que se realizaron hasta el mes de enero de 2022 y otros que se han planteado son.

- Monitoreo de factor de operación y variables de soldadura de las soldadoras manuales Lincoln Flextec 450, Invertec V350 Pro e Invertec 350X. De igual

manera con ayuda de la pasarela de comunicación IoT2040 de Siemens y la plataforma Ubidots.

- Comunicación entre un PLC Siemens S7 1215C DC/DC/DC para conocer el estado de producción de una maquina encajonadora para una empresa embotelladora del Ecuador, misma que por medio de una pasarela de comunicación IoT2040 de Siemens obtenemos los datos y los transmitimos por medio de un Bot de Telegram.
- Se plantea el realizar un monitoreo de energía como el detallado en esta tesis para cada una de las máquinas que operan en el proceso de fabricación de piezas para estructuras dentro de la planta SEDEMI.
- Se planea utilizar las bondades de Node-RED para generar implementar horómetros en máquinas que se utilizan en campo y tener los datos por medio de internet, como también adquirir su ubicación geográfica por medio de mapas generados con ayuda de herramientas de Google.

Bibliografía

- Abata, A. R. (25 de 1 de 2019). *Diseño e Implementación un Sistema Distribuido empleando Protocolo de Comunicación Industrial enfocado a los Objetos (IIoT), para el control y monitoreo remoto en tiempo real (RT)*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15631>
- ARCONEL. Agencia de regulación y control de electricidad. (2018). *Regulación No. ARCONEL 053/18, Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*.
- Asociación Española de la Normalización Std UNE-EN 50160. (2020). *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*.
- Basanta, J., Fraguera, F., & Sánchez, A. (2018). La industria 4.0 un camino hacia el ahorro energético. *Dínamo técnica: revista gallega de energía*(22), 8-9.
- Bernal, G. (2018). *Historia de la Calidad de Energía*. Obtenido de <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-calidad-de-la-energia-electrica-88ebbf72-32a6-4344-9aa2-ce34cfa603b0>
- Bonilla, R. A., & Llanganate, W. B. (21 de 11 de 2017). *Auditoría energética del Hospital Básico Latacunga propuesta de mejoras para obtener un eficiente uso energético*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13942>
- Castillo, M. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL MONITOREO DE ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS, A TRAVÉS DE UN DISPOSITIVO MÓVIL*. Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4411/1/T-UCE-0011-185.pdf>
- Hagino, T. (2021). *Practical Node-Red Programming*. Packt Publishing.
- IBM. (s.f.). *Plataforma Ubidots*. Obtenido de Ubidots: <https://www.ubidots.com/>
- IECOR. (2016). *Calidad de Energía Eléctrica*. Obtenido de <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>
- IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992). (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. doi:10.1109/IEEESTD.2014.6826459
- Karla. (2022). *Ubidots*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/354249986/UBIDOT>
- Lasluisa, S. M. (19 de 11 de 2019). *Análisis de estabilidad de voltaje en estado estable en el sistema eléctrico de subtransmisión a nivel de 69 kV de la Empresa Eléctrica Ambato regional centro norte S. A. Latacunga*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21164>

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). "Norma Ecuatoriana de la construcción – instalaciones Eléctricas NEC. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- Node.js. (s.f.). *Node.js*. Obtenido de <https://nodejs.org/en/>
- Peréz, P., Clemente, -v., & Ortiz, J. (2018). Sistema embebido basado en el monitoreo de consumo de energía eléctrica de electrodomésticos para el control del gasto. *Embedded system based on the monitoring of electrical energy consumption of household appliances for cost control*, 8(1), 69-80. Obtenido de <http://www.revistatecnologiadigital.com/>
- Reid, W. E. (Mayo/Junio de 1996). Quality Issues - Standards and Guidelines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 32(3), 625-632. doi:<https://doi.org/10.1109/28.502175>
- Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *coddiiinforme*, 1-10. Obtenido de <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- SETRON PAC3200. (2008). *Manual de producto Multímetro SETRON PAC3200*. SIEMENS.
- SIMATIC IOT2000. (5 de Marzo de 2020). *SIMATIC IOT2000*. Obtenido de Siemens España: <https://new.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>
- Valle, L. d. (26 de Junio de 2018). *Introducción a Node-RED y Raspberry Pi: sistema de alarma con Arduino*. Obtenido de Programar fácil con Arduino: <https://programarfácil.com/blog/raspberry-pi/introduccion-node-red-raspberry-pi/>
- Vega, F. (2017). *DESARROLLO DE PLATAFORMA INTEGRAL DE MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS POR MEDIO INALÁMBRICO*. México. Obtenido de <http://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/207>
- Wilson, S., Chancúsig, A., Gamboa, R., Tipan, D., & Salazar, E. (2018). Control and Monitoring of Electrical Variables of a Level Process using Modbus RTU-TCP/IP Industrial Communication. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(32), 1-12. doi:10.17485/ijst/2018/v11i32/131113
- Zou, X., & Bian, L. (2011). Development of a data acquisition system for grid-connected photovoltaic systems. Yichang, China. doi:10.1109/ICECENG.2011.6058497