



ISBN: 978-99983-69-28-3 (Impreso)

ISBN: 978-99983-69-39-9 (E-Book, pdf)

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL DESBALANCE DE TENSIÓN Y CORRIENTE ENTRE LAS FASES A, B Y C DE GENERADORES ELÉCTRICOS UTILIZANDO UNA RED DE SENSORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE CON REGISTRO DE DATOS EN LA NUBE

**APLICACIÓN EN ITCA-FEPADE
CENTRO REGIONAL SANTA ANA**

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL
ING. CARLOS LEVI CARTAGENA LOBOS**

**DOCENTE COINVESTIGADOR
ING. DAVID ERNESTO CORTEZ PÉREZ**

CENTRO REGIONAL SANTA ANA

ENERO 2024



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA





ISBN: 978-99983-69-28-3 (Impreso)
ISBN: 978-99983-69-39-9 (E-Book, pdf)

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE SISTEMA PARA EL MONITOREO DEL DESBALANCE DE TENSIÓN Y CORRIENTE ENTRE LAS FASES A, B Y C DE GENERADORES ELÉCTRICOS UTILIZANDO UNA RED DE SENSORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE CON REGISTRO DE DATOS EN LA NUBE

**APLICACIÓN EN ITCA-FEPADE
CENTRO REGIONAL SANTA ANA**

**DOCENTE INVESTIGADOR PRINCIPAL
ING. CARLOS LEVI CARTAGENA LOBOS**

**DOCENTE COINVESTIGADOR
ING. DAVID ERNESTO CORTEZ PÉREZ**

CENTRO REGIONAL SANTA ANA

ENERO 2024



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA



Rector

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrector

Ing. Christian Antonio Guevara

**Director de Investigación
y Proyección Social**

Ing. Mario W. Montes Arias

**Dirección de Investigación
y Proyección Social**

Ing. David Emmanuel Ágreda Trujillo

Inga. Jeannette Tatiana Galeas Rodríguez

Téc. Alexandra María Cortez Campos

Sra. Delmy Roxana Reyes Zepeda

Director Centro Regional Santa Ana

Ing. Manuel Antonio Chicas Villeda

621.3

C322d

Cartagena Lobos, Carlos Levi, 1984-

slv

Diseño de sistema para el monitoreo del desbalance de tensión y corriente entre las fases A, B y C de generadores eléctricos utilizando una red de sensores de voltaje y corriente con registro de datos en la nube, aplicación en ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana/ Carlos Levi Cartagena Lobos y David Ernesto Cortez Pérez. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, El Salv.: ITCA Editores, 2024.

1 recurso electrónico, (48 p. Il. ; 28 cm.)

Datos electrónicos (1 archivo: pdf, 4 MB). --

<https://www.itca.edu.sv/produccion-academica/>

ISBN: 978-99983-69-39-9 (E-Book, pdf)

ISBN: 978-99983-69-28-3 (Impreso)

1. Ingeniería eléctrica - Diseño de sistemas. 2. Sistema de energía eléctrica - Automatización. 3. Sistema de almacenamiento y recuperación de información. I. Cortez Pérez, David Ernesto, 1995-, coaut. II. Título.

Autor

Ing. Carlos Levi Cartagena Lobos

Co Autor

Ing. David Ernesto Cortez Pérez

Tiraje: 13 ejemplares

Año 2024

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica, el sector empresarial y la sociedad, como un aporte al desarrollo del país. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.



Atribución-No Comercial
Compartir Igual
4.0 Internacional

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons. No se permite el uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, cuya distribución debe hacerse mediante una licencia igual que la sujeta a la obra original.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio Web: www.itca.edu.sv

TEL: (503)2132-7423

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
2.2. ANTECEDENTES/ESTADO DE LA TÉCNICA	5
2.3. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS.....	6
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4. HIPÓTESIS.....	6
5. MARCO TEÓRICO.....	7
6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	11
7. RESULTADOS.....	13
8. CONCLUSIONES	24
9. RECOMENDACIONES.....	25
10.GLOSARIO.....	25
11.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
12.ANEXOS	27
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA SENSOR SERIE SCT013.....	27
ANEXO 2: FICHA TÉCNICA NI USB 6009	28
ANEXO 3: FICHA TÉCNICA PLC SIMATIC S7 1200	38
ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DE IX ROUTER	46
ANEXO 5: LECTURAS OBTENIDAS DE UN SISTEMA TRIFÁSICO DURANTE LA FASE DE DESARROLLO	47

1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica es una actividad fundamental para el desarrollo económico y social de un país. Sin embargo, la calidad de la energía suministrada por los sistemas de generación puede verse afectada por factores como las variaciones de carga, las perturbaciones externas y los desequilibrios entre las fases., lo que puede provocar problemas en los equipos eléctricos, así como pérdidas de eficiencia y rentabilidad.

Uno de los indicadores de la calidad de la energía eléctrica es el desbalance de tensión y corriente, que se refiere a la diferencia entre las magnitudes o ángulos de fase de las tensiones o corrientes trifásicas en un sistema eléctrico. Este desbalance puede causar pulsaciones de par, sobrecalentamiento, vibraciones, ruido y daños en los generadores eléctricos, entre otros efectos negativos.

Para evitar o minimizar estos problemas, es necesario contar con un sistema de monitoreo que permita medir y registrar el desbalance de tensión y corriente en los generadores eléctricos, así como generar alarmas cuando se detecten anomalías que superen los límites establecidos por las normas técnicas. Además, el sistema debe integrarse con otros sistemas de control y supervisión, como los sistemas SCADA, y de utilizar servicios en la nube para facilitar el acceso remoto y el almacenamiento de datos.

Esta investigación se desarrolló en el campo de la automatización e instrumentación virtual, con el objetivo de diseñar un sistema para monitoreo del desbalance del voltaje y la corriente entre las fases A, B y C de generadores eléctricos trifásicos, utilizando una red de sensores de voltaje y corriente con registro de datos en la nube.

El diseño se realizó tomando como base la experimentación, utilizando hardware especializado para el acondicionamiento de señales de voltaje y corriente. El resultado obtenido es una aplicación que funciona como un instrumento virtual, con la cual se puede monitorear el desbalance de voltaje y corriente en un sistema de generación trifásica. Además, incluye el registro de alarmas y la visualización de señales de voltaje y corriente en formato rectangular y fasorial. El sistema se basa en el uso de una tarjeta de adquisición de datos, una aplicación desarrollada en el entorno de LabVIEW y una plataforma de servicios en la nube.

El modelo se puede implementar en el monitoreo del desbalance de voltaje y corriente en generadores trifásicos. También tiene uso académico en el campo de la calidad de la energía, utilizándolo como instrumento virtual en ambientes controlados de un laboratorio de pruebas de sistemas de potencia.

El sistema almacena datos de corrientes y voltajes presentes en la red segundos antes de presentar un desbalance, lo que permite el análisis de las causas de la anomalía por desbalance en la red eléctrica, así como almacenar y analizar los datos para tomar medidas preventivas y correctivas. Se ha implementado y evaluado, demostrando su funcionamiento y eficacia para contribuir a mejorar la calidad del servicio de generación, reducir las pérdidas de potencia, evitar el sobrecalentamiento y el daño de los equipos, y optimizar el mantenimiento de los generadores.

De la investigación se concluye que todo proceso de generación y distribución de energía eléctrica, para mantener la calidad, debe contar con sistemas de monitoreo periódico de las principales variables eléctricas, utilizando software y hardware especializado como el diseñado, para tomar medidas correctivas en el campo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La planta de generación ubicada en el municipio de Nejapa cuenta con una capacidad instalada de 6 megavatios (MW), generados a partir del biogás que se obtiene del relleno sanitario, el cual es captado y conducido hacia la planta, evitando su expulsión a la atmósfera y contribuyendo así a contrarrestar el efecto invernadero. Durante el proceso de generación, se presentan anomalías en la red que pueden ser causadas por factores externos o internos, provocando un desbalance de la tensión y corriente entre las diferentes fases del sistema de generación. Esto puede ocasionar daños en los generadores. Por esta razón, se debe monitorear el desbalance para ejecutar acciones preventivas y correctivas, con el propósito de aumentar la vida útil de las máquinas involucradas en el proceso de generación. Tomando en cuenta estas consideraciones surge la siguiente interrogante:

¿Cómo medir, monitorear, almacenar registros y generar alertas cuando se presenten anomalías por desbalance en los sistemas de generación trifásicos?

2.2. ANTECEDENTES/ESTADO DE LA TÉCNICA

Los sistemas de generación de energía eléctrica producen tensiones trifásicas sinusoidales de igual magnitud y desfasadas en el tiempo 120° , por lo que pueden representarse por tres fasores de tensión de igual magnitud y desfasados 120° entre sí, que matemáticamente constituyen un sistema trifásico simétrico. Sin embargo, luego del proceso de transporte y distribución de la energía, las tensiones que llegan a los puntos de utilización en los sistemas eléctricos son desequilibradas. Un sistema trifásico de tensiones está desequilibrado cuando tiene magnitudes de fase o de línea diferentes a la frecuencia nominal del sistema, los ángulos de desfase entre las tensiones son de diferente magnitud, y presentan diferentes niveles de distorsión armónica entre las fases. El problema del desequilibrio de tensiones puede ser muy difícil de compensar porque varía continuamente debido a la variación de las cargas.

Para cuantificar desequilibrio de tensiones, las normas han definido índices para caracterizar grado de desequilibrio. Un estudio realizado el año 2000 sobre el desequilibrio de tensión en el sistema de distribución de USA, realizado por el Electric Power Research Institute y publicado por la Norma ANSI, reportó que aproximadamente el 66% del sistema de distribución eléctrico de USA tiene un porcentaje de desequilibrio de tensión (Porcent Voltage Unbalance PVU) menor a 1%. El 98% del sistema de distribución tiene un porcentaje de desequilibrio de tensión menor a 3 % y cerca del 2% del sistema de distribución de USA tiene un porcentaje de desequilibrio de tensión mayor al 3%.

Así, se comprueba que el desequilibrio de tensión es un fenómeno de la calidad de la potencia eléctrica que se presenta frecuentemente en las instalaciones eléctricas, por lo tanto, el interés en su estudio se mantiene vigente. El desgaste que sufren los equipos, y la mala operación y funcionamiento de estos, se ven afectados debido la problemática que existe sobre desbalances de energía, provocados por diferencias de tensión, corriente o frecuencia. Las normativas relacionadas con la calidad de la energía brindan un requerimiento mínimo en cuanto a los porcentajes máximos de desbalance que debe presentar la red. [1]

2.3. JUSTIFICACIÓN

Entre los problemas del suministro eléctrico que afectan con más frecuencia a las plantas industriales se encuentran las caídas y las fluctuaciones de tensión, la generación de armónicos, transitorios y desequilibrios entre la tensión y la corriente. En un sistema trifásico equilibrado, las tensiones de fase deberían ser iguales o prácticamente iguales. El desequilibrio de la tensión es la medida de diferencias de tensión entre las fases de un sistema trifásico. Degrada el rendimiento y reduce la vida útil de las máquinas eléctricas. Desde el punto de vista de la calidad de la energía, los desbalances frecuentes en la red representan una mala calidad del servicio, por ello las empresas generadoras de energía deben tomar medidas para evitar los desbalances en el sistema eléctrico.

Actualmente, en la planta de Nejapa cuentan con un sistema SCADA para monitorear las diferentes variables del proceso de generación, entre ellas el desbalance. La limitante que tiene el modelo de monitoreo actual es que no genera alertas, ni se tienen los registros precisos de voltaje y corriente unos segundos antes de presentar el desbalance de voltaje y corriente en la red, por ello se requiere un sistema de monitoreo moderno del desbalance, que incluya elementos de la industria 4.0 como lo es el uso de servicios en la nube.

La importancia de contar con un sistema de monitoreo constante del desbalance en la red radica en que, al detectarse una anomalía y usando los registros almacenados, los técnicos de la Planta de Nejapa podrán comparar con otras variables del proceso de generación y determinar el origen del desbalance en la red eléctrica, tomando las acciones preventivas y correctivas para mantener una buena calidad en el servicio de generación y reducir la probabilidad de daños para los generadores.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema para el monitoreo del desbalance del voltaje y la corriente entre las fases A, B y C de un generador trifásico.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un analizador de red usando LabVIEW, que permita medir el desbalance de corriente y voltaje presente entre las fases del sistema de generación.
2. Almacenar los registros de voltaje y corriente al detectar un desbalance anormal en la red.
3. Utilizar servicios en la nube para generar alarmas cuando se detecten anomalías por desbalance en la red eléctrica

4. HIPÓTESIS

El desbalance de la corriente entre las fases A, B y C del proceso de generación en la Planta de Nejapa es ocasionado en mayor proporción por factores internos y en menor proporción por factores externos.

5. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presentan definiciones y expresiones aproximadas para el factor de desbalance que se encuentran en normas y en bibliografía, y aquí se emplean para expresar el factor de desbalance de la terna de tensiones fase-neutro. Luego, se efectuará un estudio comparativo de su aplicabilidad tanto a tensiones de fase como a tensiones de línea [8].

Factor de desbalance a partir de las componentes simétricas

La definición verdadera del factor de desbalance de tensiones corresponde a la relación entre los módulos de las componentes de secuencia inversa y directa de la tensión [2][3][4][5], según:

$$K = 100 \frac{U^-}{U^+} \quad (1)$$

Siendo:

$$U^- = \frac{1}{3} \left(\dot{U}_A + \dot{U}_B e^{j\frac{4}{3}\pi} + \dot{U}_C e^{j\frac{2}{3}\pi} \right)$$

la componente de secuencia inversa,

$$U^+ = \frac{1}{3} \left(\dot{U}_A + \dot{U}_B e^{j\frac{2}{3}\pi} + \dot{U}_C e^{j\frac{4}{3}\pi} \right)$$

la componente de secuencia directa,

$$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$$

las tensiones fase-neutro, expresadas en forma fasorial.

Se considera que esta definición corresponde al valor verdadero del factor de desbalance, porque, además, puede ser aplicada también a las tensiones de línea y a las corrientes.

Desbalance de tensión y corriente según la IEEE

Existen distintas definiciones del desbalance de tensiones y corrientes en diferentes documentos del IEEE. Esto, sumado a las interpretaciones que han hecho distintos autores y fabricantes de instrumentos, ha creado confusión en cuanto a la medición del desbalance. Las diferencias de interpretación surgen porque, aparte de las distintas definiciones, nunca se indica específicamente si, en el caso de las tensiones, deben emplearse las tensiones de fase o las tensiones de línea.

En [6] y [7] se definen, en palabras, dos factores, aplicables tanto sea a las tensiones como a las corrientes:

a) Factor de desbalance: relación de la componente de secuencia negativa a la componente de secuencia positiva. Esta definición es idéntica a la expresada en el apartado 6.1.1 mediante (1).

b) Razón de desbalance: Considerando los valores eficaces de las componentes fundamentales del sistema trifásico, se define como la diferencia entre el mayor valor y el menor valor, referida al valor medio de los tres valores eficaces. Formalmente:

$$K = \frac{\text{Max}(|U_1 - U_{med}|, |U_2 - U_{med}|, |U_3 - U_{med}|)}{U_{med}} \cdot 100 \quad (2)$$

Siendo

$$U_{med} = (U_1 + U_2 + U_3) / 3$$

U_1, U_2, U_3 los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).

En [2] se aplican dos formas de medir el desbalance, pero en un apartado titulado “Desbalance de tensiones de fase en sistemas trifásicos”. Una de ellas es la definición dada por (1) y la otra:

c) Desbalance porcentual: La máxima desviación respecto al valor medio de cada fase, referida al valor medio de las tres fases. Es decir:

$$K = \frac{3 \cdot (U_{max} - U_{min})}{U_1 + U_2 + U_3} \cdot 100 \quad (3)$$

Siendo:

U_{max} el máximo valor de los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).

U_{min} el mínimo valor de los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).

U_1, U_2, U_3 los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).[10]

La definición dada en a) corresponde, tal como se mencionó, a la del apartado 5.1. Las confusiones aludidas surgen con el empleo y aplicabilidad de (2) y (3). En efecto, de lo expuesto y considerando diferentes documentos del propio IEEE, cabe interpretar que tanto (2) como (3) se pueden emplear para determinar el factor de desbalance tanto para tensiones de fase como para tensiones de línea, ya que no se indica explícitamente que deban usarse exclusivamente unas u otras [8].

En general, existe un desbalance o desequilibrio de tensión y corriente suministrada cuando el valor eficaz, la amplitud de la honda y la separación de las fases, no son iguales (Fig. 1).

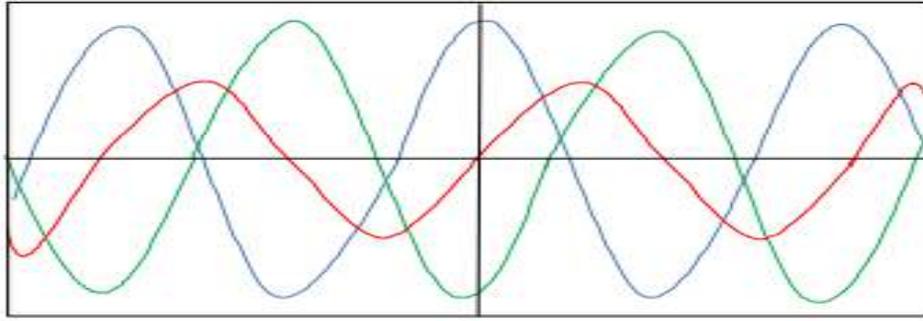


Fig. 1: Forma de onda con desbalance de voltaje

Cálculo del desequilibrio de tensión según Fluke

El cálculo para determinar el desequilibrio de tensión es simple. El resultado es el porcentaje de desequilibrio y puede utilizarse para determinar los pasos a seguir para la resolución de problemas en los motores. El cálculo consta de tres pasos:

1. Determinar el promedio de tensión o de corriente.
2. Calcular la mayor desviación de tensión o de corriente.
3. Dividir la desviación máxima por el promedio de tensión o de corriente y multiplicar por un desequilibrio del 100% = (desviación máx. del promedio V o I/promedio de V o I) x 100

Un cálculo manual del desequilibrio es una determinación puntual del desequilibrio de corriente o tensión en ese momento. Un analizador como el Fluke 438-II mostrará el desequilibrio de corriente o tensión en tiempo real, incluida cualquier variación de dicho desequilibrio [9]

¿Qué provoca los desequilibrios de tensión?

Un sistema trifásico desequilibrado puede provocar que los motores y otras cargas trifásicas experimenten un rendimiento bajo o fallos prematuros debido a las siguientes causas:

- Esfuerzo mecánico en los motores debido a un rendimiento del par menor de lo normal.
- Corrientes más altas de lo normal en los motores y los rectificadores trifásicos.
- La corriente desequilibrada se transmitirá por los conductores de neutro en los sistemas trifásicos en estrella. [9]
- Reducción de capacidad de carga en motores.
- Reducción de vida útil del aislamiento en motores por sobrecalentamiento.
- En rectificadores con tecnología PWM se aumenta la distorsión de corriente armónica, incrementan los reactivos de la carga y se generan rizados de corriente en la etapa de continua. (c.c.) [11].

El desequilibrio de la tensión en los terminales de motores causa un gran desequilibrio de la corriente que puede ser de entre seis y diez veces el desequilibrio de la tensión. Las corrientes desequilibradas generan pulsaciones de la torsión, un aumento de la vibración y del estrés mecánico, así como aumento de las

pérdidas y un sobrecalentamiento del motor. Los desequilibrios de tensión y corriente también podrían indicar problemas de mantenimiento tales como conexiones sueltas y contactos desgastados [9].

Los desequilibrios pueden producirse en cualquier momento en todo el sistema de distribución. Las cargas deben dividirse de manera equivalente en todas las fases de un tablero. Si una es demasiado pesada en comparación con las otras, la tensión será más baja en esa fase. Los transformadores y los motores trifásicos alimentados por ese panel pueden calentarse, ser más ruidosos de lo habitual, vibrar excesivamente e incluso sufrir fallos prematuros [9].

Normas que regulan el desbalance de voltaje y corriente

Normas internacionales

La norma NTC 5001 es una norma técnica colombiana que establece las metodologías de evaluación y los valores de referencia de los parámetros asociados a la calidad de la potencia eléctrica en el punto de conexión común entre el operador de red y el usuario para todos los niveles de tensión, bajo condiciones normales de operación.

Uno de los parámetros que evalúa la norma NTC 5001 es el desbalance de voltaje y corriente, que se refiere a la magnitud y asimetría de las tensiones o corrientes trifásicas en operación de estado estable. Este disturbio puede afectar la calidad de la tensión, causar pérdidas, sobrecalentamiento y daños en los equipos.

El período de medida debe ser una semana.

Para circuitos urbanos, el 99% de los valores de desbalance de tensión evaluados en un período de agregación de 10 min deben estar dentro de los valores de referencia.

Para circuitos rurales, el 95% de los valores de desbalance de tensión evaluados en un período de agregación de 10 min deben estar dentro de los rangos o valores de referencia.

Los valores de referencia para el voltaje se muestran en la siguiente tabla [11]:

Tabla1: Porcentaje máximo de desbalance de tensión

Rango de Tensión	Valor de Referencia
$V_n < 69 \text{ kV}$	2,0 %
$V_n \geq 69 \text{ kV}$	1,5 %

La norma NTC 5001 establece que el percentil 95 del desbalance de voltaje y corriente, evaluado como la relación porcentual entre la componente de secuencia negativa y positiva de las tensiones o corrientes, debe ser inferior al 5% para la tensión y 2% para la corriente. Estos valores se deben cumplir durante el 95% del tiempo, de acuerdo con los rangos de tensión asignados [11].

El estándar IEEE 1159-2014 es una norma técnica internacional que establece las metodologías de evaluación y los valores de referencia de los parámetros asociados a la calidad de la potencia eléctrica en los sistemas de distribución, transmisión y generación, bajo condiciones normales y anormales de operación[12].

Según el estándar IEEE 1159-20144, el desbalance de voltaje permisible para un generador es del 3% y el desbalance de corriente permisible es del 5%. Estos valores se deben cumplir tanto en la prueba de vacío como en la prueba de cortocircuito [12]. La prueba de vacío consiste en medir el desbalance de voltaje y corriente cuando el generador no está conectado a ninguna carga. La prueba de cortocircuito consiste en medir el desbalance de voltaje y corriente cuando el generador está conectado a una impedancia muy baja que simula un cortocircuito.

Si el generador está conectado a una carga, el desbalance de corriente puede variar según el tipo y la distribución de la carga[12]. Por ejemplo, si la carga es lineal y equilibrada, el desbalance de corriente será mínimo. Si la carga es no lineal o desequilibrada, el desbalance de corriente será mayor. Por lo tanto, se recomienda balancear la carga entre las fases y evitar las cargas no lineales que generan armónicos.

La norma EN_50160 es una norma técnica europea que establece las características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución en baja y media tensión, en condiciones normales de explotación, en el punto de entrega al cliente. El desbalance de voltaje y corriente se refiere a la diferencia entre las magnitudes o ángulos de fase de las tensiones o corrientes trifásicas en un sistema eléctrico [13]. Este fenómeno puede causar problemas como pérdidas de potencia, sobrecalentamiento, vibraciones, ruido y daños en los equipos [13].

La norma EN_50160 establece que el desbalance de voltaje y corriente se debe medir como la relación porcentual entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva de las tensiones o corrientes. La norma también define los límites máximos permisibles para el desbalance de voltaje y corriente, según el nivel de tensión y el tipo de servicio [13]. Estos límites son los siguientes:

- Para el servicio de distribución en baja tensión (menor o igual a 1 kV), el desbalance de voltaje debe ser menor o igual al 2% y el desbalance de corriente debe ser menor o igual al 10%.
- Para el servicio de distribución en media tensión (mayor a 1 kV y menor o igual a 35 kV), el desbalance de voltaje debe ser menor o igual al 2% y el desbalance de corriente debe ser menor o igual al 10%.
- Para el servicio de transmisión (mayor a 35 kV), el desbalance de voltaje debe ser menor o igual al 1% y el desbalance de corriente debe ser menor o igual al 5%.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se ejecutó utilizando el diseño experimental, llevando a cabo diferentes actividades, las cuales se detallan a continuación.

Diagnóstico

Se realizaron visitas a la planta AES Nejapa para conocer los detalles del funcionamiento de los generadores, identificar los puntos de medición, niveles de tensión de las señales a monitorear y la mejor ubicación del sistema de monitoreo.

Diseño del sistema para el monitoreo del desbalance.

Con los insumos obtenidos de la etapa de diagnóstico, se diseñó el sistema propuesto tomando en cuenta el acondicionamiento de señales (analógicas y digitales), creación de la interfaz de usuario (HMI) en el

entorno de desarrollo LabVIEW, calibrar el sistema realizando experimentos con hardware de National Instruments (NI), sensores de corriente y voltaje genéricos en los laboratorios de ITCA.

Implementación del sistema.

Esta etapa comprendió las siguientes fases:

1. Instalación de un diseño preliminar del sistema de monitoreo en las instalaciones de la planta AES Nejapa.
2. Realizar ajustes utilizando los sensores de uso industrial y corregir errores en las mediciones.
3. Instalación del sistema definitivo.
4. Evaluar el desempeño del sistema.

Tabla 2: Matriz metodológica

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES A EJECUTAR	RESULTADOS ESPERADOS	RESPONSABLE
1. Diseñar un analizador de red usando LabVIEW, que permita medir el desbalance de corriente y voltaje presente entre las fases del sistema de generación.	A1. Diagnóstico. A2. Diseño de HMI. A3. Calibrar el sistema usando sensores de voltaje y corriente genéricos en los laboratorios de ITCA.	R1. Sistema en la versión beta. R2. Datos experimentales del funcionamiento de la versión beta.	Ing. Carlos Cartagena Ing. David Cortez
2. Almacenar los registros de voltaje y corriente presentes segundos antes de la detección de un desbalance anormal en la red.	A1. Instalación del sistema beta en las instalaciones de la planta Nejapa. A2. Efectuar la calibración de las variables a monitorear usando los sensores de uso industrial. A3. Corregir errores y realizar ajustes al sistema.	R1. Sistema definitivo para el monitoreo del desbalance de corriente y voltaje. R2. Se tendrán muestras de datos para el análisis de las fuentes que ocasionan el desbalance en la red.	Ing. Carlos Cartagena Ing. David Cortez
3. Utilizar servicios en la nube para generar alarmas cuando se detecten anomalías por desbalance en la red eléctrica.	A1. Contratar servicios en la nube utilizando la plataforma IXON CLOUD. A2. Evaluar el desempeño del sistema.	R1. Monitoreo remoto desde cualquier parte del mundo del desbalance en la red. R2. Registros para la toma de decisiones en el mantenimiento preventivo y correctivo.	Ing. Carlos Cartagena Ing. David Cortez

7. RESULTADOS

Diseño del sistema para el monitoreo del desbalance de voltaje y corriente

Modelo de bloques del sistema

El sistema está formado por dos etapas principales: la etapa de adquisición de datos y la etapa de procesamiento de datos.

La etapa de adquisición de datos requiere de la atenuación y acondicionamiento de señales; para ello se utilizaron sensores de voltaje y corriente y una tarjeta de adquisición de datos NI 6009. Los datos adquiridos se transfieren a la etapa de procesamiento conformada por una aplicación desarrollada con LabVIEW, en la que se integran módulos de visualización, módulos de almacenamiento, generación de informes y módulos de comunicación para compartir datos con otros dispositivos como PLC y poder integrarse en un sistema más amplio como un SCADA.

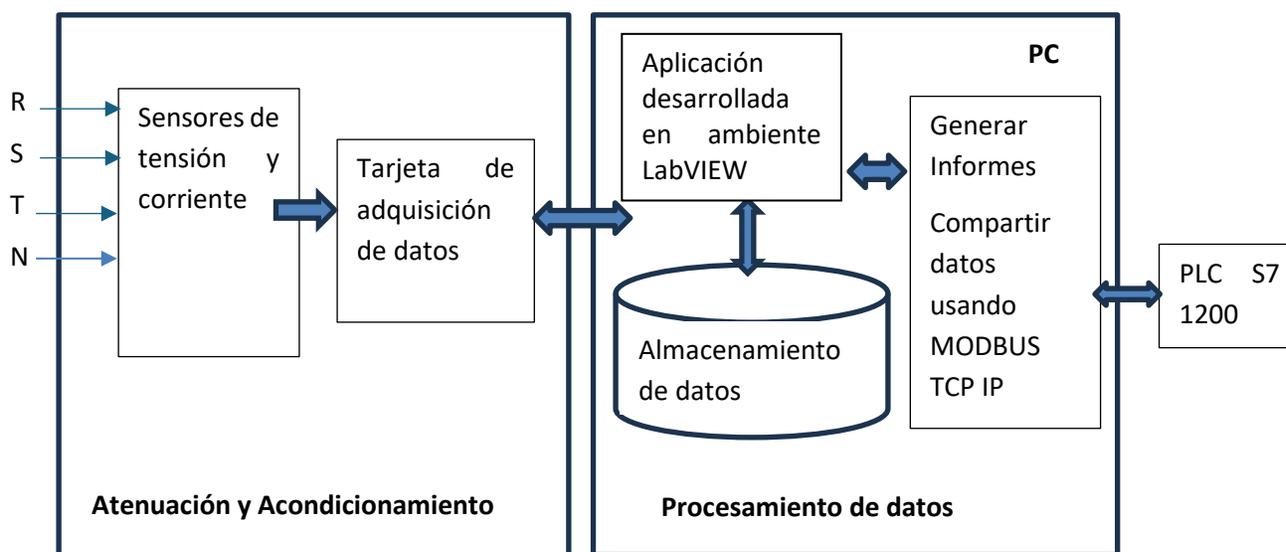


Fig. 2 . Arquitectura del sistema de monitoreo.

Para facilitar una mayor comprensión del sistema desarrollado se describe en detalle cada etapa o bloque en los siguientes apartados.

Sensores de tensión y corriente.

Sensor de corriente no invasivo SCT-013.

Los sensores de la serie SCT-013 trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras [14].

La cantidad de espiras representa la relación entre corriente que circula por el cable y la que el sensor nos entrega, esta relación o proporción es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013, adicionalmente pueden tener una resistencia de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida voltaje [14].

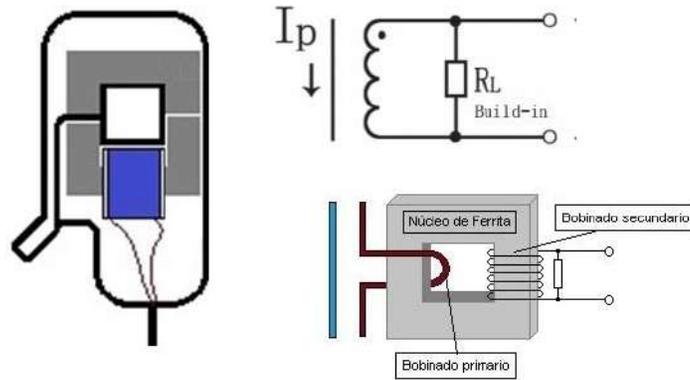


Fig. 3: Vista esquemática del sensor de corriente, fuente [14]

A este tipo de sensores se los conoce como Sensores CT (Current Transformers), que como se explicó, son transformadores. Por el núcleo solo debe de atravesar una sola línea, si pasamos por ejemplo los dos cables de una conexión monofásica, nuestra lectura será 0, puesto que los cables tienen corrientes opuestas [14].

Una ventaja del SCT-013 es que no necesitamos interrumpir (cortar o desempalmar) el cable que vamos a medir, esto porque, al igual que una pinza amperimétrica, tiene el núcleo partido [14].



Fig. 4: Sensor SCT013-30

Para la prueba en laboratorio del monitor de desbalance se usó el sensor SCT013-30. Con este tipo de sensor se tiene un límite de medida de 30 A en una relación de conversión de 30A/1V, es decir que por cada 1 A el sensor muestra en sus terminales de salida una diferencia de potencial de 33.33mV. Si se desea medir corrientes más altas, se puede usar el sensor SCT013-100, el cual ofrece un rango de medida de 100 A, con una relación de conversión de 100 A/1V. En general, para el acondicionamiento de las señales de corriente se debe usar el transformador de corriente acorde a las potencias de las cargas que deseamos monitorear.

Sensor de voltaje

Para la selección del sensor de voltaje hay que considerar los rangos de voltaje admitidos por la DAQ que se utilice; para el proyecto se utilizó la DAQ NI USB- 9009, la cual admite rangos de voltaje de 10V en DC por canal y 20V en AC usando dos canales para una medición diferencial. Tomando en cuenta estas restricciones para la DAQ USB-9009, se puede usar un transformador reductor en cuyo devanado secundario no sobrepase los 12Vrms, para garantizar que el voltaje pico no sobrepase los 20V. Para las

pruebas de laboratorio se usó un transformador con una relación de 110:9 (Fig. 5), que proporciona una salida de voltaje pico de 14V, lo que nos garantiza un voltaje seguro para realizar las mediciones y evitar daños a la DAQ.



Fig. 5: Transformador de voltaje 110:9

Tarjeta de adquisición de datos

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste en sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable como LabVIEW [15].

Cada tarea de adquisición de datos tiene su propio conjunto de requisitos. Para ayudar a satisfacer las necesidades únicas, los productos de NI van desde dispositivos DAQ plug-and-play para medidas fijas y repetibles, hasta sistemas DAQ modulares escalables y flexibles. El controlador versátil se amplía con el software específico de adquisición de datos de NI y soporta lenguajes de programación de terceros [15].

Existen múltiples opciones de sistemas DAQ, National Instrument ofrece deferentes opciones.

Sistemas basados en PC. En un sistema de control y medida basado en PC, los productos de hardware de NI se conectan a su PC o computadora portátil a través de USB o Ethernet. Este tipo de sistema tiene dos arquitecturas principales: una que conecta directamente un dispositivo de E/S multifunción a su PC y otra que conecta un chasis CompactDAQ a su PC, y completa este chasis con módulos de E/S acondicionadas. CompactDAQ proporciona la solución más personalizable con conectividad de sensor directa [15].

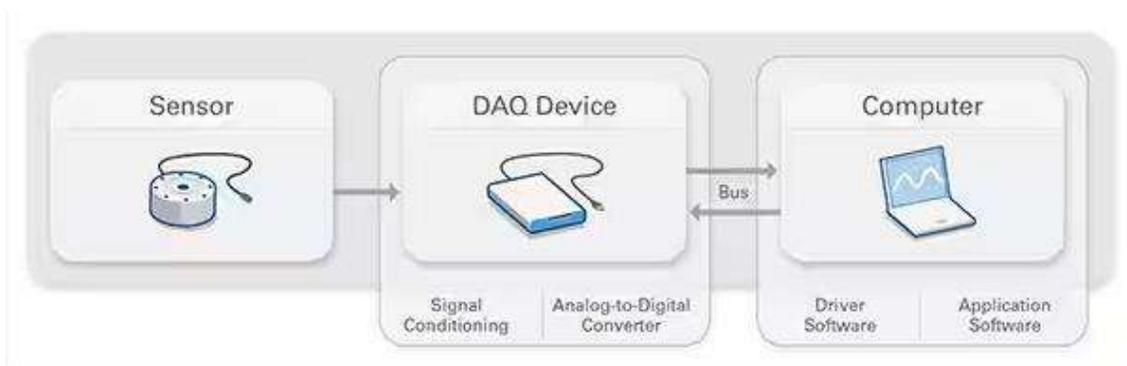


Fig. 6: Sistema DAQ basado en PC. Fuente [16]

Sistemas CompactDAQ. Los sistemas CompactDAQ recopilan y brindan la validación de datos que necesitan para cumplir con los requisitos de prueba a cualquier distancia y en cualquier entorno. Estas soluciones portátiles y personalizables, hechas de módulos de adquisición de datos que pueden sincronizar medidas a través en una red, lo ayudan a digitalizar los datos más cerca de los sensores, minimizando el ruido y simplificando el cableado en campo [15].



Fig.7: Sistema CompactDAQ. Fuente [15]

Sistemas CompactRIO: Los sistemas CompactRIO ofrecen capacidades de procesamiento de alto rendimiento, E/S condicionadas específicamente para sensores y un conjunto de herramientas de software estrechamente integradas que los hace ideales para aplicaciones del Internet Industrial de las Cosas (IIoT), monitoreo y control. El procesador en tiempo real ofrece un comportamiento confiable y predecible, mientras que el FPGA sobresale en tareas más pequeñas que requieren lógica de alta velocidad y temporización precisa [15].



Fig. 8: Sistema compactRIO. Fuente [15]

PXI: Es una PC para ingenieros de pruebas. Es una plataforma de pruebas y medidas que combina un controlador con instrumentos de medida en un chasis de múltiples ranuras. Los ingenieros usan NI PXI para construir sistemas de medidas mixtas de alto rendimiento para pruebas de validación y producción [15].

Los ingenieros eligen NI PXI debido a su alto rendimiento de medidas y su historial comprobado de reducir el tiempo de prueba y reducir el costo general de la prueba. La combinación del alto rendimiento, la modularidad y la conectividad del software de PXI lo hacen ideal para aplicaciones de pruebas que requieren alta precisión, gran cantidad de canales y medidas mixtas [15].

PXI es ideal para:

- Sistemas de pruebas de producción para dispositivos electrónicos.
- Prueba de validación automatizada.
- Aplicaciones de pruebas de alto canal y velocidad.
- Combinar instrumentos, sensores y medidas eléctricas.

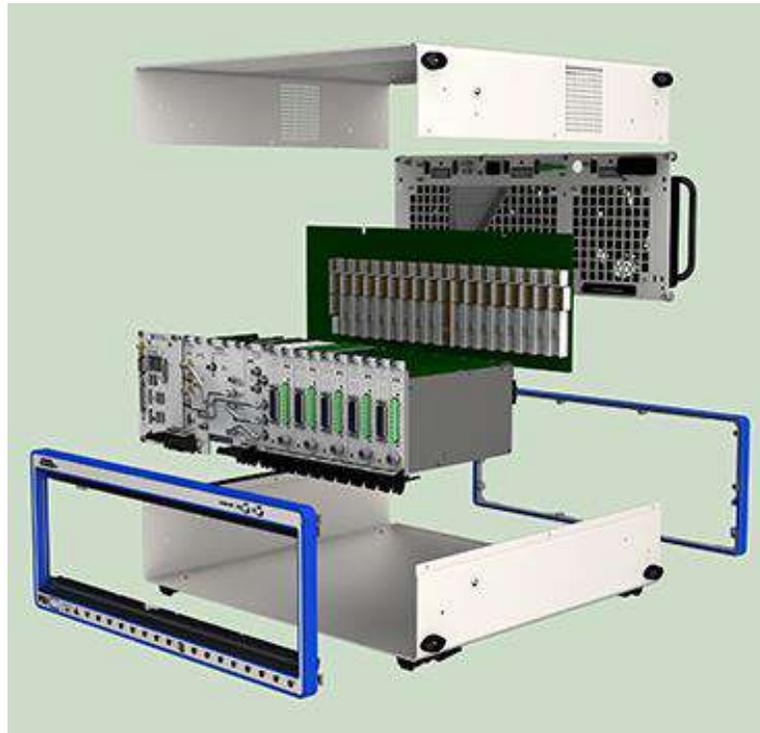


Fig. 9: Sistema PXI. Fuente [15].

Para realizar las pruebas de laboratorio; considerando que los ensayos se debían realizar en un ambiente controlado y no en un entorno industrial, el método de medición que ofrece la mejor relación costo beneficio para el proyecto es el sistema DAQ basado en PC; por ello, para realizar los experimentos se seleccionó la DAQ NI USB-6009.

El USB6009 es un dispositivo DAQ multifunción de bajo costo. Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6009 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como el registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6009 con conectividad de terminal de tornillo. El controlador NI-DAQmx y la utilidad de configuración que están incluidos simplifican la configuración y las medidas [17].

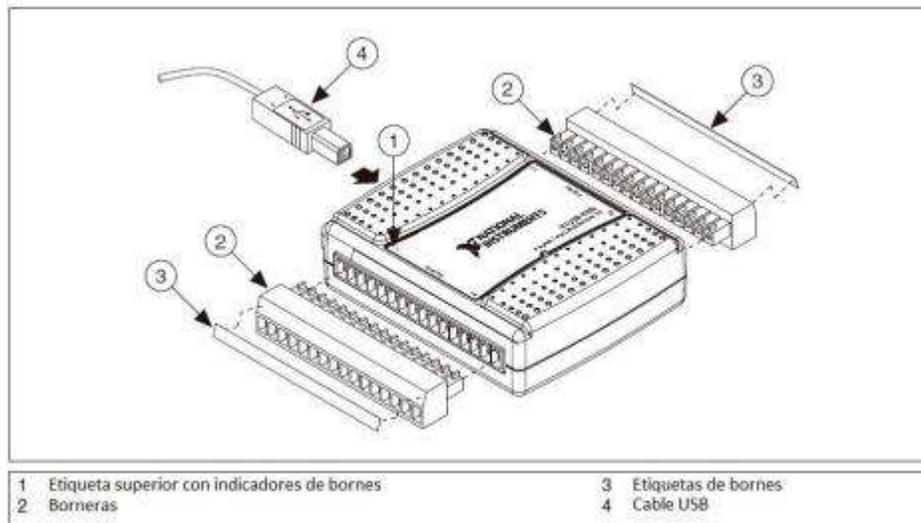


Fig. 10: DAQ NI USB-6009.

Aplicación Desarrollada en Ambiente LabVIEW

Para el desarrollo de la aplicación en LabVIEW, se tomó como referencia la siguiente ruta: adquisición y tratamiento de los datos, procesamiento de señales, cálculo del desbalance y visualización de datos.

a) Adquisición y tratamiento de los datos: el controlador clave para este proceso es el NI-DAQmx (Fig. 11). Con este controlador se puede leer DAQ de la marca National Instruments y ofrece una gran variedad de funciones de lectura y escritura, tanto para señales analógicas como digitales.

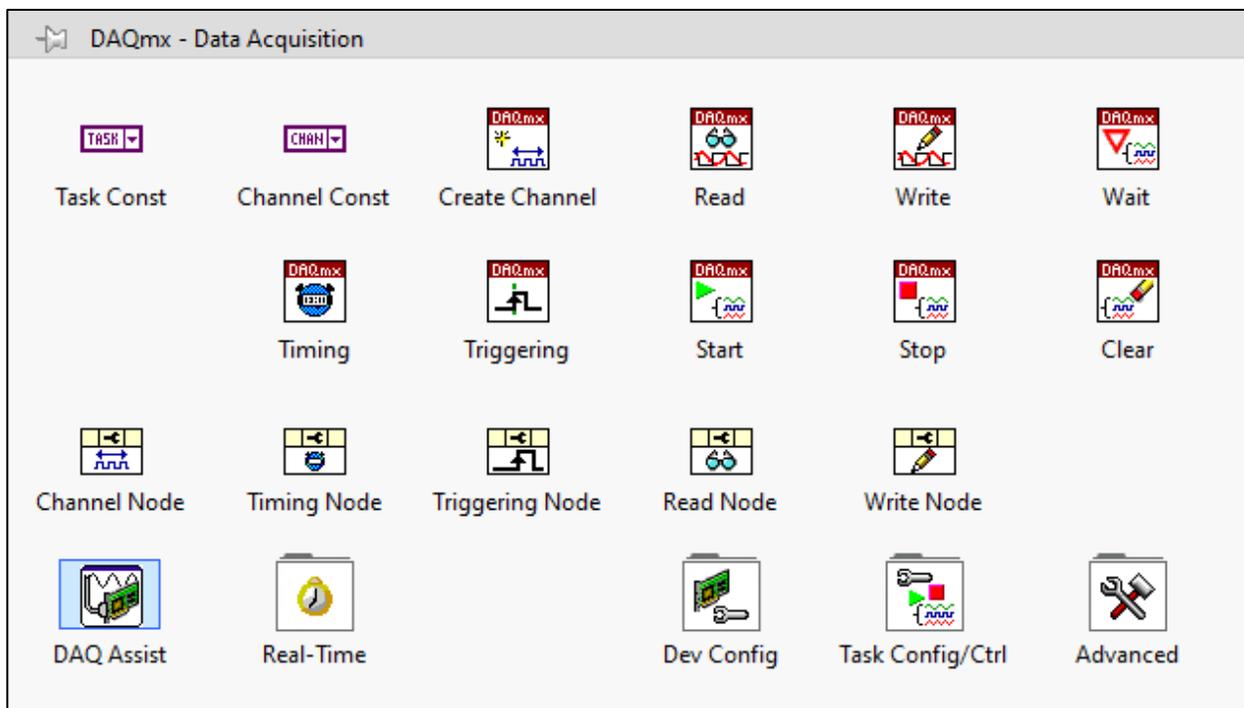


Fig. 11: Controlador DAQmx.

b) Procesamiento de señales: otro elemento clave en el desarrollo de la aplicación para el monitoreo del desbalance, es el procesamiento de las señales o datos adquiridos; ya que las señales deben ser depuradas aplicando filtros para obtener la información que es útil para el proyecto. En este caso, los valores de voltaje y corriente máximo y mínimo, así como el valor nominal que es necesario para poder realizar las operaciones del cálculo del desbalance. LabVIEW cuenta con un módulo específico para este proceso llamado “Signal Processing” (Fig. 12), que contiene una variedad de funciones para el procesamiento de señales digitales y analógicas.

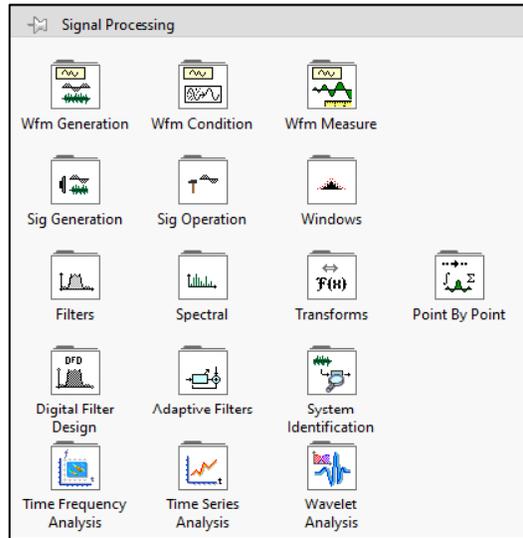


Fig. 12: Módulo para el procesamiento de señales.

c) Cálculo del desbalance: para el cálculo del desbalance se deben realizar diferentes operaciones matemáticas, aplicando las ecuaciones mostradas en el apartado 5.1.2, en el proyecto se usó la ecuación (3). Para este propósito, se utilizó el módulo “Mathematics” (Fig. 13). De todas las opciones posibles que ofrece este módulo, se seleccionó la función “Formula Node” (Fig. 14); ya que es el método más práctico para resolver ecuaciones lineales con LabVIEW.

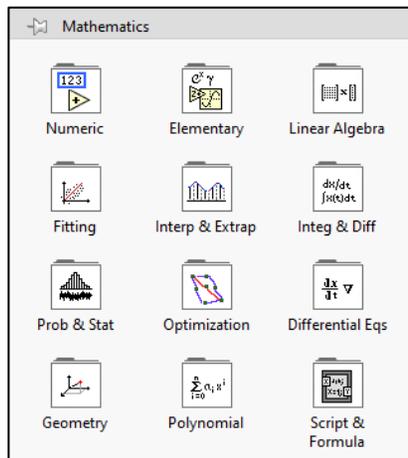


Fig. 13: Módulo Mathematics.

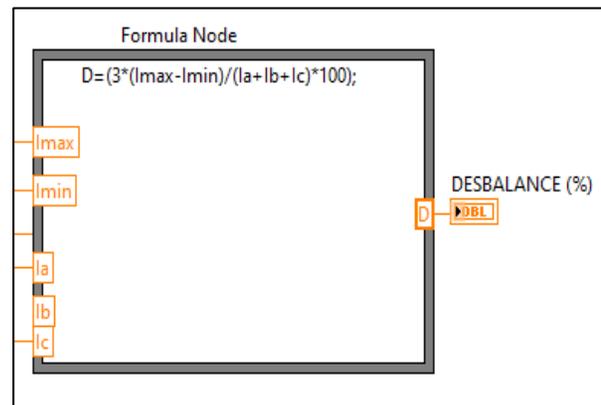


Fig. 14: Función Fórmula Node.

d) Visualización de datos: para tener una mayor comprensión de los eventos que están sucediendo en los puntos de medición, los datos deben ser presentados en diferentes formatos usando gráficas lineales y polares de las señales que se están monitoreando, para ello se utilizó el módulo “Graph” (Fig. 15), el cual contiene una variedad de funciones para visualización de datos en formato lineal, polar, 2D y 3D.

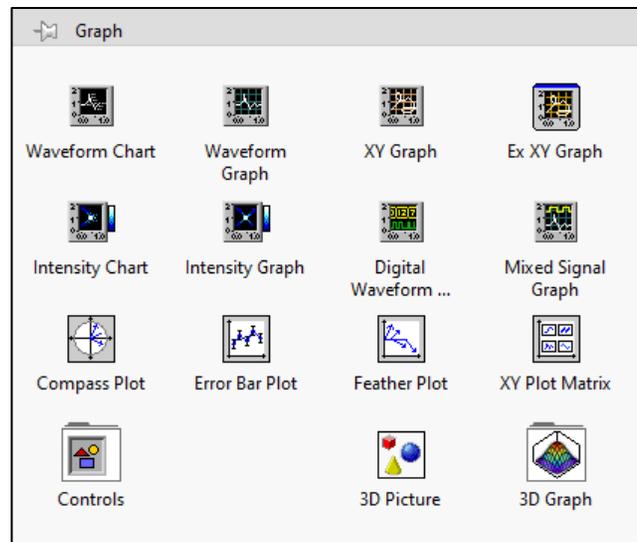


Fig. 15: Módulo Graph

HMI para la gestión del monitor de desbalance.

Considerando que se pueden adicionar módulos para medir y monitorizar diferentes cargas, módulos para calibración de variables y limitar el acceso al sistema únicamente al personal autorizado. Se incorporó a la aplicación desarrollada una pantalla para gestión de módulos. El resultado se muestra en la Fig. 16.



Fig. 16: Pantalla principal para gestión de módulos en el monitor de desbalance.

Aplicación para el monitoreo del desbalance de voltaje y corriente.

Como resultado del proceso de investigación, se diseñó una aplicación que muestre las variables eléctricas en formato lineal (honda senoidal) y polar (representación fasorial), mostrando el porcentaje de desbalance de voltaje y corriente con letras resaltadas para que el usuario pueda monitorear cómodamente la variable de interés para el proyecto (Fig. 17). Para complementar la información de interés se han incorporado tablas en donde se registran los valores máximos y mínimos de voltaje y corriente (Fig. 18). También se incorpora el registro de eventos de alarma cuando el desbalance está fuera de los estándares permitidos (Fig. 19). Para alertar al operador o usuario, se incorpora un elemento visual, que indica con texto y cambio de color que se ha activado una alarma por desbalance fuera de rango. Al presionar el botón “SALIR”, se genera automáticamente un reporte con las alarmas registradas durante la sesión en formato Excel, para que el operador o usuario las almacene de forma permanente. La aplicación resultante se muestra en la Fig. 20.

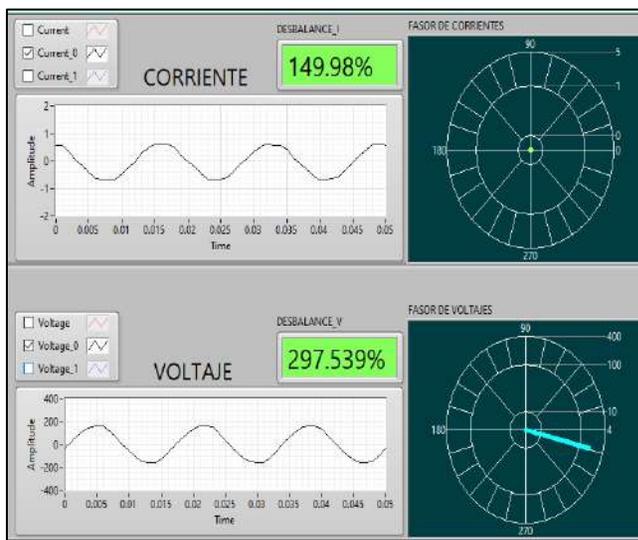


Fig. 17: Monitor de desbalance.



Fig. 18: Registro de variables eléctricas.

ALARMA	ESTADO	FECHA	HORA	DESB(V)	DESB(I)
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:38	297.557%	239.296%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:34	297.553%	239.232%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:33	297.565%	239.279%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:32	297.560%	240.797%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:29	297.567%	239.230%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:28	297.560%	239.702%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:22	297.564%	238.158%
A1	ACTIVA	23/1/2024	14:01:21	297.552%	240.561%

Fig. 19: Registro de alarmas.

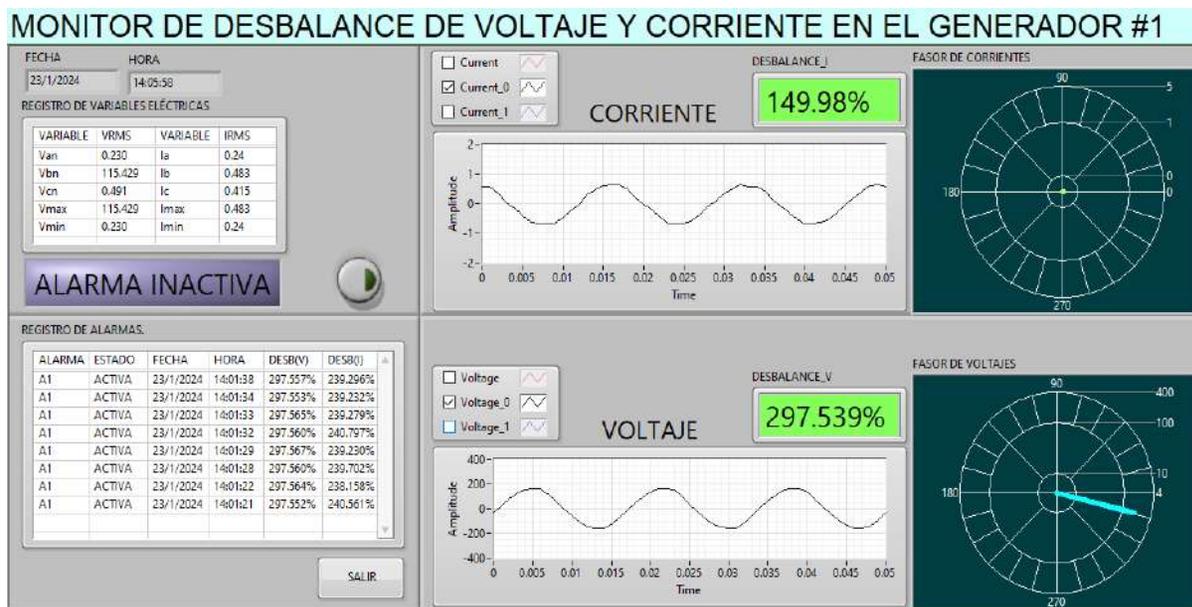


Fig. 20: Vista completa del monitor de desbalance de voltaje y corriente.

Compartir datos usando MODBUS TCP IP

El propósito de integrar un módulo de comunicaciones usando el protocolo de comunicación industrial MODBUS TCP IP es para compartir datos con otras aplicaciones y otras tecnologías que se integran en una red industrial que conforman un modelo basado en el concepto de Industria 4.0, es decir, que los datos pueden ser compartidos usando una nube, pueden enviarse a un autómatas programable para integrarse a un proceso, se pueden proyectar los datos en una HMI remota que se encuentra en un área diferente al punto de medición, entre otras aplicaciones.

En este proyecto se implementó el módulo de comunicaciones para compartir datos con un PLC S7 1200 que esta enlazado con un VPN IXON (consultar ficha técnica en anexos), que permite utilizar una nube segura para conexión remota y compartir datos en la nube. El acceso al módulo se efectúa mediante un botón llamado "EXPORTAR", que se localiza en la pantalla principal, Fig. 16. La vista del módulo de comunicaciones se muestra en la Fig. 21.



Fig. 21: Módulo para compartir datos con un PLC S7 1200.

Programa desarrollado para el PLC S7 1200

Para poner a prueba la comunicación efectiva entre el PLC S7 1200 y la aplicación desarrollada con LabVIEW, se diseñó un programa que permite leer los datos enviados y los almacena en dos registros temporales para poder utilizarse en cualquier aplicación integrada con el PLC. El código se muestra a continuación.

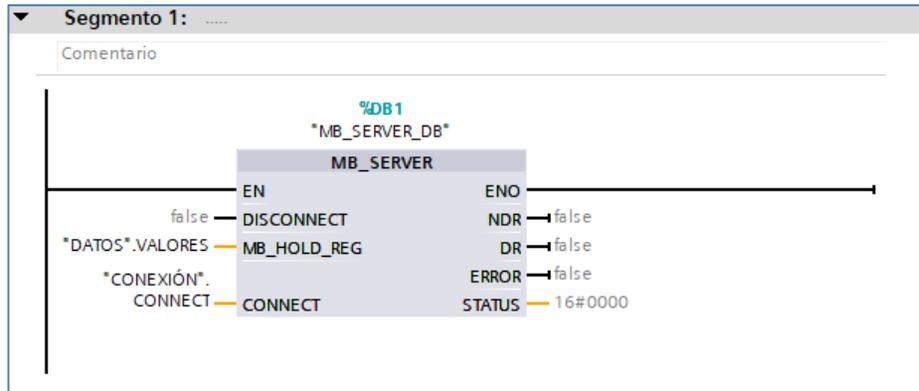


Fig. 22: Configuración de MB_SERVER_DB

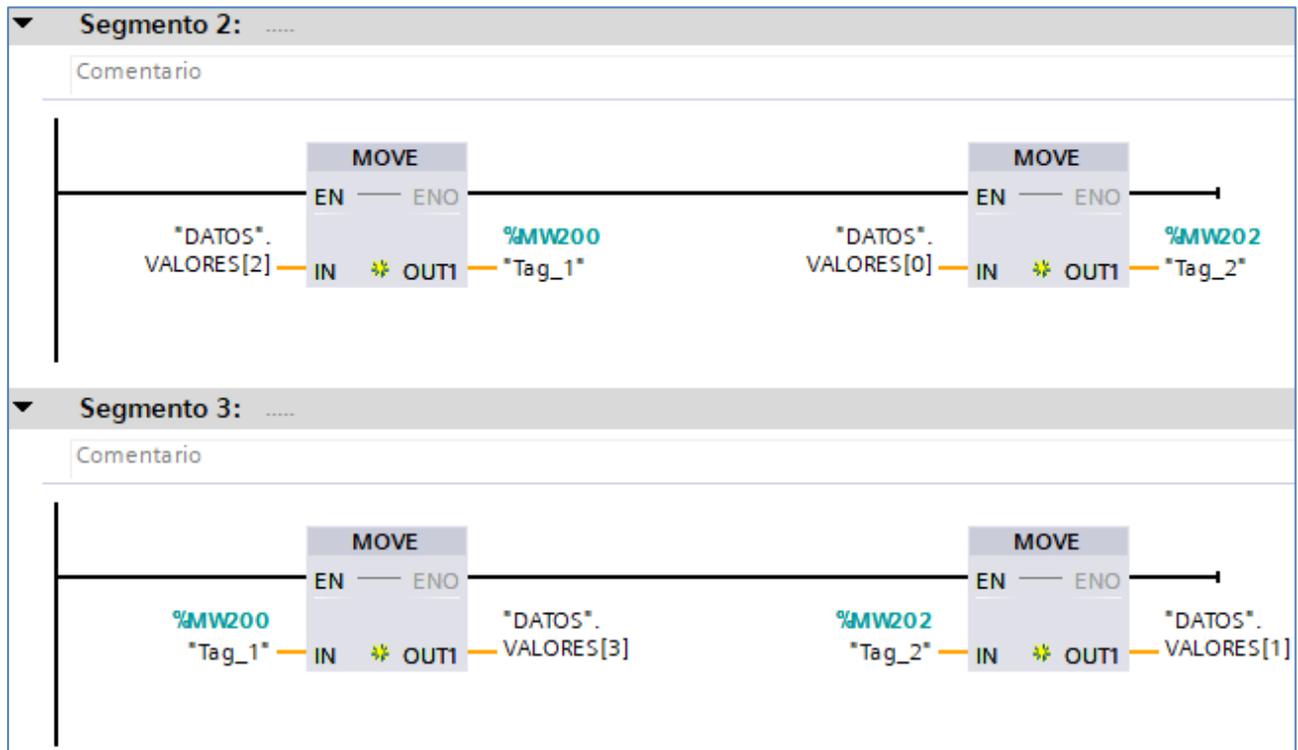


Fig. 23: Código para probar la comunicación entre la aplicación LabVIEW y el PLC S71200, con almacenamiento temporal en MW200 y MW202.

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	CONNECT	TCON_IP_v4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	InterfaceId	HW_ANY	64	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	ID	CONN_OUC	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	ConnectionType	Byte	16#0B	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	ActiveEstablished	Bool	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	RemoteAddress	IP_V4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	ADDR	Array[1..4] of Byte		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	ADDR[1]	Byte	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	ADDR[2]	Byte	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	ADDR[3]	Byte	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	ADDR[4]	Byte	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	RemotePort	UInt	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	LocalPort	UInt	502	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 24: Variables de conexión usadas por MB_SERVER_DB

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a..
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	VALORES	Array[0..3] o...		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	VALORES[0]	Word	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	VALORES[1]	Word	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	VALORES[2]	Word	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	VALORES[3]	Word	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 25: Bloque de datos usado por MB_SERVER_DB

8. CONCLUSIONES

1. En todo proceso de generación y distribución de energía eléctrica, para mantener la calidad de la energía, debe contar con sistemas de monitoreo periódico de las principales variables eléctricas; utilizando hardware especializado para toma de medidas en campo, como los analizadores de redes portátiles o utilizando monitoreo continuo basado en software y hardware integrados en un sistema más amplio como un ESCADA.
2. Para el desbalance de voltaje y corriente, en El salvador, no existe una norma que defina los valores de referencia para esta variable; por tanto, las entidades que integran el sistema de generación, transmisión y distribución de la energía a nivel nacional, deben tomar como referencia las normas internacionales. La selección de la norma para esta variable en particular queda a discreción de cada entidad generadora o distribuidora de energía.
3. Se ha diseñado un sistema para el monitoreo del desbalance de tensión y corriente entre las fases A, B y C de los generadores eléctricos, utilizando una red de sensores de voltaje y corriente con registro de datos en la nube. El sistema permite detectar y alertar sobre las anomalías por desbalance en la red eléctrica, así como almacenar y analizar los datos para identificar las posibles causas y tomar medidas preventivas y correctivas. El sistema se ha implementado y evaluado, demostrando su funcionamiento y eficacia. El sistema contribuye a mejorar la calidad del servicio de generación, reducir las pérdidas de potencia, evitar el sobrecalentamiento y el daño de los equipos, y optimizar el mantenimiento de los generadores.

9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un seguimiento y una evaluación periódica del sistema, para verificar su correcto funcionamiento y actualizar sus componentes y parámetros según las necesidades de la planta.
2. Se sugiere ampliar el sistema para monitorear otros parámetros de calidad de la potencia eléctrica, como la distorsión armónica, los transitorios y las fluctuaciones de tensión.
3. Se propone replicar el sistema en otras plantas de generación, adaptándolo a sus características y requerimientos específicos.

10. GLOSARIO

DAQ. Siglas de Data Acquisition (Adquisición de Datos). Se refiere al proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico, como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido, y convertirlo en una forma digital que pueda ser almacenada, analizada o visualizada en una computadora. Un sistema DAQ consta de sensores, hardware de medidas DAQ y un software programable como LabVIEW.

Desbalance de corriente. Es una condición anormal en un sistema eléctrico trifásico, en la que las corrientes de las tres fases no son iguales en magnitud o no tienen una diferencia de 120 grados entre sí. El desbalance de corriente puede causar pérdidas de potencia, sobrecalentamiento, vibraciones y daños en los equipos eléctricos.

Desbalance de voltaje. Es una condición anormal en un sistema eléctrico trifásico, en la que las tensiones de las tres fases no son iguales en magnitud o no tienen una diferencia de 120 grados entre sí. El desbalance de voltaje puede afectar el rendimiento y la vida útil de los motores trifásicos, así como generar armónicos, transitorios y desequilibrios de potencia reactiva.

HMI. Son las siglas de Human Machine Interface (Interfaz Humano-Máquina). Se refiere a un panel o una pantalla que permite a un usuario comunicarse con una máquina, un software o un sistema. Las HMI se utilizan comúnmente en el contexto de un proceso industrial, para visualizar y controlar los datos y las operaciones de las máquinas y los sistemas.

LabVIEW. Es un software de ingeniería de sistemas y un entorno de desarrollo creado por National Instruments Corporation para diversas aplicaciones de ingeniería. Permite crear programas gráficos intuitivos para el control y el monitoreo de equipos, el análisis y la visualización de datos, el diseño y la simulación de sistemas, y la automatización de pruebas y mediciones.

Monitor de desbalance. Es un dispositivo o un sistema que monitorea el desbalance de corriente o de voltaje en una red eléctrica trifásica, y que puede emitir una señal de alarma o desconectar la carga en caso de detectar una anomalía. Un ejemplo de este tipo de dispositivo es el monitor secuencia de fases sobre bajo voltaje desbalance, que supervisa la secuencia de fases, la falta de fases, el sobre/bajo voltaje y el desbalance de fases en un sistema trifásico.

NI: Es el nombre comercial de National Instruments Corporation, una empresa multinacional estadounidense con operación internacional. Sus productos y soluciones se aplican en diversos sectores como la electrónica, la energía, la educación, la defensa, el transporte y la salud.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] López Beltrán José, Ventura Games Elvia. "Estudio del desbalance de tensiones y sus efectos en la calidad del producto técnico para sistemas de distribución a nivel industrial". UES, San Salvador Enero 2019.
- [2] A. Robert and J. Marquet. "Assessing Voltage Quality with relation to Harmonics, Flicker and Unbalance". CIGRE WG 36.05, Paper 36-203. 1992
- [3] IEEE 1993. "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants". (Red Book) ANSI-IEEE Std. 141, 1993
- [4] IEEE 1995. "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality". IEEE Std. 1159. June, 1995.
- [5] IEC-2003. "Electromagnetic compatibility. Testing and measurement techniques. Power Quality Measurement Methods". IEC 61000-4-30. 2003.
- [6] IEEE-1987. "IEEE guide for self-commutated converters". ANSI/IEEE Std 936-1987.
- [7] IEEE-2000. "The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms. Seventh Edition". ANSI/IEEE Std 100-2000
- [8] P.E. Issouribehere, J.C. Barbero, G.A. barbera." Estudio comparativo de las diferentes definiciones de los factores de desbalance de tensiones y corrientes en los sistemas trifásicos". IITREE FI-UNLP, Argentina.
- [9]<https://www.fluke.com/es-sv/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/desequilibrio-de-tension>.
- [10]D. G. Fink y H. W. Beaty, "Manual de Ingeniería Eléctrica". 4a ed. México: McGraw-Hill, 2009.
- [11] ICONTEC , "Calidad de la potencia eléctrica en el punto de conexión común entre el operador de red y el usuario", Norma, NTC 5001, 36 p., 2017.
- [12] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", Norma, IEEE Std 1159-2014, 128 p., 2014.
- [13] CENELEC, "Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución", Norma, EN 50160, 36 p., 2010.
- [14] Naylamp Mechatronics, Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html#:~:text=Los%20sensores%20de%20la%20serie,hasta%20m%C3%A1s%20de%202000%20espiras.
- [15] National Instruments, Data Acquisition. Disponible en: <https://www.ni.com/es/shop/data-acquisition.htm>.
- [16] M. K. Saini, "How to Build a Compact Data Acquisition System", Digi-Key, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, ene. 2020.
- [17] National Instruments, USB-6009. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6009.html>

12.ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA SENSOR SERIE SCT013

Model: SCT-013 Series

Characteristics: Opening size: 13mm×13mm
 Non-linearity±3% (10%—120% rated input current)
 1.5m leading wire. Diagram for standard three-output
 Current output type or Voltage output type
 (Voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Suitable for the current measuring
 monitoring and protection of AC motor
 lighting equipment air compressor and so on

Core material: Ferrite

Mechanical strength: The number of switching is not less than 1000 times
 (Test under 20°C).

Safety index: Dielectric strength 6000V AC/1min

Fire resistance property: in accordance with UL94-VO

Working temperature: -25°C—+70°C

Outline size diagram: (in mm)

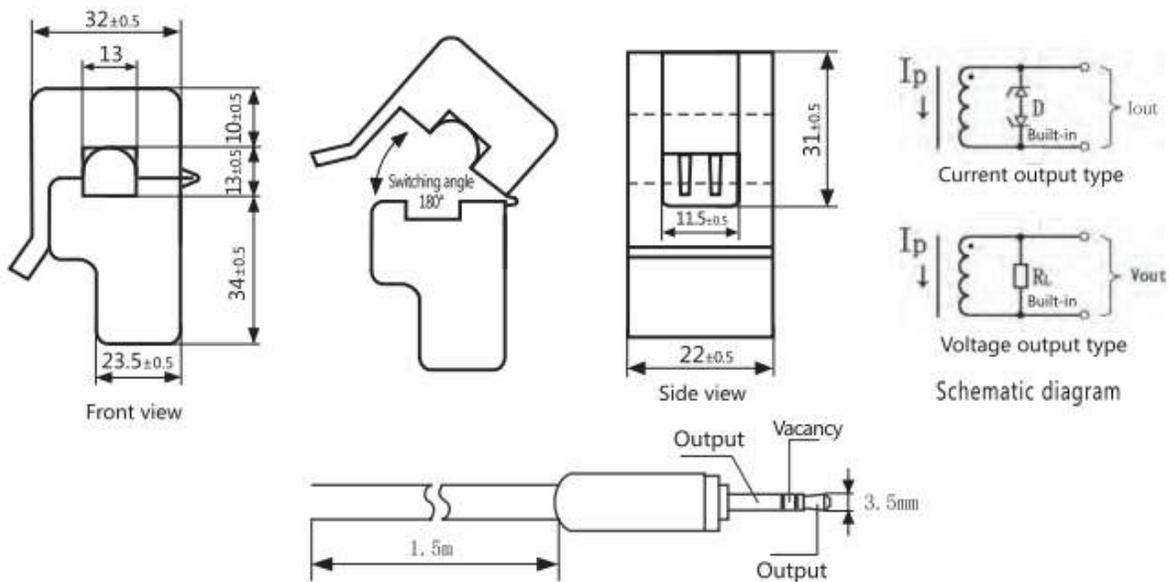


Table of technical parameters:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/33mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	

USB-6009 Specifications

Definitions

Warranted specifications describe the performance of a model under stated operating conditions and are covered by the model warranty.

Characteristics describe values that are relevant to the use of the model under stated operating conditions but are not covered by the model warranty.

- **Typical** specifications describe the performance met by a majority of models.
- **Nominal** specifications describe an attribute that is based on design, conformance testing, or supplemental testing.

Specifications are **Typical** unless otherwise noted.

Conditions

Specifications are valid at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Analog inputs	
Differential	4
Single-ended	8, software-selectable
Input resolution	
Differential	14 bits
Single-ended	13 bits

Maximum sample rate (aggregate)	48 kS/s, system dependent
Converter type	Successive approximation
AI FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Differential	$\pm 20\text{ V}$ ^[1] , $\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 4\text{ V}$, $\pm 2.5\text{ V}$, $\pm 2\text{ V}$, $\pm 1.25\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$
Single-ended	$\pm 10\text{ V}$
Working voltage	$\pm 10\text{ V}$
Input impedance	144 k Ω
Overvoltage protection	$\pm 35\text{ V}$
Trigger source	Software or external digital trigger
System noise^[2]	
Differential	
$\pm 20\text{ V}$ range	5 mV _{rms}
$\pm 1\text{ V}$ range	0.5 mV _{rms}
Single-ended, $\pm 10\text{ V}$ range	5 mV _{rms}

Table 1. Absolute Accuracy at Full Scale, Differential

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5



Note Input voltages may not exceed the working voltage range.

Table 2. Absolute Accuracy at Full Scale, Single-Ended

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Table 2. Absolute Accuracy at Full Scale, Single-Ended

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Analog Output

Analog outputs	2
Output resolution	12 bits
Maximum update rate	150 Hz, software-timed
Output range	0 V to +5 V
Output impedance	50 Ω
Output current drive	5 mA

Power-on state	0 V
Slew rate	1 V/ μ s
Short circuit current	50 mA
Absolute accuracy (no load)	
Typical	7 mV
Maximum at full scale	36.4 mV

Digital I/O

Digital I/O lines	
P0.<0..7>	8 lines
P1.<0..3>	4 lines
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type ^[3]	Each channel individually programmable as open collector or active drive
Compatibility	TTL, LVTTTL, CMOS
Absolute maximum voltage range	-0.5 V to 5.8 V with respect to GND
Pull-up resistor	4.7 k Ω to 5 V
Power-on state	Input

Table 3. Digital Logic Levels

Level	Minimum	Maximum
Input low voltage	-0.3 V	0.8 V
Input high voltage	2.0 V	5.8 V
Input leakage current	—	50 μ A
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8 V
Output high voltage, active drive (I = -8.5 mA)	2.0 V	3.5 V
Output high voltage, open collector (I = -0.6 mA, nominal)	2.0 V	5.0 V
Output high voltage, open collector (I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0 V	—

External Voltage

+5 V output (200 mA maximum)	
Minimum	+4.85 V
Typical	+5 V
+2.5 V output (1 mA maximum)	+2.5 V
+2.5 V accuracy	0.25% maximum
Reference temperature drift	50 ppm/°C maximum

Event Counter

Number of counters	1
Resolution	32 bits

Counter measurements	Edge counting (falling-edge)
Counter direction	Count up
Pull-up resistor	4.7 k Ω to 5 V
Maximum input frequency	5 MHz
Minimum high pulse width	100 ns
Minimum low pulse width	100 ns
Input high voltage	2.0 V
Input low voltage	0.8 V

Bus Interface

USB specification	USB 2.0 full-speed (12 Mb/s)
-------------------	------------------------------

Power Requirements

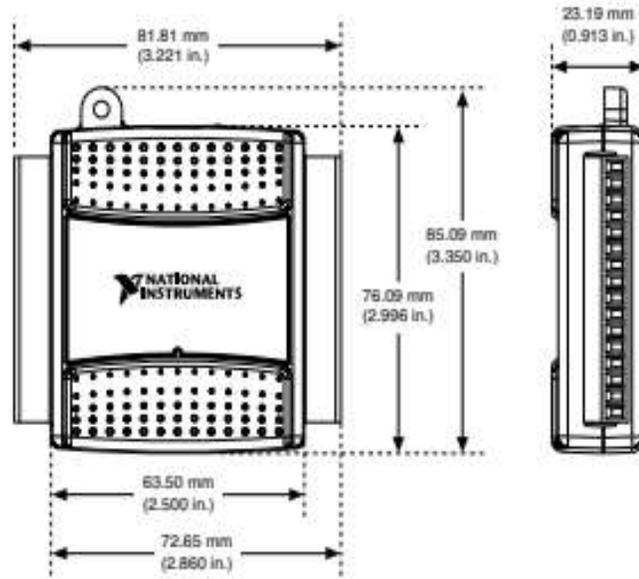
USB, 4.10 VDC to 5.25 VDC	
Typical	80 mA
Maximum	500 mA
USB suspend	
Typical	300 μ A
Maximum	500 μ A

Physical Characteristics

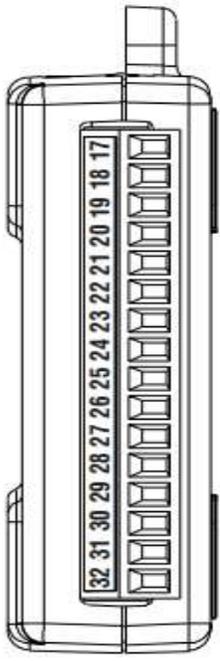
Dimensions	
Without connectors	63.5 mm \times 85.1 mm \times 23.2 mm (2.50 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)
With connectors	81.8 mm \times 85.1 mm \times 23.2 mm (3.22 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)
Weight	
Without connectors	54 g (1.9 oz)
With connectors	84 g (3 oz)
USB connector	USB series B receptacle (1)
I/O connectors	
Type	16-position screw terminal plugs (2)
Screw-terminal wiring	16 AWG to 28 AWG
Torque for screw terminals	0.22 N \cdot m to 0.25 N \cdot m (2.0 lb \cdot in. to 2.2 lb \cdot in.)

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Figure 1. USB-6009 Dimensions



Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

+5 V	34	33	PFI 0
D GND	32	31	P1.3
P1.2	30	29	P1.1
P1.0	28	27	P0.7
P0.6	26	25	P0.5
P0.4	24	23	P0.3
P0.2	22	21	P0.1
P0.0	20	19	D GND
LED	18	17	D+
VBUS	16	15	D-
AI GND	14	13	AI GND
AI 4 (AI 0-)	12	11	AI 0 (AI 0+)
AI 5 (AI 1-)	10	9	AI 1 (AI 1+)
AI 6 (AI 2-)	8	7	AI 2 (AI 2+)
AI 7 (AI 3-)	6	5	AI 3 (AI 3+)
AI GND	4	3	AI GND
AO 1	2	1	AO 0

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

Channel-to-GND	±30 V max, Measurement Category I
----------------	-----------------------------------

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics



Caution Do not use this module for connection to signals or for measurements within Measurement Categories II, III, or IV



Note Measurement Categories CAT I and CAT O (Other) are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct

connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Environmental

Temperature (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)	
Operating	0 °C to 55 °C
Storage	-40 °C to 85 °C
Humidity (IEC 60068-2-56)	
Operating	5% RH to 95% RH, noncondensing
Storage	5% RH to 90% RH, noncondensing
Pollution Degree (IEC 60664)	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.

Safety Compliance Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA C22.2 No. 61010-1



Note For safety certifications, refer to the product label or the [Product Certifications and Declarations](#) section.

Electromagnetic Compatibility

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 2011/65/EU; Restriction of Hazardous Substances (RoHS)
- 2014/53/EU; Radio Equipment Directive (RED)
- 2014/34/EU; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Product Certifications and Declarations

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for NI products, visit ni.com/product-certifications, search by model number, and click the appropriate link.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the **Engineering a Healthy Planet** web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.



Data sheet

6ES7212-1AE40-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 8 DI 24 V DC; 6 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, Power supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 75 KB

General information	
Product type designation	CPU 1212C DC/DC/DC
Firmware version	V4.4
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> Programming package 	STEP 7 V16 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
<ul style="list-style-type: none"> Rated value (DC) permissible range, lower limit (DC) permissible range, upper limit (DC) 	24 V 20.4 V 28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	400 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 200 mA; CPU with all expansion modules
Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V DC
I ² t	0.5 A ² ·s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 000 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V 	L+ minus 4 V DC min.
Power loss	
Power loss, typ.	9 W
Memory	
Work memory	
<ul style="list-style-type: none"> integrated expandable 	75 kbyte No
Load memory	
<ul style="list-style-type: none"> integrated Plug-in (SIMATIC Memory Card), max. 	2 Mbyte with SIMATIC memory card
Backup	
<ul style="list-style-type: none"> present maintenance-free without battery 	Yes Yes Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used

Data areas and their retentivity	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Size, max.	4 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
Address area	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte
• Outputs, adjustable	1 kbyte
Hardware configuration	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 2 signal modules
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Backup time	480 h; Typical
• Deviation per day, max.	±60 s/month at 25 °C
Digital inputs	
Number of digital inputs	8; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	6; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	8
Input voltage	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA

Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
Cable length	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; for technological functions: No
Digital outputs	
Number of digital outputs	6
• of which high-speed outputs	4; 100 kHz Pulse Train Output
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-48 V)
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A
• on lamp load, max.	5 W
Output voltage	
• for signal "0", max.	0.1 V; with 10 kOhm load
• for signal "1", min.	20 V
Output current	
• for signal "1" rated value	0.5 A
• for signal "0" residual current, max.	0.1 mA
Output delay with resistive load	
• "0" to "1", max.	1 μ s
• "1" to "0", max.	5 μ s
Switching frequency	
• of the pulse outputs, with resistive load, max.	100 kHz
Relay outputs	
• Number of relay outputs	0
Cable length	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
— Input resistance (0 to 10 V)	$\geq 100k$ ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μ s
Encoder	
Connectable encoders	
• 2-wire sensor	Yes

1. Interface	
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Interface types	
• RJ 45 (Ethernet)	Yes
• Number of ports	1
• integrated switch	No
Protocols	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes
• Open IE communication	Yes; Optionally also encrypted
• Web server	Yes
• Media redundancy	No
PROFINET IO Controller	
• Transmission rate, max.	100 Mbit/s
Services	
— PG/OP communication	Yes
— Isochronous mode	No
— IRT	No
— PROFIenergy	No
— Prioritized startup	Yes
— Number of IO devices with prioritized startup, max.	16
— Number of connectable IO Devices, max.	16
— Number of connectable IO Devices for RT, max.	16
— of which in line, max.	16

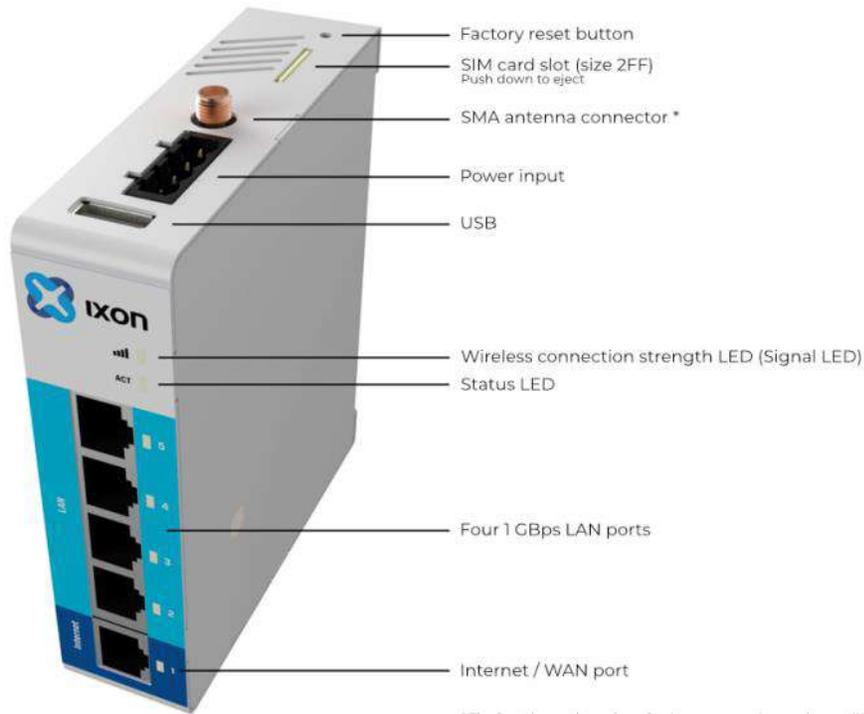
— Activation/deactivation of IO Devices	Yes
— Number of IO Devices that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
— Updating time	The minimum value of the update time also depends on the communication component set for PROFINET IO, on the number of IO devices and the quantity of configured user data.
PROFINET IO Device	
Services	
— PG/OP communication	Yes
— Isochronous mode	No
— IRT	No
— PROFinergy	Yes
— Shared device	Yes
— Number of IO Controllers with shared device, max.	2
Protocols	
Supports protocol for PROFINET IO	Yes
PROFIBUS	Yes; CM 1243-5 (master) or CM 1242-5 (slave) required
AS-Interface	Yes; CM 1243-2 required
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	No
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
Redundancy mode	
Media redundancy	
— MRP	No
— MRPD	No
SIMATIC communication	
• S7 routing	Yes
Open IE communication	
• TCP/IP	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
— several passive connections per port, supported	Yes
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
• UDP	Yes
— Data length, max.	1 472 byte
Web server	
• supported	Yes
• User-defined websites	Yes
OPC UA	
• Runtime license required	Yes; "Basic" license required
• OPC UA Server	Yes; Data access (read, write, subscribe), runtime license required
— Application authentication	Available security policies: None, Basic128Rsa15, Basic256Rsa15, Basic256Sha256
— User authentication	"anonymous" or by user name & password
— Number of sessions, max.	5
— Number of accessible variables, max.	1 000
— Number of subscriptions per session, max.	5
— Sampling interval, min.	100 ms
— Publishing interval, min.	200 ms
— Number of monitored items, max.	500
— Number of server interfaces, max.	2
— Number of nodes for user-defined server interfaces, max.	1 000
Further protocols	
• MODBUS	Yes

Communication functions	
S7 communication	
• supported	Yes
• as server	Yes
• as client	Yes
• User data per job, max.	See online help (S7 communication, user data size)
Number of connections	
• overall	8 connections for open user communication (active or passive): TSEND_C, TRCV_C, TCON, TDISCON, TSEND and TRCV, 8 CPU/CPU connections (Client or Server) for GET/PUT data, 6 connections for dynamic assignment to GET/PUT or open user communication
Test commissioning functions	
Status/control	
• Status/control variable	Yes
• Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
Forcing	
• Forcing	Yes
Diagnostic buffer	
• present	Yes
Traces	
• Number of configurable Traces	2
• Memory size per trace, max.	512 kbyte
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostics indication LED	
• RUN/STOP LED	Yes
• ERROR LED	Yes
• MAINT LED	Yes
Integrated Functions	
Frequency measurement	Yes
controlled positioning	Yes
Number of position-controlled positioning axes, max.	8
Number of positioning axes via pulse-direction interface	4; With integrated outputs
PID controller	Yes
Number of alarm inputs	4
Number of pulse outputs	4
Limit frequency (pulse)	100 kHz
Potential separation	
Potential separation digital inputs:	
• Potential separation digital inputs	No
• between the channels, in groups of	1
Potential separation digital outputs:	
• Potential separation digital outputs	Yes
• between the channels	No
• between the channels, in groups of	1
EMC	
Interference immunity against discharge of static electricity	
• Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
— Test voltage at air discharge	8 kV
— Test voltage at contact discharge	6 kV
Interference immunity to cable-borne interference	
• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
• Interference immunity on signal cables acc. to IEC 61000-4-4	Yes
Interference immunity against voltage surge	
• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes

Interference immunity against conducted variable disturbance induced by high-frequency fields	
• Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes; Group 1
• Limit class B, for use in residential areas	Yes; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Free fall	
• Fall height, max.	0.3 m; five times, in product package
Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C; Number of simultaneously activated inputs or outputs 4 or 3 (no adjacent points) at 60 °C horizontal or 50 °C vertical, 8 or 6 at 55 °C horizontal or 45 °C vertical
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
• Operation, min.	795 hPa
• Operation, max.	1 080 hPa
• Storage/transport, min.	660 hPa
• Storage/transport, max.	1 080 hPa
Altitude during operation relating to sea level	
• Installation altitude, min.	-1 000 m
• Installation altitude, max.	2 000 m
Relative humidity	
• Operation, max.	95 %; no condensation
Vibrations	
• Vibration resistance during operation acc. to IEC 60068-2-6	2 g (m/s ²) wall mounting, 1 g (m/s ²) DIN rail
• Operation, tested according to IEC 60068-2-6	Yes
Shock testing	
• tested according to IEC 60068-2-27	Yes; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms
Pollutant concentrations	
• SO ₂ at RH < 60% without condensation	SO ₂ : < 0.5 ppm; H ₂ S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
Configuration	
Programming	
Programming language	
— LAD	Yes
— FBD	Yes
— SCL	Yes
Know-how protection	
• User program protection/password protection	Yes
• Copy protection	Yes
• Block protection	Yes

Access protection	
• Protection level: Write protection	Yes
• Protection level: Read/write protection	Yes
• Protection level: Complete protection	Yes
Cycle time monitoring	
• adjustable	Yes
Dimensions	
Width	90 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm
Weights	
Weight, approx.	370 g
last modified:	3/2/2021 

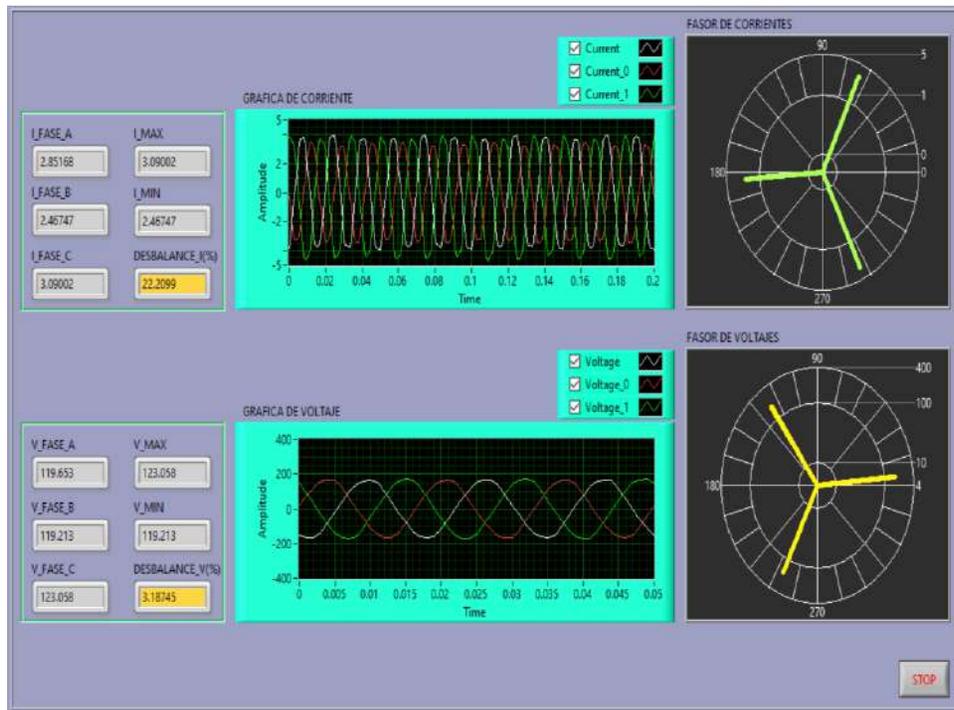
ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DE IX ROUTER



Ficha técnica.

Power supply (recommended)	12-24 VDC +/- 20% LPS 2A
Power consumption	10W max, about 2.5-5W* idle
Operating temperature	-20°C to +65°C
Relative humidity	10 to 95% non-condensing
Operating altitude	Up to maximum 2000m
Storage temperature	-20°C to +65°C
Storage humidity	10 to 95% non-condensing
Storage altitude	Up to maximum 3000m
Ethernet ports	Five 1 Gbps (4x LAN, 1x WAN)
USB	USB 2.0
Processor	MIPS 800 MHz
Digital Input	Yes
Degree of protection	IP20
Mounting	DIN rail
Size	95 x 116 x 28mm (excl. DIN rail clip)
Weight	270-310 gram
Certifications	CE, cULus Listing, FCC Verification, REACH
Warranty	2 years

ANEXO 5: LECTURAS OBTENIDAS DE UN SISTEMA TRIFÁSICO DURANTE LA FASE DE DESARROLLO



SEDE CENTRAL Y CENTROS REGIONALES EL SALVADOR



La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.

1. SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 carretera a Santa Tecla, La libertad.
Tel.: (503) 2132-7400

2. CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur, Finca Proavía.
Tel.: (503) 2440-4348

3. CENTRO REGIONAL ZACATECOLUCA

Km. 64.5, desvío Hacienda El Nilo sobre autopista a Zacatecoluca.
Tel.: (503) 2334-0763 y 2334-0768

4. CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140 carretera a Santa Rosa de Lima.
Tel.: (503) 2669-2298

5. CENTRO REGIONAL LA UNIÓN

Calle Sta. María, Col. Belén, atrás del Instituto Nacional de La Unión
Tel.: (503) 2668-4700