



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
César Augusto Crespo Chamba
Tutor/a:
PhD. Maryory Urdaneta Herrera Mg. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, PhD. Maryory Urdaneta Herrera, con C.I: 1759316126 en calidad de Tutor, del proyecto de investigación titulado: **Monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW**.

Elaborado por: César Augusto Crespo Chamba, con C.I: 1104303308, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 25 de agosto de 2024



Firma

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Mg. Wilmer Fabian Albarracín Guarochico, con C.I: 1713341152 en calidad de Tutor, del proyecto de investigación titulado: **Monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW**.

Elaborado por: César Augusto Crespo Chamba, con C.I: 1104303308, estudiante de la Maestría: Electrónica y Automatización, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 25 de agosto de 2024



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **César Augusto Crespo Chamba** con C.I: **1104303308**, autor del proyecto de titulación denominado: “**Monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW**”. Pevio a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 25 de agosto de 2024

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iii
INFORMACIÓN GENERAL	8
Contextualización del tema	8
Problema de investigación.....	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	10
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	10
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO PROFESIONAL	10
1.1. Contextualización general del estado del arte	11
1.2. Proceso investigativo metodológico	12
1.3. Análisis de resultados.....	13
CAPÍTULO II: ARTÍCULO PROFESIONAL	14
2.1. Resumen	14
2.2. Abstract	14
2.3. Introducción.....	15
2.4. Metodología.....	16
2.5. Resultados – Discusión.....	24
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS	32

Índice de tablas

Tabla 1 Comparación entre los Límites de THDV	27
Tabla 2 Mediciones de Tablero Principal de Molinos Chilenos Empresa SOMILOR S.A.....	28

Índice de figuras

Figura 1 Pinza Amperimétrica i400.....	17
Figura 2 Pinza Fluke TLS 430.....	17
Figura 3 Esquema de Conexión de la Tarjeta de Señales	18
Figura 4 Sistema de Acondicionamiento de Señales	18
Figura 5 Panel Frontal del Equipo Virtual	19
Figura 6 VI Conversor de Señal de Tarjeta de Adquisición de Datos.....	20
Figura 7 Bloque de Mediciones Instantáneas.....	21
Figura 8 Bloque de Mediciones Periódicas.....	22
Figura 9 Bloque de captura de Ondas	22
Figura 10 Bloque de Fasores.....	23
Figura 11 Bloque de Configuración de Sistema.....	23
Figura 12 Gráfica de Voltaje Línea – Neutro/Tierra.....	24
Figura 13 Gráfica de Voltaje Línea – Línea.....	25
Figura 14 Gráfica de Voltaje Ampliación 6:00am	25
Figura 15 Gráfica de Intensidad de Corriente.....	26
Figura 16 Gráfica del Factor de Potencia.....	26
Figura 17 Gráfica de Distorsión Armónica THDV.....	27

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

Se establece que la energía eléctrica es de buena calidad cuando cumple con ciertos estándares en términos de estabilidad, continuidad, ausencia de interrupciones, subtensiones, sobretensiones y perturbaciones producidas por armónicas (Mercado Polo et al., 2017). En la actualidad el sector industrial ha avanzado tecnológicamente sobre todo en procesos de automatización, implementación de equipos electrónicos y con ello cargas sensibles, provocando centrarse en el análisis de eficiencia energética en procesos industriales.

La energía eléctrica ocupa un lugar importante en nuestro diario vivir y sobre todo en las industrias que avanzan a pasos agigantados de la mano con la tecnología, la cual es utilizada como fuente de diversos equipos eléctricos, procesos industriales, para lo cual es importante contar con un sistema eléctrico eficiente, óptimo y de calidad. La energía eléctrica a nivel industrial se ha empleado en la elaboración de la mayoría de los equipos que se utilizan cotidianamente. Por consiguiente, las perturbaciones que se presentan en el sistema eléctrico influyen directamente al usuario.

La Compañía SOMILOR S.A. es una empresa de mediana escala dedicada a la extracción procesamiento y exportación de minerales específicamente el Oro, posee equipos eléctricos como: compresores, motores eléctricos, winches, centros de computación, soldadoras, amoladoras, tornos, cargadores de Baterías, electrodomésticos, iluminación etc. Debido a su ubicación geográfica donde es un sector industrial de alta demanda de energía eléctrica, se presenta en la empresa un sinnúmero de perturbaciones en la Red Eléctrica Suministrada por la Distribuidora, por lo que, al aplicar monitoreo y análisis predictivo de la energía eléctrica en el sistema, nos permitiría contrarrestar las consecuencias y realizar una solución eficaz en base a mediciones empleadas.

Una buena calidad de energía es fundamental para mantener una confiabilidad y protección de los sistemas eléctricos y para asegurar un funcionamiento eficiente de los equipos conectados a la red eléctrica. Debido al precio y costos elevados que significa para las empresas industriales un análisis de calidad de energía eléctrica, se pasa por alto los problemas que generan las perturbaciones en la red eléctrica. Se puede decir, que el objetivo de la eficiencia energética es emplear un método predictivo para detectar y lograr la corrección de las perturbaciones presentes en el sistema eléctrico, y con ello proporcionar alternativas de corrección de las fallas que se presentan.

Problema de investigación

Actualmente la eficiencia de la energía eléctrica se ha tornado un análisis muy importante tanto para las Empresas Eléctricas Distribuidoras de energía como para sus clientes ya sean residenciales como industriales. La empresa SOMILOR S.A. ubicada en cantón Camilo Ponce Enríquez, tiene un alto nivel de perturbaciones de la red eléctrica debido a la utilización de equipos de potencia y equipos electrónicos fuentes de distorsión lo que conlleva a una serie de fenómenos eléctricos que se presentan en el sistema eléctrico que forman parte importante en el sistema Industrial.

Para la Empresa SOMILOR S.A., las distorsiones de la energía pueden abarcar una cantidad considerable de dinero. En este sector minero industrial los problemas habituales de calidad eléctrica son las perturbaciones presentes a largo y corto plazo. Las perturbaciones eléctricas pueden afectar al voltaje, la intensidad de corriente y la frecuencia, estas perturbaciones se presentan en las instalaciones de bajo voltaje del usuario, las cargas del sistema eléctrico o por parte de la empresa eléctrica, al no ser detectadas pueden provocar algunos problemas, entre estos paros inesperados del sistema, daños de nivel de aislamiento en equipos y conductores, reinicio de procesos que conlleva tiempo perdido y reemplazo de equipos sensibles.

El determinar el impacto económico total es muy complicado, pero es evidente el ahorro si se emplea un análisis predictivo y con ello se logra solucionar los problemas existentes en la red eléctrica. Además, se debe mencionar que los analizadores de redes que se ocupan para los estudios de eficiencia energética industrial poseen un precio elevado, así como la realización de dichos estudios por parte de contratistas externos, ocasionando que muchas industrias no se centren en este problema. Por esta razón se hace necesario realizar un analizador de redes industriales eléctricas, que ayude a realizar un análisis de las redes eléctricas y con ello plantear correcciones de distorsiones que se presentan.

El incremento de demanda en el sector minero, con el ingreso de motores de gran potencia para el proceso de material aurífero ha provocado un flujo de sistema eléctrico variable e inestable en el sector. Surge el interés de obtener un equipo remoto de estudio de la eficiencia de la energía a nivel industrial, de los equipos más importantes y sensibles a perturbaciones de la empresa SOMILOR S.A., con la aplicación LabVIEW, adaptación de señales análogas, uso de protocolos de comunicación para llegar a un análisis predictivo y poder contrarrestar las fuentes de perturbaciones del sistema eléctrico.

Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo remoto de redes eléctricas industriales basado en LabVIEW.

Objetivos específicos

- Contextualizar los fundamentos teóricos sobre los analizadores de calidad de energía eléctrica y la plataforma LabVIEW.
- Seleccionar los dispositivos y elementos adecuados para realizar el analizador de redes eléctricas industriales.
- Diseñar el programa para análisis y monitoreo remoto de calidad de energía mediante LabVIEW.
- Evaluar el funcionamiento del analizador de redes eléctricas industriales en el tablero principal que abarca áreas con equipos sensibles de la compañía SOMILOR.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

El proyecto aporta a la comunidad industrial, así como también empresarial ya sea privadas o públicas directamente, proporcionará las distorsiones presentes en el sistema eléctrico y con ello actuar en las fuentes del mismo, aportando eficiencia energética, ahorro de recursos financieros, reducción de tiempos de parada en producción por eventos de fallas ocurridas y prevención de eventos futuros. Los beneficiarios indirectos serían la comunidad científica, técnica e industrial tendrían un referente para futuros proyectos a nivel industrial a un costo bajo.

SOMILOR S.A. es una empresa de mediana escala que realiza extracción y procesamiento de material aurífero, la cual posee equipos de potencia y equipos electrónicos tanto para la extracción como para el procesamiento del material, la cual al pertenecer a una zona industrial posee un sinnúmero de perturbaciones en el sistema eléctrico, con la implementación de nuevas tecnologías en el análisis de energía se protege equipos sensibles, parada de procesos, calidad del producto y personal, por eso es necesario un análisis de redes eléctricas, que por falta de recursos y precios elevados que conlleva una consultoría de tal magnitud no se ha realizado.

El monitoreo y revisión de los tableros es realizado por los operadores y el personal de mantenimiento eléctrico, son los principales beneficiarios, ya que se podría analizar el sistema de manera remota y poder actuar frente a correcciones del mismo evitando ir al sitio. El proyecto ofrece un sistema de monitoreo y supervisión de datos, transformación de señales con adquisición y conversión de ellas, el programa LabVIEW será el encargado de adquirir las señales y guardar las mismas, el sistema nos brindará las distorsiones presentes en la red eléctrica y así lograr corregir las fallas logrando así un mantenimiento predictivo y con ello un sistema eléctrico eficiente y de calidad.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO PROFESIONAL

1.1. Contextualización general del estado del arte

Al analizar las diferentes fuentes de información científica de institutos de investigación, las diferentes fuentes a nivel superior como artículos, tesis, y libros, que aportan como referencia al analizador de eficiencia energética eléctrica, adquisición de datos y plataforma virtual LabVIEW, además contribuyen como guía para el progreso del proyecto de investigación. Los analizadores de redes son herramientas fundamentales para el mantenimiento y la optimización de sistemas eléctricos en entornos industriales.

Según Torres (2020) plantea soluciones para obtener mediciones a través de la elaboración de un equipo virtual sencillo, económico y eficiente. Se menciona la programación en LabVIEW, Tarjeta de Datos DAQ NI USB-6009 y enmarca como ejemplos analizadores de calidad de energía, telurómetro y análisis de motores. Este artículo ayuda a la utilización de equipos económicos y a la vez eficientes en la obtención de datos, la utilización de tarjeta NI 6009, la visualización de transformación de señales para la DAQ y además el diseño en LabVIEW, enmarcan un comienzo para la conversión de señales eléctricas a digitales con una tarjeta económica.

El artículo de investigación Diseño de analizador de potencia usando LabVIEW, propone un instrumento virtual para la función de analizador, LabVIEW proporciona una plataforma de software para el desarrollo de instrumentos virtuales mediante la adquisición de datos de corrientes y voltajes a través de MyDAQ, proporcionando una interfaz de programación sencilla, permitiendo medir parámetros de calidad del sistema eléctrico. El trabajo mencionado aporta para vincularse con los analizadores de redes eléctricas o medidores de eficiencia energética, la calidad de energía, la programación, la conversión de señales análogas a digitales. Este artículo nos brinda un prototipo de inicio para la creación del analizador de redes eléctricas a nivel industrial (Srikanth et al., 2020)

El proyecto Analizador de redes eléctricas con transmisión inalámbrica de datos busca solucionar el problema de adquirir un analizador de redes eléctricas a bajo costo, mediante un equipo Arduino que permite la adquisición de datos análogos, la integración de una pantalla Nextion 7 pulgadas, análisis de señales y datos en tiempo real, adicional una comunicación inalámbrica para mejorar las mediciones. La mencionada tesis tiene una relación con mi proyecto en el diseño de una tarjeta electrónica con el software Proteus, donde se acopla sensores y se transforma señales para lograr un analizador de redes eléctricas, además que se logra realizar una comunicación inalámbrica en tiempo real un proyecto muy importante para la comprensión de señales análogas a digitales (Intriago, 2019).

El proyecto de investigación sistema de control y monitoreo de parámetros eléctricos de la subestación de transformación Novacero mediante LabVIEW, plantea un sistema automático con software de supervisión visual de los parámetros eléctricos y las cargas de mayor demanda, permitiendo la visualización de apertura y cierre de cada equipo de la subestación ya sea este local o remoto desde una PC. Este trabajo investigativo ayuda al diseño en el software LabVIEW, las acciones remotas planteadas y la comprensión de la transformación de las señales analógicas a digitales en la adquisición de datos eléctricos (Mullo, 2022).

Según Calapucha (2016) en su tesis utilizan un equipo de National Instruments, denominado Compact-RIO, este es un componente de un procesador industrial el cual obtiene datos en tiempo real dando un alto nivel de eficiencia. Adicionalmente con la tarjeta NI 9227, NI 9225 y el software LabVIEW se logra analizar la eficiencia energética de un motor trifásico jaula de ardilla. Este proyecto investigativo ayuda al entendimiento del software LabVIEW, la programación de este a través de la plataforma virtual, además de la comprensión de sus módulos para la adquisición de datos. Adicional cada uno de los elementos para un medidor de eficiencia, la transformación de señales analógicas y sistemas de medición a través de transformadores.

El presente proyecto busca desarrollar un equipo portátil para el análisis de redes eléctricas a nivel industrial a un bajo costo, mediante la implementación de una tarjeta electrónica que permita la medición de todos los sistemas de bajo voltaje 120/240V Monofásica, 127/220V trifásico y a nivel industrial 254/440V trifásico, que acoplados con una tarjeta electrónica de datos, una Tablet y con la programación en la plataforma virtual LabVIEW nos permita remotamente el análisis de calidad de energía en las Empresas Industriales, con lo que se lograría un análisis predictivo y con ello plantear un mantenimiento correctivo si es el caso.

1.2. Proceso investigativo metodológico

Este proyecto investigativo se centrará en el tipo de investigación aplicada y explicativa para dar solución a la problemática planteada, mediante la utilización de tecnologías actuales y conocimientos teóricos consiguiendo un diseño, para así lograr la implementación del sistema y con ella el análisis.

Mediante la **investigación de bibliografía**, la obtención de información a través del internet de bases de tesis, publicaciones y artículos científicos para recopilar diferentes enfoques del tema y ampliar los conocimientos en referencia al proyecto de estudio.

Con la **investigación de Campo** en la estación de transformación principal de la empresa SOMILOR se obtendrá datos útiles del sistema eléctrico además información confiable que nos permita el diseño eficiente del proyecto con profesionalismo.

Mediante la **recolección de información** y los datos a analizar que se obtiene de personal que maniobra en la sala de máquinas principal, artículos y revistas científicas, repositorios digitales de universidades nacionales y extranjeras que recopilen información referente al tema de estudio.

Con un **análisis de la información**, se organiza mediante secuencia, primero revisar y clasificar la información obtenida, luego evaluar tácticas que nos ayuden a brindar una mejor solución al problema de la investigación y finalmente interpretar y concluir los datos obtenidos en el transcurso del desarrollo del sistema.

1.3. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tomará en cuenta el orden que se plantea a continuación:

- Recolección de información de las redes eléctricas existentes y del personal de mantenimiento de la empresa SOMILOR S.A.
- Con investigación de campo se realizará la tarjeta electrónica mediante el método de transferencia térmica y acople de elementos tales como transformadores de voltaje de 440V/6V, pinza amperimétrica Fluke i400, pinza cocodrilo para voltajes, tarjeta NI 6009 y Tablet PC acorde para mediciones y de software
- Mediante investigación bibliográfica se diseñará la instrumentación virtual en software LabVIEW acorde a las mediciones existentes en la empresa objeto para validar nuestro sistema y además de programación de TeamViewer para monitoreo.
- Con el análisis de la información se logrará plasmar la mejor información y realizar el proyecto y con ello validar la investigación con prueba del sistema.

CAPÍTULO II: ARTÍCULO PROFESIONAL

2.1. Resumen

El analizador de energía es un dispositivo para el análisis de calidad de la energía eléctrica y comprende el análisis de diversas cantidades eléctricas. Este proyecto propone un dispositivo portátil, virtual económico que permite la medición de parámetros a nivel de bajo voltaje en redes industriales. Los sistemas de medición actuales y las consultorías para un análisis de calidad son muy costosas. Se supera estas dificultades desarrollando un instrumento virtual rentable para sistemas industriales que beneficie con el análisis de energía en la empresa SOMILOR S.A. LabVIEW proporciona una plataforma de software para desarrollar instrumentos virtuales mediante la adquisición de datos de corriente y voltaje a través de transformadores de medición en conjunto con la DAQ NI 6009, brindando una buena visualización y una interfaz de programación sencilla. Con la medición de la red en la empresa Somilor se logró detectar fluctuaciones de voltaje, bajo factor de potencia, dando así las pautas para un mantenimiento predictivo y los puntos a corregir y a la vez se incorporó un monitoreo remoto mediante software TeamViewer.

a. Palabras clave:

DAQ, instrumentación virtual, LabVIEW, TeamViewer, transformadores de medición.

2.2. Abstract

The energy analyzer is a device for electrical power quality analysis and comprises the analysis of various electrical quantities. This project proposes a portable, virtual and economical device that allows the measurement of parameters at low voltage level in industrial networks. Current measurement systems and consultancies for quality analysis are very expensive. These difficulties are overcome by developing a profitable virtual instrument for industrial systems that benefits the energy analysis in the company SOMILOR S.A. LabVIEW provides a software platform for developing virtual instruments by acquiring current and voltage data through measurement transformers in conjunction with the NI 6009 DAQ, providing good visualization and a simple programming interface. With the measurement of the network in the Somilor company, it was possible to detect voltage fluctuations and low power factor, thus providing guidelines for predictive maintenance and the points to correct and at the same time remote monitoring was incorporated using TeamViewer software.

a. Keywords

DAQ, virtual instrumentation, LabVIEW, TeamViewer, measurement transformers.

2.3. Introducción

La calidad de la energía eléctrica es un aspecto crítico para garantizar un suministro eléctrico confiable y seguro, así como para proteger los equipos y usuarios finales. Es importante monitorear y gestionar la calidad de la energía para mantener el funcionamiento adecuado de la red y satisfacer las necesidades de clientes finales. En este contexto, el presente artículo muestra el monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW como respuesta a los problemas de distorsión en la red eléctrica presentes en la empresa SOMILOR S.A.

El diseño del instrumento virtual se enmarca en el ámbito de la Calidad y eficiencia energética, los equipos de análisis de redes eléctricas son útiles para el diagnóstico de problemas de calidad de energía y para optimizar la eficiencia energética de los sistemas. Esta investigación se centra en la calidad de energía a nivel industrial, mediante la plataforma virtual, la adquisición de datos y el control remoto del mismo con tecnologías actuales, permitiendo así un sondeo predictivo de la red, presentar soluciones y centrarnos en los problemas de red.

La investigación se lleva a cabo en base a los problemas presentes en la red eléctrica en la empresa SOMILOR S.A., empresa dedicada a la extracción y procesamiento de material específicamente oro. Se propone la implementación de un equipo virtual portátil de monitoreo remoto y análisis de redes eléctricas, como una solución innovadora, de bajo costo que nos permite analizar las distorsiones presentes, mejorar la calidad, reducir los paros de maquinaria, y servir como modelo para las empresas con dichos problemas a nivel local como nacional, para alcanzar esto el estudio se enfoca en determinar una solución eficaz al problema en la red, diseñar e implementar un monitoreo remoto de redes eléctricas basado en LabVIEW y validar los resultados mediante análisis en los tableros de áreas con equipos sensibles, con el fin de dar una solución predictiva que mejore la calidad y eficiencia de las instalaciones eléctricas de la empresa.

Para el desarrollo del trabajo investigativo se tomó como referencia el artículo “Desarrolla instrumentación virtual con LabVIEW y reduce costos”, el mismo que presenta el diseño de un analizador de calidad de energía, un telurómetro y el análisis de un motor con instrumentación virtual, con la utilización de la DAQ NI USB-6009 demostrando el uso de LabVIEW como solución a problemas presentes tanto en redes como equipos eléctricos a bajo costo (Torres, 2020). La tarjeta NI 6009, cuenta con 8 entradas analógicas y dos salidas analógicas con contador de 32 bits, siendo suficientemente poderosa para aplicaciones de medidas más sofisticadas y la apropiada para estudios relacionados con energía eléctrica.

2.4. Metodología

En este proyecto se involucra varias secciones adquisición de información en situ, acondicionamiento de señales, transformación de señales análogas a digitales y el cálculo y diseño en el software LabVIEW, así como el control de la Tablet mediante TeamViewer.

Como menciona Torres (2020) LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica con bloques de programación virtual, en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones que se nombran VI y presenta forma de ícono.

En la parte electrónica y comunicación, se obtuvo información de los elementos como acoples de señales de TCs y TPs (Intriago, 2019).

2.4.1. Adquisición de información.

Se realizó recopilación de información de las redes existentes en la empresa SOMILOR, abarcando sistemas principales trifásicos 4 hilos 440/254V y 220/127V, sistemas trifásicos 3 hilos 440V, 220V sistemas bifásicos 240/120V y sistemas monofásicos 110V centrándonos en el trifásico 4 hilos, en la entrevista al personal de mantenimiento expusieron la inquietud ya que los tableros principales se encuentran distantes la manera de monitorear la información remotamente objeto de este estudio con el empleo de TeamViewer.

2.4.2. Acondicionamiento de señales eléctricas.

Como menciona Torres (2020) la NI USB 6009, es una tarjeta de adquisición de datos con las cualidades para realizar un analizador de redes, es de 14 bits, 48 KS/s con 8 entradas análogas (14 bits, 48KS/s), a salidas análogas (12bits a 150 S/s), 12 E/S digitales y un contador de 32bits.

La tarjeta NI USB 6009 es la indicada para el proyecto, cabe mencionar que las entradas analógicas poseen un rango máximo de (-10) +10V, por lo que se hace necesario el acondicionamiento mediante el uso de transformadores de corriente y transformadores de voltaje.

Para la realización de acondicionamiento se realizó una tarjeta electrónica con acople de pinzas amperimétricas se seleccionó la pinza amperimétrica Fluke *i400* como se observa en la figura 1. Este tipo de pinzas, también conocidas como pinzas de corriente o alicates amperimétricos, se utilizan comúnmente en la industria eléctrica, la ingeniería, la electrónica y el mantenimiento de equipos para medir corriente en conductores sin necesidad de interrumpir el circuito, sus características son apropiadas para mediciones de hasta 400 ACA, conector tipo BNC que se acopla a muchos medidores de la misma marca, dos rangos de medición de 40 y 400 A, nivel de salida 10 y 1 mV/Amp (FLUKE, Pinzas de corriente, 2024).

Figura 1

Pinza Amperimétrica i400



Para la toma de voltaje se adquirió pinzas tipo cocodrilo TLS 430 como se muestra en la figura 2, de la misma marca Fluke. Estas pinzas se utilizan comúnmente en aplicaciones de mantenimiento, diagnóstico y detección de problemas en redes ya sean eléctricas o electrónicas, son reconocidas por su precisión, durabilidad y facilidad de uso, además con clasificación CAT IV 1000 VCA y CAT III 600 VCA con conexión tipo banana, abarca conexión de cable hasta 32mm (FLUKE, Cables sondas y puntas de prueba, 2024)

Figura 2

Pinza Fluke TLS 430



Una vez que se realizó la selección de pinzas a emplear acorde a la tarjeta NI 6009, en la figura 3 y figura 4, se expone el esquema de la tarjeta electrónica de acondicionamiento de señales tanto de corriente como de voltaje. En la tarjeta se utiliza transformador de voltaje de 440V a 6,3 V en conexión estrella, adicional se realiza un divisor de voltaje con resistencia de 1 k Ω para llegar a valores más bajos

y que no afecte la DAQ que trabaja a valores máximos de 10VCA. Para la señal de corriente se colocó resistencias de protección para la pinza amperimétrica, cabe recalcar que las pinzas son seleccionadas por el bajo costo y acorde al sistema.

Figura 3

Esquema de Conexión de la Tarjeta de Señales

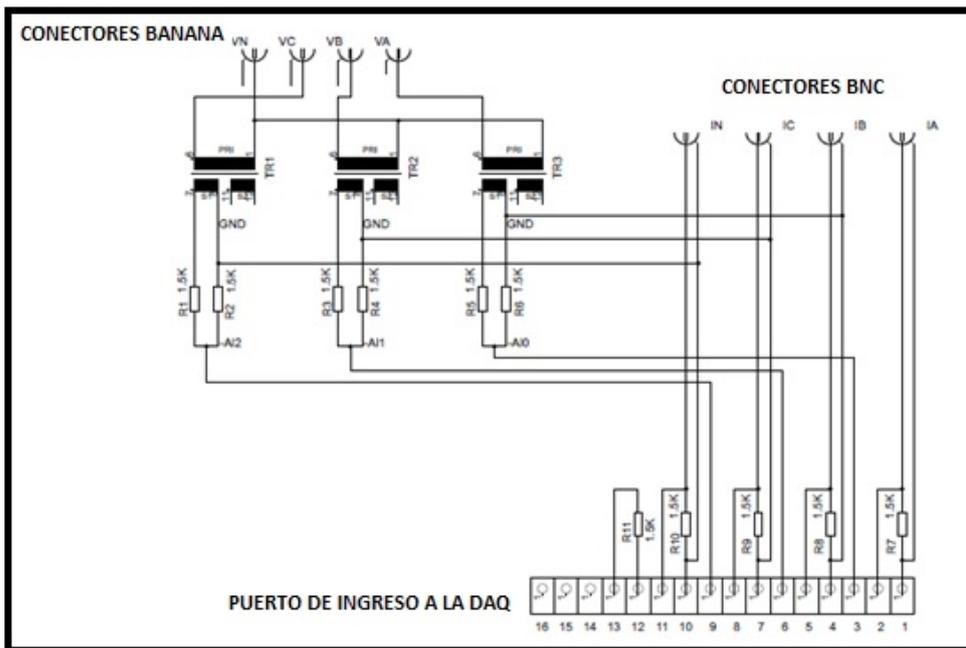
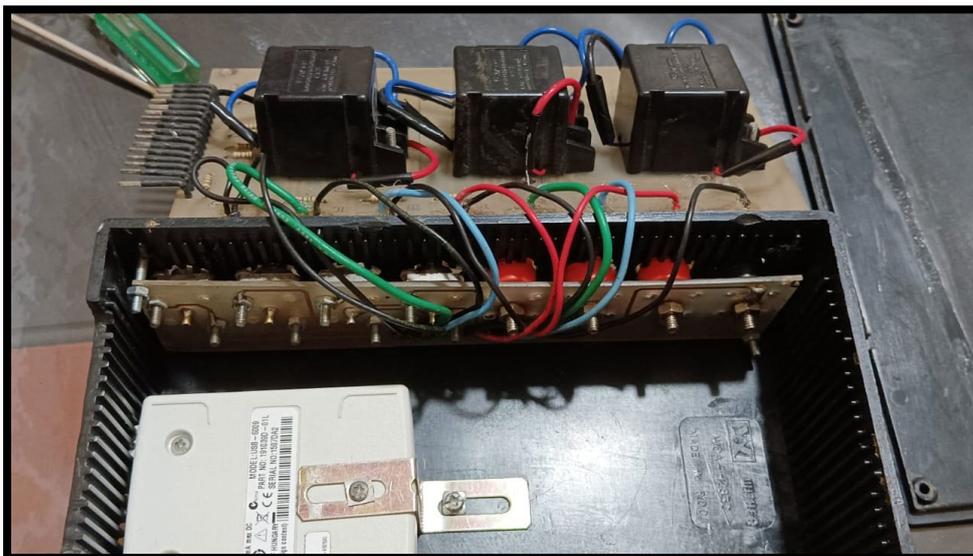


Figura 4

Sistema de Acondicionamiento de Señales

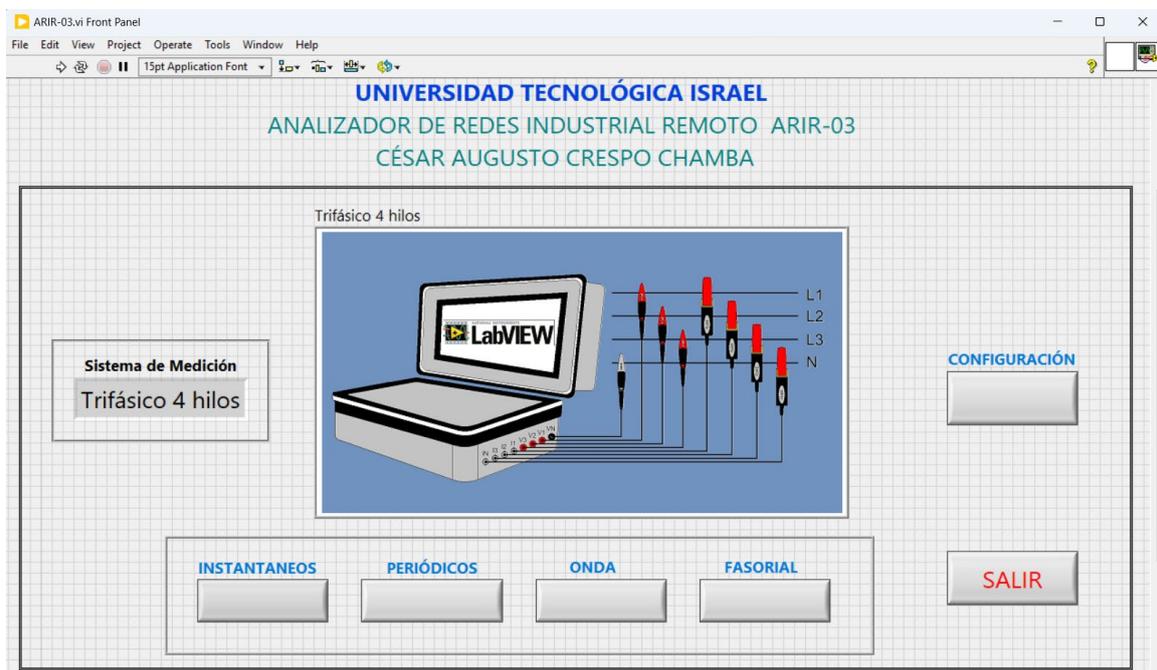


2.4.3. Calculo en LabVIEW.

Para la realización del diseño en software LabVIEW se renombro al equipo virtual con ARIR-03 como muestra la figura 5, se tomó en cuenta las posibilidades que brindan los analizadores en la actualidad, se realizó el siguiente proceso: primero se programó la adquisición, medición, instantáneas, periódicas, ondas, fasorial y configuración.

Figura 5

Panel Frontal del Equipo Virtual

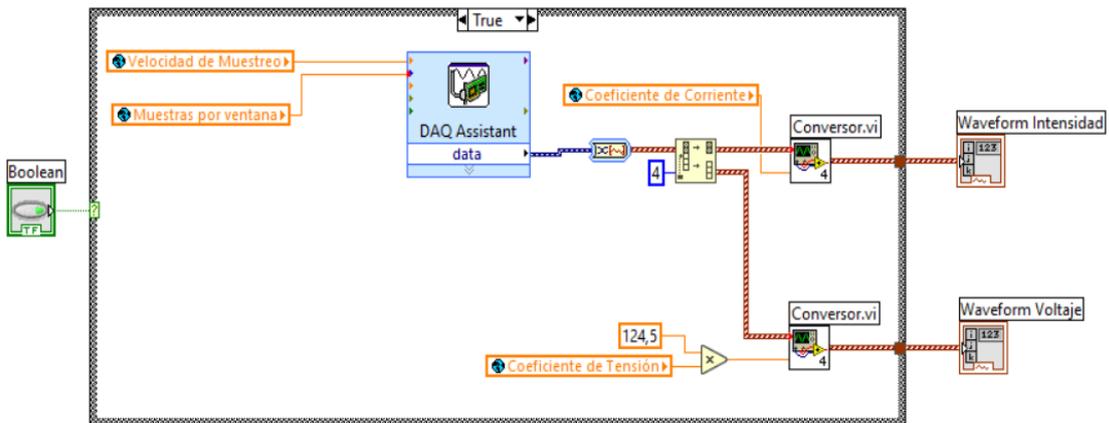


VI Adquisición

Para la adquisición de datos se instaló con el LabVIEW los drivers para la tarjeta NI, 6009, dando el enlace entre la parte análoga con la digital, se empleó un switch con true actuando desde la corrida del ejecutable, posterior un case structure para dimensionar por bloques aquí se programa velocidad de muestreo de la tarjeta 960 Hz, muestras por ventanas 16, selección de corriente(40 o 400 A)y coeficiente de divisor de tensión y transformación que puede ser modificable en el panel principal de configuración como se muestra en la figura 6.

Figura 6

VI Conversor de Señal de Tarjeta de Adquisición de Datos



Se realizó un VI conversor de señales permitiendo el ingreso de las variables de corriente y voltaje mediante el empleo de “rate”, “number of samples” y los convertidores, donde se fija la relación de voltaje y corriente de los transformadores de medición, realizando la adaptación a las señales llegando a las entradas análogas de la DAQ, a este conversor se le aplica la selección del sistema a medir para continuar con el bloque de mediciones.

Es importante que la tableta para el análisis de la red eléctrica sea acorde al muestreo, se seleccionó una tableta Fusión 5 de Microsoft, RAM de 8GB, sistema operativo Windows 11 Home, capacidad de disco SSD de 256 GB ampliable mediante micro USB hasta 500GB.

En la tarjeta de adquisición se configuró las entradas de 4 corrientes y cuatro voltajes utilizando las 8 entradas análogas de la tarjeta quedando establecido el valor de voltaje +- 10V.

VI Parámetros de Medición

Este bloque es la parte principal de los cálculos, se emplea los cálculos con las señales de corriente y voltaje para variables directas y las indirectas en consecuencia de las directas se emplea el método de vatímetros para cálculos de potencias como se puede observar en el Anexo 4.

- Con las señales de voltaje y corriente se aplica un “Cal Fourier” para la adquisición de valores eficaces (rms) de los mismos y los ángulos empleando “Amplitude and Level” y “tone Measurements”.
- Con elementos de bloque se realiza la secuencia de corriente de fases tanto positiva, como negativa, y secuencia cero.
- Para la distorsión armónica se emplea la herramienta “distortion measurements”.

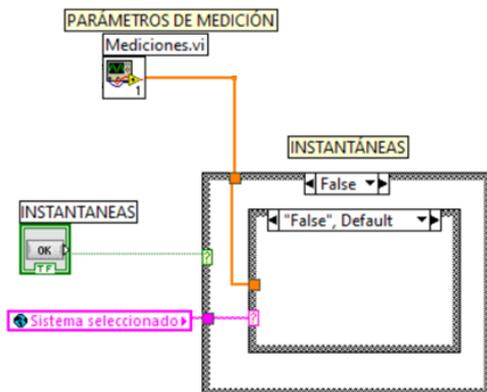
- Las potencias tanto activas, reactiva y aparente se calcularon en base a señales de voltaje y corriente con sus ángulos calculados anteriormente se emplean “*Cal_mod_ang*” y “*Cal Fourier*” se emplean fórmulas comunes de cálculo en base a la corriente y el voltaje para los diferentes sistemas además con un “*Case Structure*” cada cálculo.
- Para el cálculo de Factor de potencia se utilizó los bloques de la potencia Aparente sobre la potencia activa. En los cuatro tipos de sistemas de medición.
- En el cálculo de la energía, se tomó los bloques de potencia activa sobre el tiempo en milisegundos además de un “*case structure*” para encerrar la energía.

VI Instantáneas

Se realizó un botón en el panel frontal para ingreso a mediciones instantáneas de acuerdo a la configuración seleccionada, como se muestra en la figura 7. Este “*Case Structure*” enlazado por el bloque “Sistema seleccionado” contiene cuatro VIs que se ejecutan de acuerdo al sistema a analizar. El sistema va enlazado con los cuatro VIs, además se incrementó un VI, “*Save Instantáneas*” para guardar las mediciones en una hoja de Excel con el empleo de “*Write Spreadsheet*”.

Figura 7

Bloque de Mediciones Instantáneas

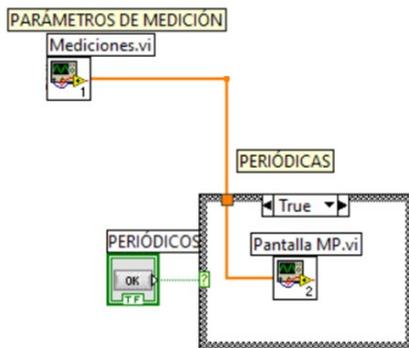


VI Periódicas

Como se muestra en la figura 8, nos da la opción de seleccionar los parámetros e insertar dentro de un “*case structure*”, se puede añadir como borrar utilizando un “*Delete from array*”, guarda los valores almacenados en la gráfica mediante un “*Flat sequence*” con un “*case structure*” recopilando información de la gráfica acumulativa con “*Export waveform to spreadsheet file*” para lograr exportar al Excel. Adicional se puede colocar o quitar parámetros mientras se encuentra midiendo, y posee un botón para Salir, pero continua la medición programada.

Figura 8

Bloque de Mediciones Periódicas

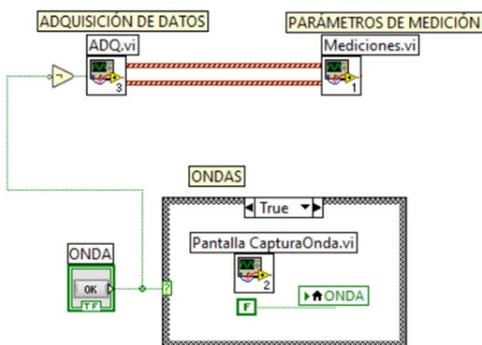


VI Ondas

Se realizó un VI “*Capture Onda*” como se muestra en la figura 9, todo el bloque está inmerso en un “*While loop*”, los datos se obtienen de la tarjeta y son llevados a un “*convertor completo*” que posee los datos programados en la tarjeta de adquisición con los coeficientes de intensidad y voltaje, el cual muestra los fasores del sistema a medir elegido en configuración, se emplea la opción de guardar información con “*Export waveforms to spreadsheet file*” para guardar la captura de onda y finalmente posee un botón para salir del bloque.

Figura 9

Bloque de captura de Ondas

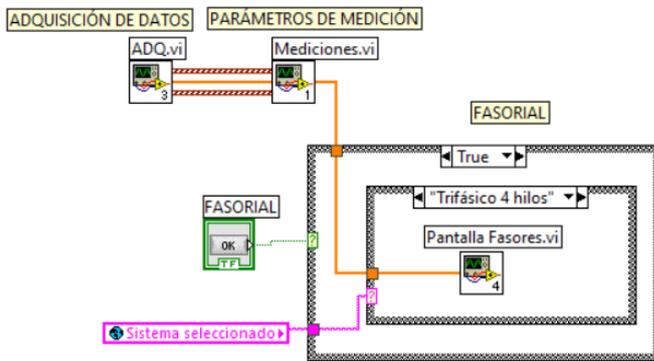


VI Fasorial

El bloque fasorial que se muestra en la figura 10, se emplea dos “*Case Structure*” uno insertado en el otro, en el interior se encuentra un cálculo con los diferentes sistemas a escoger de la red, los datos son enlazados por un “*Array Subset*” en un arreglo con un “*Build Array*” y de acuerdo a eso se visualiza el diagrama fasorial con cuadro de imagen, se emplea “*Polar Plot*” para la transformación de señales, finalmente posee un botón para salir de la ventana fasorial.

Figura 10

Bloque de Fasores

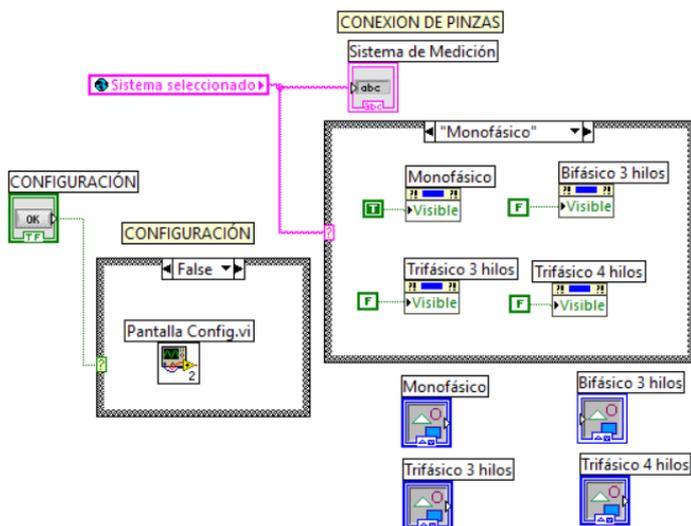


VI Configuración

Se creó un diagrama de bloques como se aprecia en la figura 11 en configuración, enlazado a un "Case Structure", donde constan los sistemas a elegir mediante un "Combo box" que son acorde a la red de la empresa y a sistemas de medición de analizadores de redes eléctricas comunes, los cuatro sistemas, adicional constan coeficientes de transformación tanto para voltaje como para corriente dependiendo del sistema a medir y selección en la pinza amperimétrica pueden ser 10mV/A (40 A valores de 0 1mV/A (400 A) se puede modificar para la utilización de otras pinzas calibrando acorde a las sondas y pinzas. Las variables de muestreo por ventana y velocidad, se enlazan con la tarjeta ADQ a través de su configuración, adicional posee un switch para limpiar energía el cual nos permite encerrar una medición y comenzar otra.

Figura 11

Bloque de Configuración de Sistema



2.5. Resultados – Discusión

Se realizó pruebas del sistema en el tablero principal de la planta de molinos chilenos de la empresa SOMILOR S.A., donde poseen una demanda de 300KVA a 440V trifásico 4 hilos, durante tres días de los cuales se realizó de las muestras más significativas desde el 04/03/2024 hasta el 07/03/2024, con captura de datos durante 60 segundos.

Una vez con los datos descargados en Excel se procedió a realizar el análisis.

La figura 12 muestra el voltaje línea respecto neutro/tierra del sistema, mientras que la figura 13 muestra el voltaje línea - línea en ambos casos se puede notar una variación significativa de voltaje con caídas de tensión constantes el voltaje en el sistema tiende a hacer muy irregular, como se puede observar en la figura 14 al ampliar hacer zoom en uno de los voltajes más significativos de las 6:00 del miércoles 06 se puede observar claramente un pico de caída que llega hasta los casi 344 V sobre la nominal el cual es 440 V es decir una caída de 96 voltios la cual es muy relevante.

Figura 12

Gráfica de Voltaje Línea – Neutro/Tierra

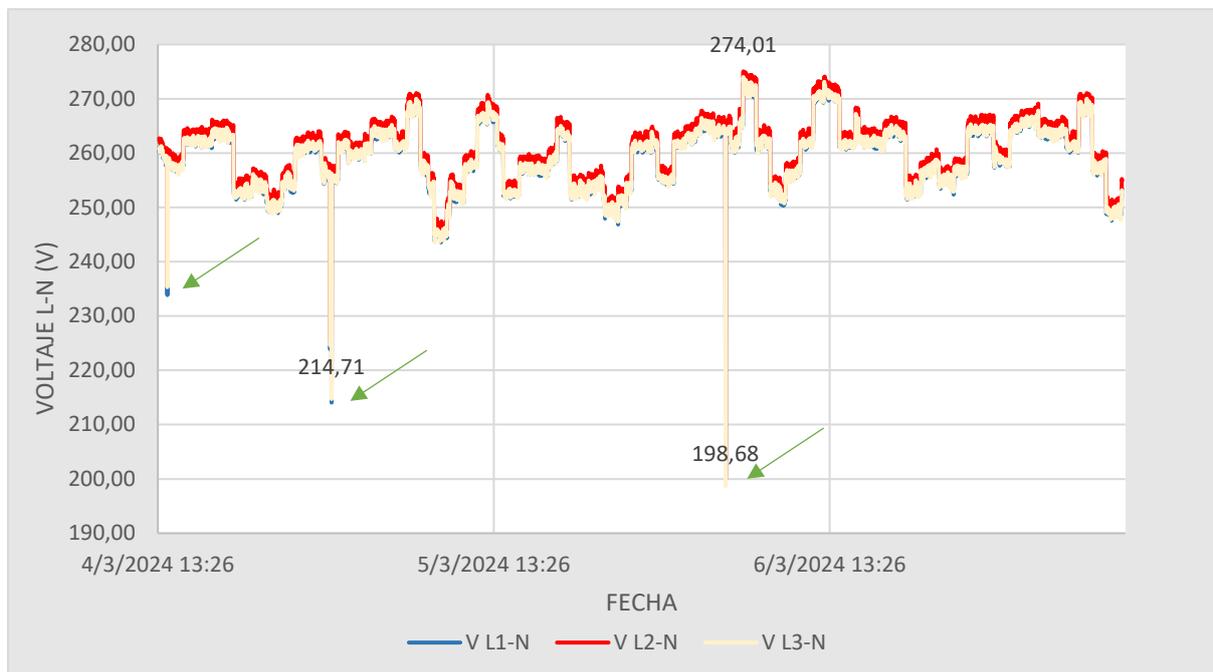


Figura 13

Gráfica de Voltaje Línea – Línea

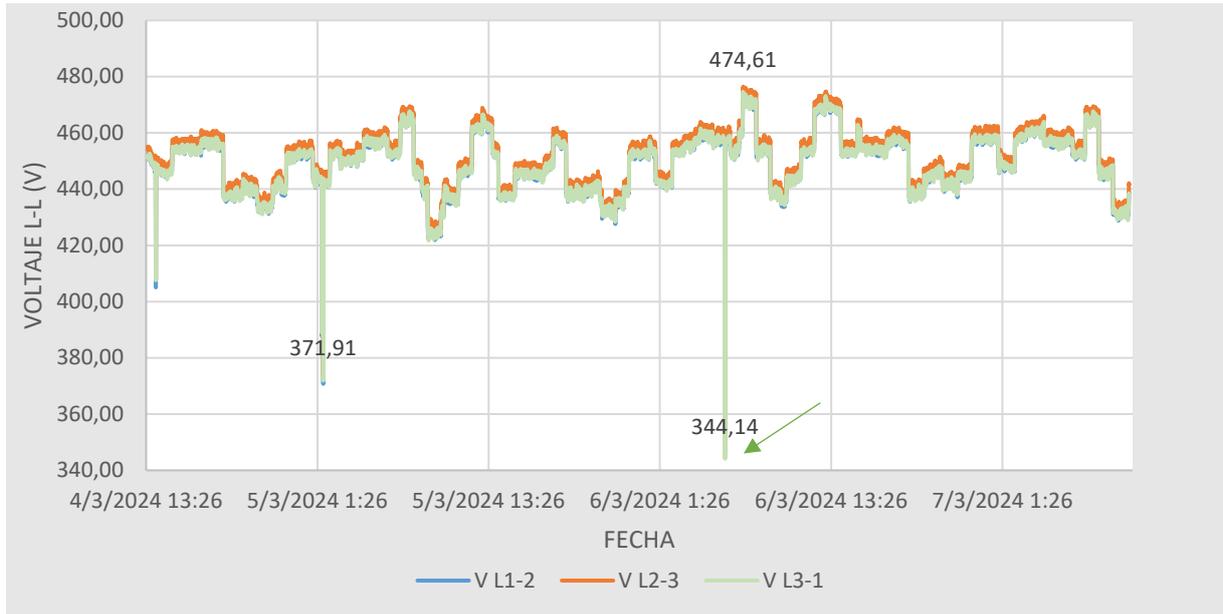
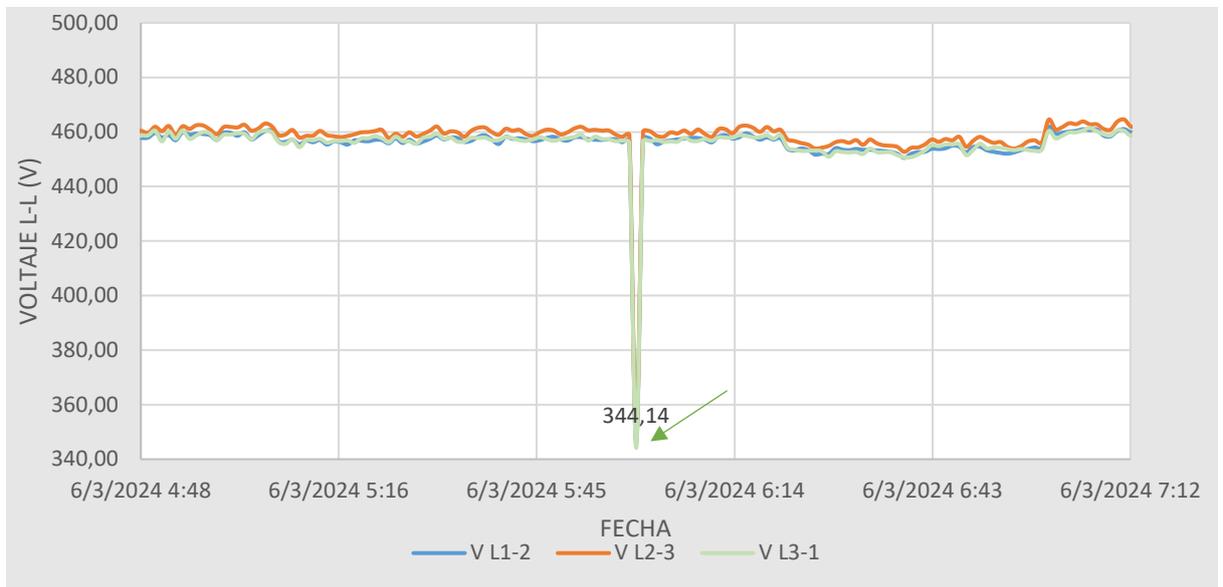


Figura 14

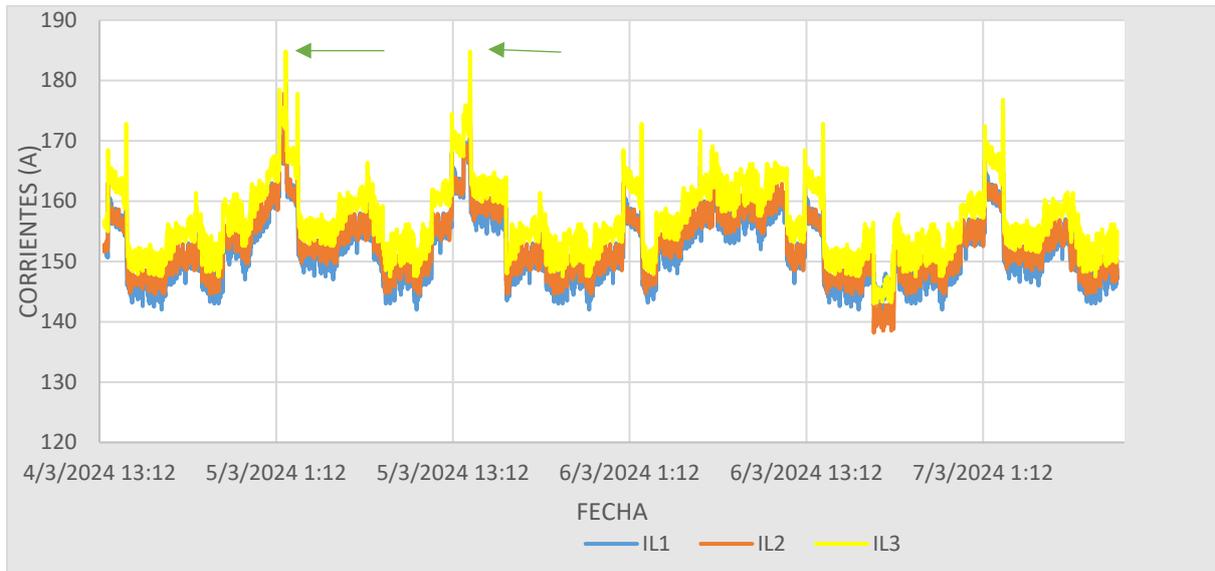
Gráfica de Voltaje Ampliación 6:00am



La figura 15 muestra los picos máximos detectados por el analizador en el cual podemos observar que el sistema generalmente incide con picos muy altos de corriente respecto al promedio, debido al arranque de motores lo demás permanece constante ya que son cargas de los molinos que no son variables.

Figura 15

Gráfica de Intensidad de Corriente

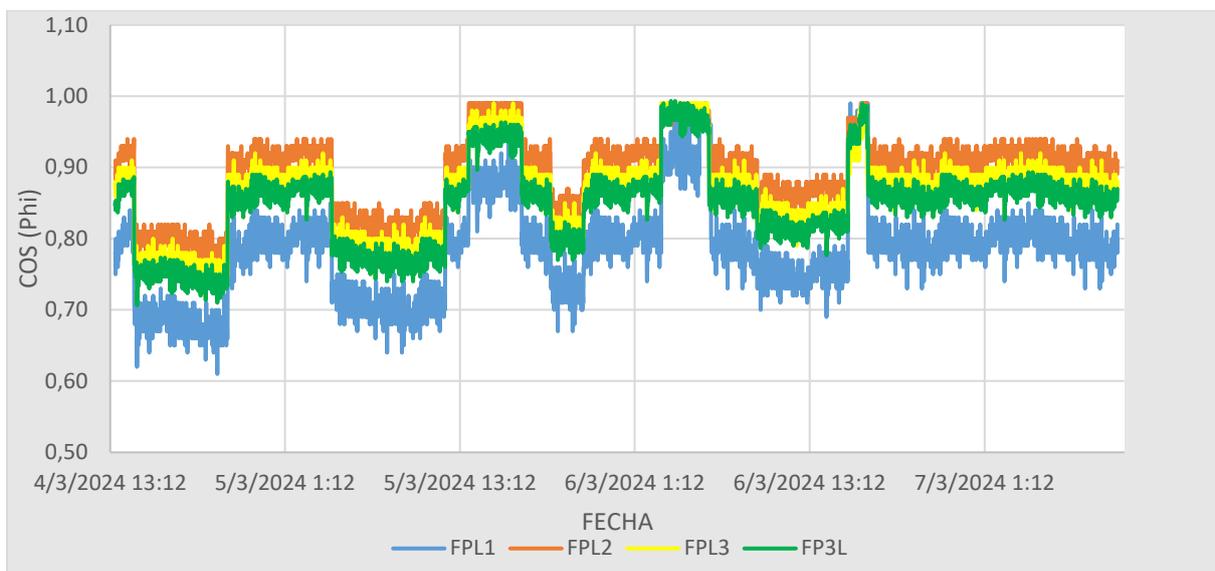


El factor de potencia es una medida de la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en un sistema. Es la relación entre la potencia activa que realiza trabajo útil y la potencia aparente que es la combinación de potencia activa y reactiva.

En la figura 16 se muestra valores en rangos permitidos además poseen un banco de capacitores de corrección de factor de potencia fijo tanto en baja como en media tensión no afectando ni penalizado por la distribuidora.

Figura 16

Gráfica del Factor de Potencia



La figura 17 muestra la 5ta y 7ma armónica del voltaje, donde se puede observar que los armónicos en las líneas de voltaje están dentro de los rangos establecidos por la normativa que muestra la tabla 1.

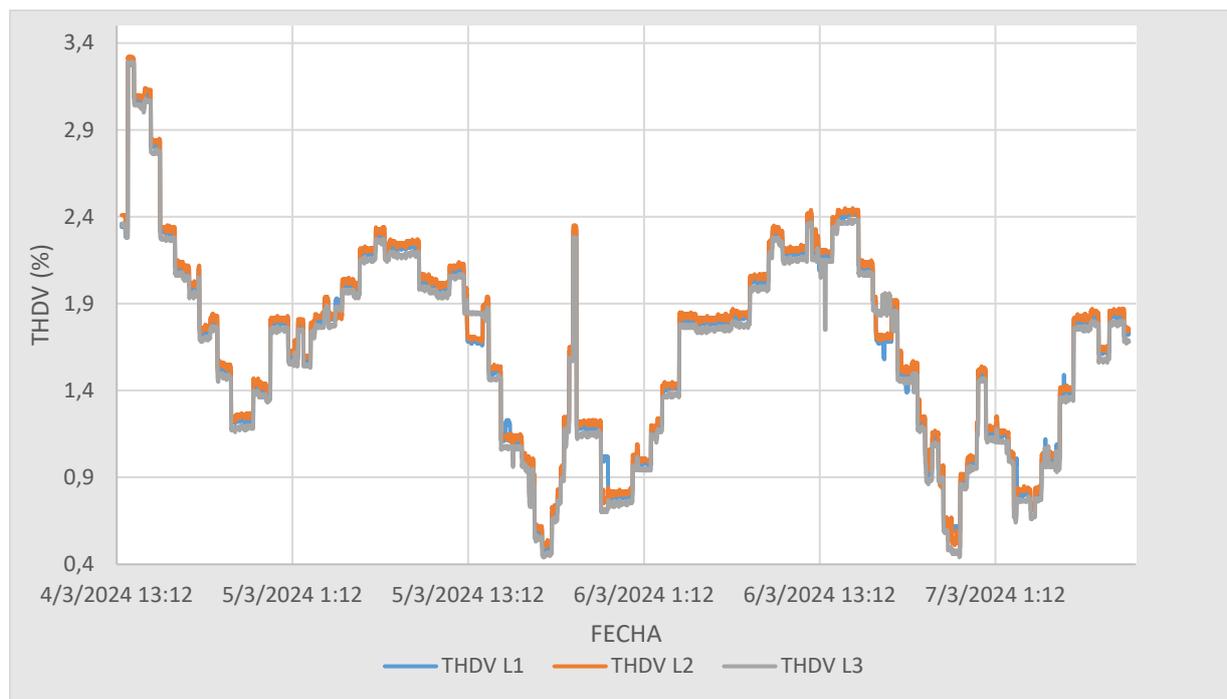
Tabla 1

Comparación entre los Límites de THDV

Nivel de voltaje	THDv (%) establecidos por CONELEC	THDv (%) recomendado IEEE 519-1992
40KV y por debajo	8%	5%

Figura 17

Gráfica de Distorsión Armónica THDV



La tabla 2, muestra los valores representativos de las mediciones adicionales que se evaluaron en la toma de muestras mediante el equipo de análisis virtual y que sirven para el informe de lo referente al sistema eléctrico medido.

Tabla 2*Mediciones de Tablero Principal de Molinos Chilenos Empresa SOMILOR S.A*

Mediciones		Mínimo	Medio	Máximo
Corrientes (A)	IL1	141,39	153,91	179,53
	IL2	138,18	154,5	177,91
	IL3	143,01	157,46	184,85
Potencia activa (KW)	PL1	38,84	54,27	71,32
	PL2	50,13	61,82	76,19
	PL3	47,82	61,2	76,84
	PT	136,79	177,29	224,35
Potencia reactiva (KVAr)	QL1	9,05	41,44	55,9
	QL2	9,12	29,89	44,36
	QL3	9,37	34,81	52,83
	QT	28,21	106,59	150,49
Potencia aparente (KVA)	SL1	57,34	68,67	77,9
	SL2	58,32	69,18	78,32
	SL3	59,08	70,81	81,14
	ST	174,74	208,58	237,37
Factor de potencia (cos phi)	FPL1	0,61	0,8	0,99
	FPL2	0,76	0,87	0,99
	FPL3	0,71	0,84	0,99
	FPT	0,71	0,85	0,99
Energía total. (KWh)	ET	36,32	4514316,92	9099547,72

El equipo virtual industrial para el análisis de redes eléctricas permitió el análisis de la red principal que alimenta los molinos chilenos en conjunto con el área de laboratorio de la empresa SOMILOR S.A., cabe mencionar que el área de laboratorio posee equipos electrónicos, reactores de electrocoagulación y hornos para el proceso del material aurífero.

El área de Laboratorio posee un transformador seco energizado de la red principal de Molinos chilenos red analizada con el sistema, y este a su vez energiza los equipos electrónicos, con este análisis se logró detectar las fluctuaciones del voltaje red primaria de 440VCA que afecta dichos equipos electrónicos sensibles con daños de tarjetas electrónicas y perdidas continuas de equipos para la empresa.

CONCLUSIONES

La información seleccionada sobre los analizadores de redes y la plataforma virtual LabVIEW son muy importantes ya que de ellos depende la programación y los alcances que se requiere para el monitoreo remoto de redes eléctricas con el fin de encontrar distorsiones en el sistema y con ello reducir costos de parada o daños a equipos.

Al elegir los dispositivos y elementos como son transformadores de voltaje, transformadores de corriente, tarjeta NI 6009 para la conversión de señales análogas a digital y una Tablet acorde para la velocidad de muestreo en conjunto con la plataforma virtual LabVIEW y TeamViewer, se obtiene mediciones de voltaje a nivel industrial de hasta 460V y mediciones de corriente hasta 400 A (picos de hasta 1000 A), ampliable con la adquisición de sonda amperimétrica.

Mediante el diseño en LabVIEW, instrumentación virtual se demostró que se puede desarrollar dispositivos que nos permiten el análisis de redes eléctricas y prestar similares prestaciones que los mismos equipos y a la vez superarlos, este entorno virtual en conjunto con TeamViewer nos permite el monitoreo de variables existentes en los sistemas eléctricos se empleó TeamViewer ya que es un software libre y mediante el empleo de la Tablet PC, se logró el objetivo de monitorear el sistema.

Mediante la evaluación del sistema en el tablero principal de planta de procesamiento de molinos chilenos de la empresa SOMILOR, se muestra que el sistema posee problemas por bajo factor de potencia sin embargo con el banco de capacitores en medio voltaje se corrigen y no son penalizados, niveles inestables y fluctuantes de voltaje llegando a tener picos de caídas de voltaje hasta 344V muy significativos, que afecta el área de Laboratorio con equipos electrónicos sensibles, además de armónicos de 5ta y 7ma que están dentro de los rangos que establece la normativa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de equipos virtuales en futuras investigaciones ya que presentan resultados a la par con equipos que se venden a precios muy altos que no se pueden adquirir.

En base al estudio realizado a la empresa SOMILOR S.A. se recomienda la utilización de reguladores de voltaje en Medio Voltaje, con ello contrarrestar las fluctuaciones de voltaje existentes en la red además de regulador voltaje, supresor de picos y mejoramiento del sistema de puesta a tierra para el área de laboratorio que posee equipos electrónicos. Adicional la puesta de banco de corrección del factor de potencia de pasos que sustituya el fijo para el área de molinos, que ayudará a mejorar la calidad de energía y factor de potencia de los motores que generan carga inductiva.

Se sugiere seguir con la proyección del sistema de análisis con la adquisición de sondas amperimétricas de valores más alto para un análisis de la red total en sistemas donde abarca 2000 Amperios.

Tomar como referencia el presente artículo para proyectos investigativos en el área eléctrica, como telurómetro y analizador de vibraciones, análisis de motores ya que presenta muy buenos resultados a bajo costo como se muestra en este estudio.

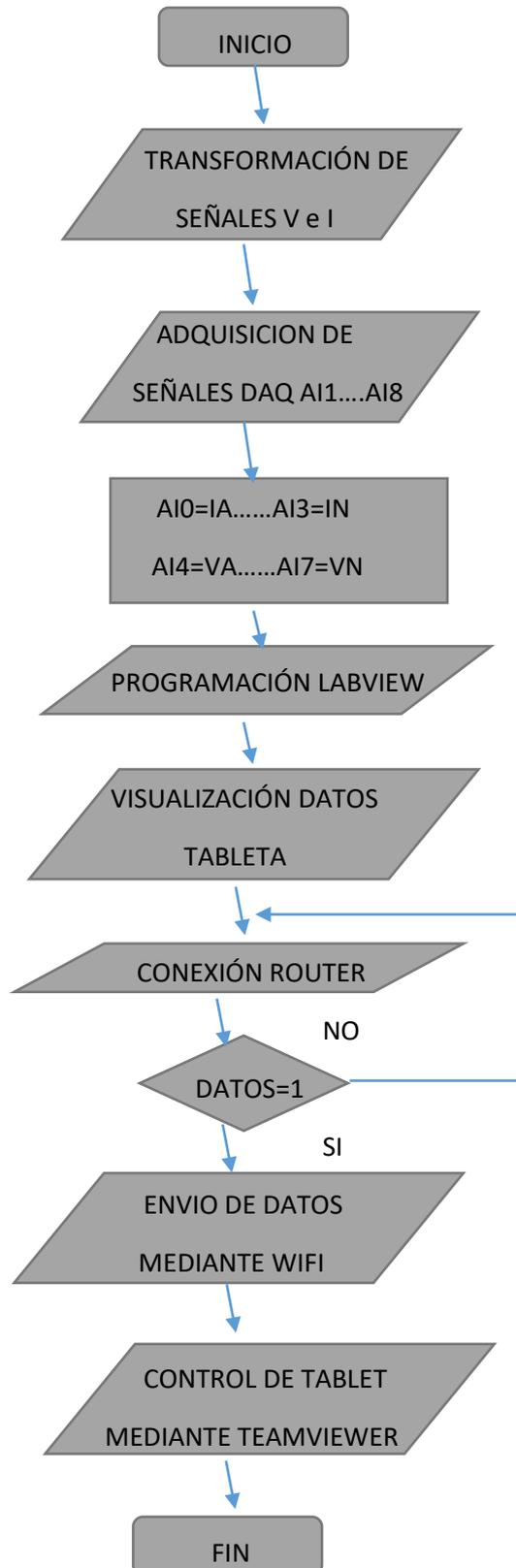
BIBLIOGRAFÍA

- Calapucha, E., y Pérez, L. (2016). *Implementación de un analizador de eficiencia energética NI en el laboratorio de control y manipulación automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]*. Repositorio institucional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5812>
- FLUKE. (06 de 03 de 2024). *Cables sondas y puntas de prueba*. <https://www.fluke.com/es-es/producto/accesorios/cables-de-prueba/fluke-tls430>
- FLUKE. (06 de 03 de 2024). *Pinzas de corriente*. <https://www.fluke.com/es-ve/producto/accesorios/pinzas-de-corriente/fluke-i400s>
- Intriago, E. (2019). *Analizador de redes eléctricas con transmisión inalámbrica de datos [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Israel]*. Repositorio digital. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2097>
- López Rivas, J. V., y Esparza González, M. S. (2003). Analizador de redes eléctricas. *Conciencia Tecnológica*(22), 1-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402202>
- Mercado Polo, V., Peña, J. B., y Pacheco, L. (2017). Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 38(2), 167-176. <https://doi.org/2244-8780>
- Mullo, H. (2022). *Sistema de control y monitoreo de parámetros eléctricos de la subestación de transformación Novacero mediante LabVIEW [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Israel]*. Repositorio institucional. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3329>
- Srikanth, S., Mabhu Hussain, P., y Sridhar, P. (2020). Design of Power Analyzer using LabVIEW. *Revista de Física: Serie de Conferencias*, 1451(012028), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1451/1/012028>
- Torres, D. (2020). DESARROLLA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL CON LABVIEW Y REDUCE COSTOS. *CONIA* 2019(8), 49-55. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/3809/1/Revista%20CONIA%202019%202020-04-N08.pdf](http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/3809/1/Revista%20CONIA%202019%202020-04-N08.pdf)

ANEXOS

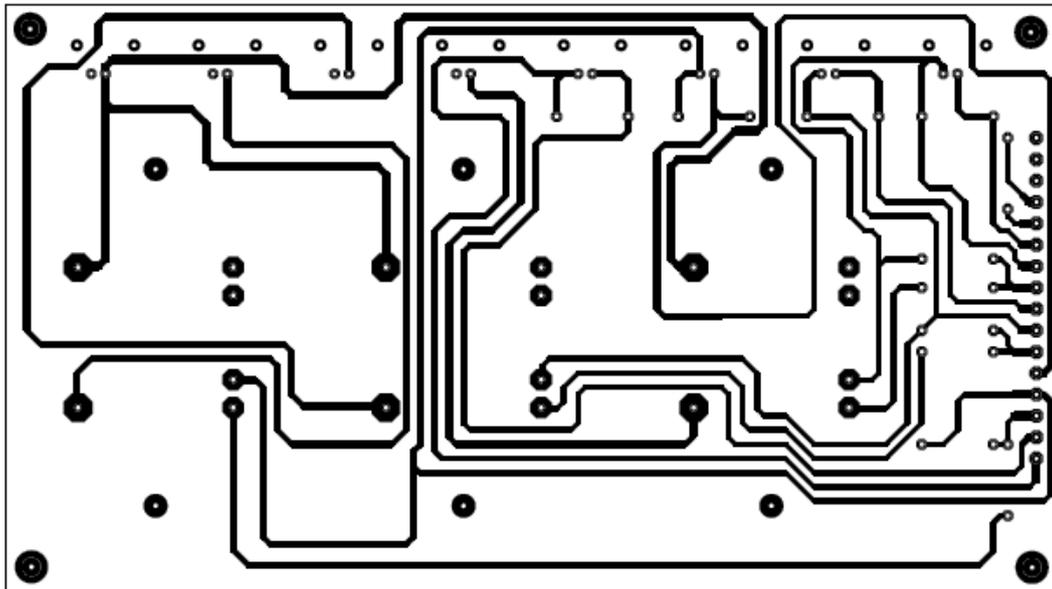
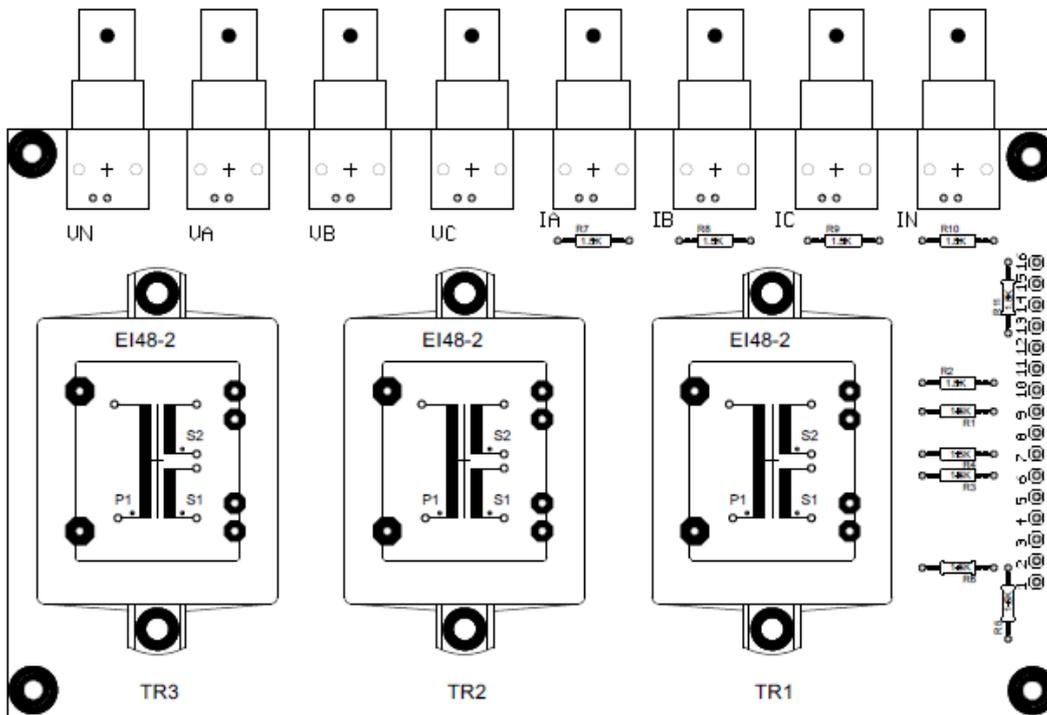
ANEXO 1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA



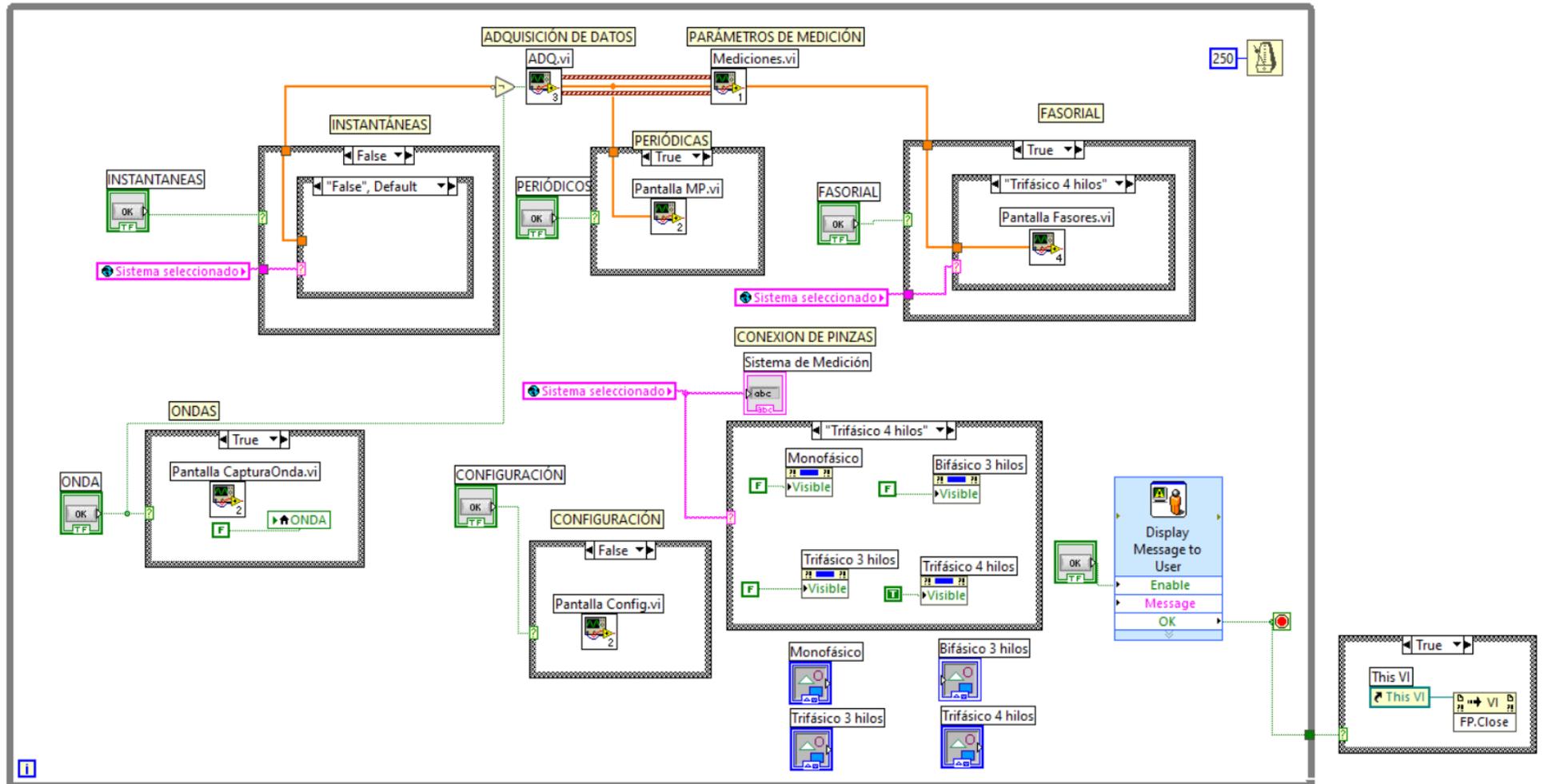
ANEXO 2

DISEÑO DE PLACA ELÉCTRICA



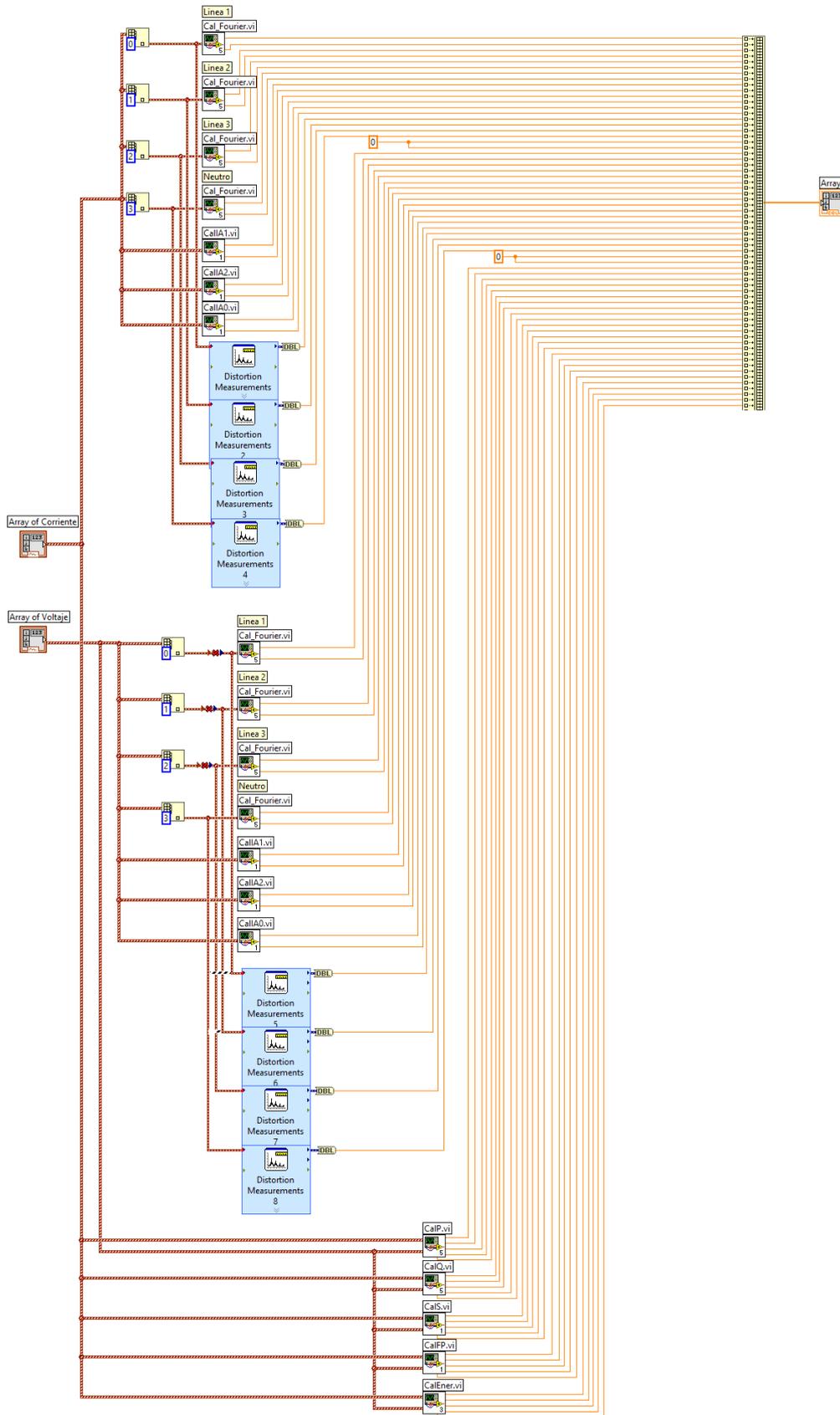
ANEXO 3

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL EQUIPO VIRTUAL



ANEXO 4

DIAGRAMA DE BLOQUES DE PARAMETROS DE MEDICIÓN



ANEXO 5
VALORACIÓN ECONÓMICA

Cantidad	Descripción	Valor U (USD)	Valor T (USD)
4	Pinzas Amperimétricas i400s.	340	1360
1	Kit de 5 pinzas cocodrilo TLS430.	200	200
3	Transformadores de Tensión de fuente.	5	15
1	Tarjeta ADQ 6009 NI	396,48	396,48
1	Caja plástica tipo maleta para instrumentos	300	300
1	Tablet PC FUSION 5 FWIN232 PRO N5	500	500
1	Tarjeta electrónica y costos adicionales	300	300
Total			3071,48

ANEXO 6

REGULACIÓN NO. CONELEC - 004/01 PARA LAS TASAS DE LOS ARMÓNICOS DE
VOLTAJE

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i _o$ THD' (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8