



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño e implementación de un analizador de calidad de energía de alto desempeño, basado en tecnología CompactRIO FPGA.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Sarango Torres, Diego Alexander.

DIRECTOR: Calderón Córdova, Carlos Alberto, Ing.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Carlos Alberto Calderón Córdova.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un analizador de calidad de energía de alto desempeño, basado en tecnología CompactRIO FPGA.”, realizado por el profesional en formación Sarango Torres Diego Alexander; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo cual se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre del 2016

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Sarango Torres Diego Alexander, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de un analizador de calidad de energía de alto desempeño, basado en tecnología CompactRIO FPGA., de la titulación Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Ing. Carlos Alberto Calderón Córdova director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Diego Alexander Sarango Torres.

Cédula: 1104202906

DEDICATORIA

Trabajo, dedicación, respeto y constancia, son las principales enseñanzas que me dieron mis padres Domingo y Yolanda, que con su apoyo incondicional me han dado las fuerzas para poder realizar este trabajo. A mis hermanos, Yessenia y Jonathan, que día a día supieron darme el aliento necesario, para poder levantarme en las múltiples caídas que he tenido en mi vida. A mi esposa Gina Mabel, que siempre estuvo pendiente de mí, dándome la inspiración para poder alcanzar esta meta. A estas personas dedico el presente trabajo, ya que han sido el pilar fundamental para culminar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fe, fuerza y sabiduría para finalizar esta etapa de mi vida, que fue mi formación profesional.

A mis padres, hermanos y familia que supieron darme el apoyo y energía, para poder culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mis compañeros de estudio que siempre estuvieron en los momentos de felicidad, pero más en los momentos de tristeza y angustia.

Finalmente, a cada uno de los docentes de la titulación, por compartir sus conocimientos y experiencias y de manera especial al Ing. Carlos Calderón, quien me supo brindar su apoyo y conocimiento para culminar este proyecto. Gracias.

Diego Alexander Sarango Torres.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I	5
1 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE HARDWARE Y SOFTWARE DE UN SISTEMA PQA (POWER QUALITY ANALYZER).....	5
1.1 Sistema PQA (Power Quality Analyzer).	6
1.1.1. Generalidades sobre la calidad de energía eléctrica.	6
1.1.2. Calidad de suministro eléctrico.....	6
1.1.3 Analizador de calidad de energía de alto desempeño, basado en tecnología CompactRIO FPGA.	7
1.1.4. Trabajos relacionados.....	7
1.1.5. Parámetros eléctricos.	9
1.1.6. Indicadores de calidad de energía eléctrica.	10
1.1.6.1 Norma IEC 61000-4-30.....	10
1.1.6.2 Norma EN-50160.....	11
1.2 Diseño de la arquitectura software de un sistema PQA.	14
1.2.1 FPGA.....	14
1.2.1.1 Matemática implementada en un FPGA.	15
1.2.1.2.1 Matemática entera.....	15
1.2.1.2.2 Matemática de Punto Fijo (FixedPoint).....	16
1.2.1 Real – Time.....	17
1.2.1 Host en un sistemas embebidos de control y monitoreo.....	17
1.3 Diseño de la arquitectura hardware de un sistema PQA.	19
1.3.1 Compact RIO-9033.	19
1.3.2 Módulo de acondicionamiento de señales de corriente NI – 9227.....	21
1.3.3 Módulo de acondicionamiento de señales de voltaje NI – 9244.	23
1.3.3.1 Conexión para mediciones de fase en el NI-9244.....	24
1.3.4 Fuente de poder NI PS-15.	25
1.3.5 Sensor de corriente WC4-400-RA005.....	26

1.3.1	Sensor de tensión.	26
CAPÍTULO II.		27
2. DESARROLLO DE ALGORITMOS PARA EL CÁLCULO DE PARÁMETROS E INDICADORES PARA SISTEMAS PQA.		27
2.1	Host en el prototipo PQA.	29
2.1.1	Algoritmo para almacenamiento de los datos.	30
2.2	Sección Real Time (RT) en el prototipo PQA.	31
2.2.1	Parametrización de la red eléctrica.	31
2.2.2	Configuración de la tasa de transmisión.	32
2.2.3	Algoritmo para lectura de pila FIFO de voltaje y corriente.	33
2.2.4	Adquisición de las formas de onda de corriente.	33
2.2.5	Adquisición de las formas de onda de voltaje.	34
2.2.6	Algoritmos para el cálculo de los parámetros de energía eléctrica.	34
2.2.6.1	Algoritmo para el cálculo de voltaje RMS.	34
2.2.6.2	Algoritmo para el cálculo de corriente RMS.	35
2.2.6.3	Algoritmo para el cálculo de frecuencia.	36
2.2.6.4	Algoritmo para el cálculo de potencia activa, aparente y reactiva. ...	37
2.2.7	Algoritmos para el cálculo de los indicadores de calidad de energía.	38
2.2.7.1	Algoritmo para el cálculo del nivel de voltaje.	38
2.2.7.2	Algoritmo para el cálculo del desbalance de tensión.	38
2.2.7.3	Algoritmo para el cálculo del desequilibrio de corriente.	39
2.2.7.4	Algoritmo para el cálculo de la variación de frecuencia.	39
2.2.7.5	Algoritmo para el cálculo del factor de potencia.	40
2.2.7.6	Algoritmo para el cálculo de los armónicos de voltaje.	40
2.2.7.7	Algoritmo para el cálculo de los armónicos de corriente.	41
2.3	Sección FPGA en el prototipo PQA.	42
CAPÍTULO III.		43
3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA SOLUCIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA TÉCNICA Y ECONÓMICA.		43
3.1	Implementación del prototipo.	44
3.1.1	Conexiones de los elementos del prototipo PQA.	44
3.1.2	Conexiones del Fluke 435.	46
3.2	Evaluación de indicadores y parámetros de energía eléctrica.	47
3.2.1	Evaluación de los indicadores de calidad de energía eléctrica.	50
3.2.1.1	Nivel de voltaje.	50
3.2.1.1.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.	50
3.2.1.1.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.	51

3.2.1.1.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.....	53
3.2.1.2	Desbalance de tensión.	55
3.2.1.3	Desequilibrio de corriente.	56
3.2.1.4	Factor de potencia (FP).	58
3.2.1.4.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.	58
3.2.1.4.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.	59
3.2.1.4.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.	61
3.2.2	Evaluación de los parámetros eléctricos.	63
3.2.2.1	Voltajes RMS.	63
3.2.2.1.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.....	63
3.2.2.1.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.....	64
3.2.2.1.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.....	66
3.2.2.1.4	Comparación Canal Neutro Fluke 435 y Neutro Prototipo....	68
3.2.2.2	Corrientes RMS.	69
3.2.2.2.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.....	69
3.2.2.2.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.....	71
3.2.2.2.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.....	73
3.2.2.2.4	Comparación Canal Neutro Fluke 435 y Neutro Prototipo.	74
3.2.2.3	Frecuencia.....	76
3.2.2.4	Potencia activa.	78
3.2.2.4.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.....	78
3.2.2.4.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.....	80
3.2.2.4.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.....	81
3.2.2.5	Potencia aparente.....	83
3.2.2.5.1	Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.	83
3.2.2.5.2	Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.	84
3.2.2.5.3	Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.....	86
3.2.1	Resumen de resultados sobre los parámetros e indicadores medidos.	88
3.3	Análisis Económico.....	90
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES.....		93
REFERENCIAS.		94
ANEXOS.		97
ANEXO A.		98
ANEXO B.		100
ANEXO C.		113
ANEXO D.		128
ANEXO E.		137

ANEXO F.....	186
--------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Fig i. 1 Proceso de desarrollo del proyecto.	4
Fig 1. 1 Arquitectura software del prototipo PQA.	14
Fig 1. 3 Representación de datos en LabVIEW.....	16
Fig 1. 4 Ventana de propiedades numéricas para LabVIEW.	17
Fig 1. 2 Sistema embebido de monitoreo y control.	18
Fig 1. 5 Arquitectura hardware del prototipo PQA.	19
Fig 1. 6 Panel frontal cRIO-9033.....	21
Fig 1. 7 NI-9227.	22
Fig 1. 8 Diagramas de conexión de fuentes de corriente en el NI-9227.	22
Fig 1. 9 Circuito de entrada para un canal del NI-9227.	23
Fig 1. 10 NI-9244.	23
Fig 1. 11 Circuito interna del NI-9244.....	24
Fig 1. 12 Conexión para 4 fases en el NI-9244.	24
Fig 1. 13 Conexión Delta de 3 fases y neutro en el NI-9244.	24
Fig 1. 14 Conexión Delta de 3 fases en el NI-9244.	24
Fig 1. 15 Conexión Delta de 2 fases con GND en el NI-9244.....	24
Fig 1. 16 Conexión de una configuración de medición de 3 hilos en el NI-9244.....	25
Fig 1. 17 Conexión de una medición de 2 hilos en el NI-9244.....	25
Fig 1. 18 NI-PS15.	25
Fig 1. 19 WC4-400-RA005.....	26
Fig 1. 20 Pinzas para mediciones eléctricas.	26
Fig 2. 1 Proyecto PQA en LabVIEW.	28
Fig 2. 2 Estructura principal del software implementado en el prototipo PQA.	29
Fig 2. 3 Analizador PQA. Host de monitoreo.....	29
Fig 2. 4 Reconocimiento del reloj interno del PC.....	30
Fig 2. 5 Creación de archivo de texto para guardar datos.....	30
Fig 2. 6 Panel frontal del prototipo PQA en la sección de Real - Time.	31
Fig 2. 7 Sistema de información para la red eléctrica.....	32
Fig 2. 8 Lectura de tasa de transmisión de datos.....	32
Fig 2. 9 Lectura de pilas FIFO de corriente y voltaje.	33
Fig 2. 10 Finalización de la lectura de pila FIFO y errores.	33
Fig 2. 11 Obtención de las señales de corriente normalizadas.	34
Fig 2. 12 Obtención de la señal de voltaje normalizada.	34
Fig 2. 13 Algoritmo de voltaje RMS para cada fase y neutro.	35
Fig 2. 14 Algoritmo de corriente RMS para cada fase y neutro.	35
Fig 2. 15 Algoritmo de frecuencia RMS para cada fase y neutro.....	36
Fig 2. 16 Algoritmo de cálculo de la frecuencia media.	37
Fig 2. 17 Algoritmo de potencia activa reactiva y aparente para cada fase.	37
Fig 2. 18 Algoritmo de variación de voltaje para cada fase.	38
Fig 2. 19 Algoritmo para el cálculo de desbalance de tensión.....	38
Fig 2. 20 Algoritmo para el cálculo de desequilibrio de corriente.....	39
Fig 2. 21 Algoritmo para el cálculo de variación de frecuencia.....	39

Fig 2. 22 Algoritmo para el cálculo del factor de potencia.	40
Fig 2. 23 Algoritmo para el cálculo de THD de voltaje y espectro de la señal de voltaje.	41
Fig 2. 24 Algoritmo para el cálculo del THD de corriente.	41
Fig 2. 25 Diagrama de bloques implementado en el FPGA del cRIO-9033.	42
Fig 3. 1 Armario eléctrico del edificio UGTI previo la realización de pruebas.	44
Fig 3. 2 Diagrama de conexión del prototipo PQA.	45
Fig 3. 3 Conexión de las pinzas eléctricas y del sensor de corriente.....	45
Fig 3. 4 Conexión de los elementos del Fluke 435.	46
Fig 3. 5 Conexión en paralelo del Fluke 435 y el prototipo PQA.	47
Fig 3. 6 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 1.	50
Fig 3. 7 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal C.	50
Fig 3. 8 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.....	51
Fig 3. 9 Valores del nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 3.....	52
Fig 3. 10 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal B.	52
Fig 3. 11 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal B y el prototipo F3.....	53
Fig 3. 12 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 2.....	53
Fig 3. 13 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal A.	54
Fig 3. 14 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal A y el prototipo F2.....	54
Fig 3. 15 Valores de desbalance de tensión obtenidos por el Prototipo.	55
Fig 3. 16 Valores de desbalance de tensión obtenidos por el Fluke 435.....	55
Fig 3. 17 Boxplot entre el desbalance de tensión del Fluke 435 canal A,B,C y el prototipo F 1,2,3.....	56
Fig 3. 18 Valores de desequilibrio de corriente obtenidos por el Prototipo.	56
Fig 3. 19 Valores de desequilibrio de corriente obtenidos por el Fluke 435.....	57
Fig 3. 20 Boxplot entre el desequilibrio de corriente del Fluke 435 Canal A,B,C y el prototipo F 1,2,3.....	57
Fig 3. 21 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 1.....	58
Fig 3. 22 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal C.	58
Fig 3. 23 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.	59
Fig 3. 24 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 3.....	60
Fig 3. 25 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal B.	60
Fig 3. 26 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal B y el prototipo F3.....	61
Fig 3. 27 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 2.....	61
Fig 3. 28 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal A.	62
Fig 3. 29 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal A y el prototipo F2.....	62
Fig 3. 30 Valores de voltaje RMS obtenidos por el Prototipo Fase 1.....	63
Fig 3. 31 Señal de voltaje RMS Canal C Fluke 435.....	63
Fig 3. 32 Boxplot entre el voltaje RMS del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.	64
Fig 3. 33 Señal de voltaje RMS obtenida por el Prototipo F3.	65
Fig 3. 34 Señal de voltaje RMS Canal B Fluke 435.....	65
Fig 3. 35 Boxplot entre el voltaje RMS de Fluke 435 Canal B y el prototipo Fase 3.	66
Fig 3. 36 Señal de voltaje RMS obtenida por el Prototipo F2.	66
Fig 3. 37 Señal de voltaje RMS Canal A Fluke 435.....	67
Fig 3. 38 Boxplot entre el voltaje RMS del Fluke 435 Canal A y el prototipo Fase 2.	67
Fig 3. 39 Señal de voltaje RMS obtenida en el neutro del prototipo.	68
Fig 3. 40 Señal de voltaje RMS Canal N Fluke 435.	68

Fig 3. 41 Boxplot entre el Voltaje RMS de Fluke 435 Canal N y el Prototipo Neutro.	69
Fig 3. 42 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 1 del prototipo.	70
Fig 3. 43 Señal de corriente RMS Canal C Fluke 435.	70
Fig 3. 44 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal C y el Prototipo Fase 1.	71
Fig 3. 45 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 3 del prototipo.	71
Fig 3. 46 Señal de corriente RMS Canal B Fluke 435.	72
Fig 3. 47 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal B y el Prototipo Fase 3.	72
Fig 3. 48 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 2 del prototipo.	73
Fig 3. 49 Señal de corriente RMS Canal A Fluke 435.	73
Fig 3. 50 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal B y el Prototipo Fase 3.	74
Fig 3. 51 Señal de corriente RMS obtenida en la fase Neutro del prototipo.	75
Fig 3. 52 Señal de corriente RMS Canal Neutro Fluke 435.	75
Fig 3. 53 Boxplot entre la corriente RMS de Fluke 435 Canal N y el Prototipo Fase N.	76
Fig 3. 54 Señal de frecuencia media obtenida por el prototipo.	76
Fig 3. 55 Señal de frecuencia media obtenida por el Fluke 435.	77
Fig 3. 56 Boxplot de la frecuencia media obtenida por el Fluke 435 y el Prototipo.	78
Fig 3. 57 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 1.	78
Fig 3. 58 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal C.	79
Fig 3. 59 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal C y el Prototipo F1.	79
Fig 3. 60 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 3.	80
Fig 3. 61 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal B.	80
Fig 3. 62 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal B y el Prototipo F3.	81
Fig 3. 63 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 2.	81
Fig 3. 64 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal A.	82
Fig 3. 65 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 canal A y el Prototipo F2.	82
Fig 3. 66 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 1.	83
Fig 3. 67 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal C.	83
Fig 3. 68 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal C y el Prototipo F1.	84
Fig 3. 69 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 3.	85
Fig 3. 70 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal B.	85
Fig 3. 71 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 canal B y el Prototipo F3.	86
Fig 3. 72 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 2.	86
Fig 3. 73 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal A.	87
Fig 3. 74 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 canal A y el Prototipo F2.	87

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. 1 Parámetros eléctricos.....	9
Tabla 1. 2 Indicadores de calidad eléctrica según IEC 61000-4-30.....	11
Tabla 1. 3 Características de la alimentación en baja tensión según EN-50160.	12
Tabla 1. 4 Indicadores de calidad de energía eléctrica.	13
Tabla 1. 6 Representación de valores numéricos en LabVIEW.....	16
Tabla 1. 5 Funciones de un controlador Real-Time.....	18
Tabla 1. 7 Características principales del cRIO-9033.....	20
Tabla 1. 8 Componentes del panel frontal de un cRIO-9033.....	21
Tabla 1. 9 Características principales del NI - 9227.	22
Tabla 1. 10 Características principales del NI-9244.	23
Tabla 1. 11 Diagramas de configuraciones de conexión trifásica en el NI-9244.....	24
Tabla 1. 12 Diagramas de conexión monofásicas en el NI-9244.....	25
Tabla 1. 13 Características principales del NI PS-15.	25
Tabla 1. 14 Características principales del sensor WC4-400-RA005.	26
Tabla 2. 1 División del proyecto en LabVIEW para el analizador de calidad de energía.	28
Tabla 2. 2 Opciones para la configuración de la red eléctrica en el sistema de información.	32
Tabla 2. 3 Algoritmo y fórmula para el cálculo para voltaje RMS.	35
Tabla 2. 4 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la corriente RMS.	35
Tabla 2. 5 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la frecuencia.....	36
Tabla 2. 6 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la frecuencia media.	37
Tabla 2. 7 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la potencia activa, reactiva y aparente. ...	37
Tabla 2. 8 Algoritmo y fórmula para el cálculo para la variación de voltaje.....	38
Tabla 2. 9 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el desbalance de tensión.	38
Tabla 2. 10 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el desequilibrio de corriente.	39
Tabla 2. 11 Algoritmo y fórmula para el cálculo para la variación de frecuencia.....	39
Tabla 2. 12 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el factor de potencia.	40
Tabla 2. 13 Algoritmo y fórmula para el cálculo de los armónicos de voltaje.....	41
Tabla 2. 14 Algoritmo y fórmula para el cálculo de los armónicos de corriente	41
Tabla 2. 15 Características del FPGA del cRIO-9033.	42
Tabla 3. 1 Parámetros de medición para el Fluke 435.	48
Tabla 3. 2 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435.....	51
Tabla 3. 3 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F3 del Prototipo y el canal B del Fluke 435.....	52
Tabla 3. 4 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F2 del Prototipo y el canal A del Fluke 435.	54
Tabla 3. 5 Comparación del desbalance de tensión obtenido en el Prototipo y el Fluke 435.	56
Tabla 3. 6 Comparación del desequilibrio de corriente obtenido en el Prototipo y el Fluke 435.....	57
Tabla 3. 7 Comparación del FP obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435.....	59

Tabla 3. 8 Comparación del FP obtenido en la F3 del Prototipo y el canal B del Fluke 435.....	60
Tabla 3. 9 Comparación del FP obtenido en la F2 del Prototipo y el canal A del Fluke 435.....	62
Tabla 3. 10 Comparación del voltaje RMS obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435.....	64
Tabla 3. 11 Comparación Del voltaje RMS obtenido en la F3 del prototipo y el canal B del Fluke 435.....	65
Tabla 3. 12 Comparación del voltaje RMS obtenido en la F2 del prototipo y el canal A del Fluke 435.....	67
Tabla 3. 13 Comparación del voltaje RMS en el Neutro del prototipo y el canal N del Fluke 435.....	69
Tabla 3. 14 Comparación de corriente RMS obtenida en la F1 prototipo y el canal C del Fluke 435.....	70
Tabla 3. 15 Comparación de la corriente RMS obtenida en la F3 prototipo y el canal B del Fluke 435.....	72
Tabla 3. 16 Comparación de la corriente RMS obtenida en la F2 prototipo y el canal A del Fluke 435.....	74
Tabla 3. 17 Comparación de la corriente RMS en la Fase Neutro prototipo y el canal N del Fluke 435.....	75
Tabla 3. 18 Comparación de los valores de frecuencia obtenidos el prototipo y el Fluke 435.....	77
Tabla 3. 19 Comparación de la potencia activa obtenida en la F1 prototipo y el Canal C del Fluke 435.....	79
Tabla 3. 20 Comparación de la potencia activa obtenida el F3 del prototipo y el canal B del Fluke 435.....	81
Tabla 3. 21 Comparación de la potencia activa en la F2 del prototipo y el canal A del Fluke 435.....	82
Tabla 3. 22 Comparación de la potencia aparente en la F1 prototipo y el canal C del Fluke 435.....	84
Tabla 3. 23 Comparación de la potencia aparente en la F3 prototipo y el canal B del Fluke 435.....	85
Tabla 3. 24 Comparación de la potencia aparente en la F2 prototipo y el canal A del Fluke 435.....	87
Tabla 3. 25 Resultados de las mediciones de parámetros eléctricos.....	88
Tabla 3. 26 Evaluación del error porcentual de los parámetros eléctricos.....	88
Tabla 3. 27 Resultados de las mediciones de indicadores de calidad de energía.....	89
Tabla 3. 28 Evaluación del error porcentual de los indicadores de calidad de energía.....	89
Tabla 3. 29 Costo de materiales para el prototipo PQA.....	90
Tabla 3. 30 Costo del Fluke 435.....	90

RESUMEN

En el presente trabajo se diseña, implementa y evalúa una arquitectura hardware y software aplicada a un prototipo de análisis de calidad de energía (PQA) para circuitos trifásicos, el prototipo está basado en el controlador embebido CompactRIO. La arquitectura software del PQA consta de tres algoritmos que se ejecutan en: FPGA, procesador Real-Time y Host. El FPGA ejecuta los algoritmos de adquisición de señales de voltaje y corriente, el procesador ejecuta las funciones de cálculo de los parámetros, finalmente el Host ejecuta rutinas de visualización gráfica y almacenamiento de variables. Para evaluar el prototipo PQA, primeramente se procedió a realizar la medición de parámetros eléctricos e indicadores de calidad de energía en el edificio UGTI-UTPL mediante el instrumento de referencia Fluke 435 y el prototipo PAQ, en la segunda etapa se realizó la comparación mediante el análisis de la similitud de ambas mediciones, por medio del test de Wilcoxon, además se realizó una comparación entre los valores centrales y desviaciones estándar de ambos conjuntos de señales. Los resultados obtenidos de la comparación fueron: error porcentual varía desde 0,01% hasta 8,17%.

PALABRAS CLAVES: analizador de calidad de energía, parámetros eléctricos, indicadores de calidad de energía eléctrica, estándares IEC / EN, CompactRIO, LabVIEW FPGA.

ABSTRACT.

In the present job it is designed, implemented and evaluated a hardware and software architecture applied to a power quality analyzer prototype for three phase circuits; the prototype is based on embedded controller CompactRIO. The software architecture of the PQA prototype consists of three main algorithms that are run on: the FPGA, the real time processor and in the host. The FPGA runs the voltage and current signals acquisition algorithms; the real time processor runs the parameters calculating functions: RMS voltage, RMS current, frequency, voltage variation, current variation, active power, reactive power, apparent power, power factor and total harmonic distortion; finally, the host device runs routines of graphical display and storage of each variable. To validate the PQA prototype, firstly, it was proceeded to run the measurement of electrical parameters and quality indicators of energy in UGTI building (UTPL, Loja, Ecuador), at the second stage of the PQA prototype validation it was analyzed the similarity of the measurement through the Wilcoxon test between the reference instrument signal and the prototype signal, also it was made a comparison between the central values and standard deviations of those signals. The obtained results were: in the electric parameters the percentage error varies from 0,01 % till 8,17 % and in the energy quality indicators the percentage error varies from 0,27 % till 0,24%.

INTRODUCCIÓN.

Calidad de la energía es un término que expresa las desviaciones de las señales de voltaje y corriente consumidas por una carga final, asumiendo que dichas señales se comportan como una forma de onda sinusoidal y con características ideales que posee un único componente fundamental con amplitud y frecuencia constante [1], su importancia se da, porque la necesitamos para nuestras actividades diarias, sea en la industria o para consumo en las residencias, en consecuencia se concluye que el estudio y análisis de sus características es trascendente para que este servicio llegue de forma óptima a los usuarios finales [2].

Ya que en nuestro medio el acceso a un analizador de calidad de energía de alto desempeño representa costos elevados y tramites de importación, se ha visto la necesidad de diseñar un prototipo con las características que se encuentran en este trabajo, con esto, se reducen costos en la compra de equipos, se obtiene una gran flexibilidad con respecto a las variables que medirá, así como los elementos de visualización que se pueden implementar en las pantallas de prototipo, esto representa también una excelente herramienta de aprendizaje, ya que no se encuentran encapsuladas los algoritmos de cálculos para los parámetros eléctricos, ni mucho menos para los indicadores de calidad de energía, lo que si pasa en un instrumento comercial como es el caso del Fluke 435 utilizado en el presente trabajo.

El análisis de la energía eléctrica nos ayuda a optimizar todos los procesos energéticos con ahorro y calidad, nos permite alargar la vida útil de los equipos y facilita la operación de sistemas eléctricos [3], por esto, el objetivo principal de este trabajo es:

- Obtener un dispositivo analizador de calidad de energía de alto desempeño cuyos algoritmos de monitoreo estén en base a los estándares IEC / EN

De este objetivo principal se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar la arquitectura hardware y software del sistema PQA (Power Quality Analyzer).
- Desarrollar los algoritmos de cálculo de parámetros eléctricos e indicadores de calidad de energía.
- Implementar e integrar el prototipo PQA.
- Evaluar y validar el comportamiento del prototipo PQA.

Así para poder implementar el dispositivo analizador de calidad de energía de alto desempeño y con esto poder cumplir con los objetivos específicos de presente trabajo, se estructuró un proceso de desarrollo en cuatro etapas que se muestran en la Figura i.1, identificando en cada etapa los 4 objetivos específicos del presente trabajo.

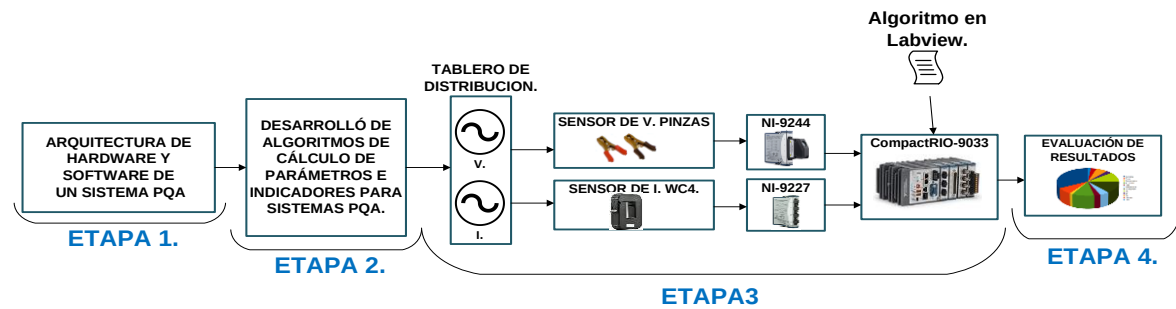


Fig i. 1 Proceso de desarrollo del proyecto.
Fuente: Realizado por el autor.

Recordando que la calidad de energía adquirió importancia debido al impacto económico reflejado en la facturación y en el daño permanente en los equipos industriales, debido a la presencia de cargas no lineales que ocasionan corrientes no sinusoidales en la red eléctrica, tales como televisores, lámparas de bajo consumo y fuentes de alimentación conmutadas, tales afectaciones producen que la calidad de la fuente de alimentación de energía se deteriore [4], por esto, se han desarrollado dispositivos que nos ayudan en el análisis de los indicadores de calidad de energía, como por ejemplo el equipo Fluke 435. Para la implementación de la arquitectura propuesta se tomó como base el dispositivo de control embebido denominado CompactRIO-9033 en el cual se desarrolló algoritmos en el lenguaje de programación LabVIEW, el desempeño del prototipo implementado se comparó con un dispositivo comercial Fluke 435 y se realizó una retroalimentación del sistema observando los errores que surgieron en dichas pruebas [5].

El prototipo PQA está compuesto por los siguientes dispositivos: un Computador embebido CompactRIO-9033 en el cual se desarrolla algoritmos basados en la plataforma LabVIEW, los módulos de acondicionamiento de señales de voltaje NI-9244 y de corriente NI-9227, compatibles con el computador embebido, finalmente como dispositivos de captura de señales se utilizó los sensores de corriente WC400-RA005 y las pinzas de medición de voltaje.

La investigación previa que reposa en el presente trabajo de fin de titulación, se dividió en 3 capítulos los cuales se describen continuación:

- En el Capítulo 1 se identificaron cuáles son los parámetros eléctricos e indicadores de calidad de energía eléctrica que se determinarán por medio del prototipo PQA, además se describe la arquitectura hardware del prototipo.
- En el Capítulo 2 se describe los algoritmos que se desarrollaron en el dispositivo FPGA, en el procesador Real-Time y en el Host.
- En el Capítulo 3 se implementó el prototipo y se evaluaron los resultados utilizando el test de Wilcoxon y la comparación de valores promedios y centrales.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE HARDWARE Y SOFTWARE DE UN SISTEMA PQA (POWER QUALITY ANALYZER).

1.1 Sistema PQA (Power Quality Analyzer).

1.1.1. Generalidades sobre la calidad de energía eléctrica.

En la actualidad, el tema de la calidad de energía es muy discutido en el campo de la energía de sistemas eléctricos e industriales, el desarrollo de los países ha producido a nivel mundial, un aumento considerable en el consumo de energía eléctrica, es por esto, que el monitoreo de la calidad de energía es una de las principales preocupaciones en la industria moderna con el fin de ahorrar gastos innecesarios, aumentar el ciclo de vida útil de los dispositivos eléctricos y cumplir con los estándares impuestos. La finalidad de un sistema de energía eléctrica es generar la energía y entregarla a los equipos del usuario final con una tensión aceptable, pero gracias a los contenidos armónicos de las cargas no lineales se generan problemas con la energía suministrada que deben ser revisados. Por esta razón el registro continuo de la calidad de energía es relevante en la industria, ya que se ocupan equipos eléctricos costosos que consumen grandes cantidades de energía [6].

1.1.2. Calidad de suministro eléctrico.

Hay numerosas definiciones del término “calidad de suministro”. No obstante, todas ellas llevan asociados dos aspectos esenciales:

- **Continuidad de alimentación:** disponibilidad de energía y su afectación por interrupciones.
- **Calidad de la onda de tensión:** la energía eléctrica se suministra a través de un sistema trifásico de tensiones. Una perfecta calidad de onda implica que la tensión sea equilibrada, puramente sinusoidal con amplitud y frecuencia constante.

Por tanto, la calidad de onda de tensión está afectada por distorsiones en la forma de onda respecto a una onda de tensión sinusoidal ideal. Las distorsiones que modifican la amplitud de tensión pueden ser agrupadas en: transitorios, impulsos, fenómenos oscilatorios y variaciones de corta o larga duración (interrupciones, huecos de tensión o intervalos de sobretensión dependiendo de la magnitud de la variación). Las distorsiones que modifican la forma de onda se agrupan en: offset de continua, armónico, interarmónico, muescas de tensión, ruidos y fluctuaciones de tensión. Finalmente existen distorsiones que afectan al desequilibrio de tensión o variación de la frecuencia [7].

1.1.3 Analizador de calidad de energía de alto desempeño, basado en tecnología CompactRIO FPGA.

Como se ha visto, un analizador de calidad de energía es un elemento fundamental para entregar un óptimo servicio de energía eléctrica, así el enfoque del proyecto se dará a la calidad de tensión, que es un término usado para describir la relativa cantidad de variaciones de tensión, particularmente para referirse a: armónicos, fluctuaciones de tensión, transitorios y factor de potencia. La tensión que se suministra a una carga o a una instalación está caracterizada por cinco parámetros básicos: frecuencia, magnitud, forma de onda, desbalance y continuidad. La calidad del suministro puede definirse en términos de las desviaciones de estos parámetros de sus valores ideales y la definición de los valores máximos de desviación en términos del valor que puedan alcanzar, sin que se afecte el funcionamiento de los equipos eléctricos [3].

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) define a la calidad de energía eléctrica como, “una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo”. Por lo tanto la calidad de energía eléctrica se establece mediante la medición y cálculo de parámetros en una red eléctrica [8].

1.1.4. Trabajos relacionados.

El monitoreo de los parámetros eléctricos es una parte fundamental para poder realizar un estudio de calidad de energía, así, previo a este proyecto de fin de titulación se han realizado algunos trabajos similares al nuestro, como son:

- ***“Diseño de un sistema prototipo para monitorizar la calidad de energía en un subestación eléctrica”***. Realizado por Esteban Rivel Hernández en Cartago, el 26 de Junio del 2013. En el cual desarrolla un prototipo de monitorización de calidad de energía, el cual estuvo compuesto de una estación maestra de energía en la cual se puede desplegar en tiempo real la información proporcionada por una sub-estación por medio de una interfaz gráfica [9].
- ***“FPGA-based reconfigurable unit for real-time power quality index estimation”***. Realizado por M. Lopez-Ramirez, L. M. Ledesma-Carrillo, A. L. Mart. En este proyecto se propuso una arquitectura portátil basada en FPGA para la estimación en tiempo real de los índices de calidad de energía [10].

- **“Síntesis y validación de metodologías y algoritmos para la determinación de parámetros de calidad de energía eléctrica”**. Realizado por: Ganazhapa Jiménez, Byron Oswaldo. En el que se realiza una síntesis y validación de metodologías y algoritmos para la determinación de parámetros de calidad de energía eléctrica aplicados a una red trifásica, con capacidad de transmisión de datos mediante conexión Ethernet para el registro y visualización de parámetros eléctricos [11].
- **“Desarrollo e implementación de un analizador de un cálida de energía con base en FPGA para motores trifásicos”**. Realizado por: Ing. Martin Molano Clemente. En Diciembre del 2013. En el que se desarrolló un analizador de calidad de energía basado en FPGA [6].
- **“Diseño e implementación de un prototipo de unidad de medición fasorial (PMU – Phasor Measure Unit) para el monitoreo, control y protección de sistemas eléctricos”**. Realizado por D. Ortiz, A. Villamarin y D. Espin. En el cual se presentaron los cálculos en tiempo real de los parámetros de un sistema eléctrico de potencia en estado estable utilizando PMU prototipo con tecnología FPGA para el monitoreo, control y protección del sistema eléctrico, usando una interfaz amigable para el usuario [12].
- **“Implementación de un prototipo analizador de calidad de energía eléctrica para una red trifásica”**. Realizado por: Brito Vivanco, Eduardo Israel y Campoverde Encalada, Eduardo Luis. En el que se diseñó, implemento y evaluó un prototipo analizador de calidad de energía eléctrica para una red trifásica [8].

En el último ítem se basó el presente proyecto con las siguientes diferencias:

- Se utiliza un sistema embebido de alto desempeño CompactRIO - 9033, a diferencia del Arduino Mega 2560.
- Los algoritmos para procesar los datos se realizaron en la plataforma LabVIEW implementando la librería especializada *Electrical Power Suite*, a diferencia del proyecto anterior que implementa los algoritmos en la plataforma propia de Arduino.
- La comparación de datos se realizó por medio de un instrumento referencia que fue un Fluke 435.
- Se integró el módulo de acondicionamiento de señales para voltaje NI-9244 y para corriente NI-9227 que recoge los datos provistos por la red eléctrica.
- Se integró el sensor de corriente WC4-400-RA005.

1.1.5. Parámetros eléctricos.

Para la medición de los parámetros eléctricos, tomamos en cuenta que cualquier circuito eléctrico está formado por *resistencias, capacitancias, inductancias y conductancias*, con estos componentes se forma la totalidad de los sistemas eléctricos actuales, desde un simple circuito. hasta los más complejos sistemas de potencia [13].

Gracias a estos elementos se puede medir los indicadores de calidad de energía por medio de un analizador de energía eléctrica, tomando en cuenta que las mediciones no son continuas en el tiempo, sino muestras discretas, se tiene la Tabla 1.1 de relaciones matemáticas que permiten obtener los valores de los parámetros eléctricos [14].

Tabla 1. 1 Parámetros eléctricos.

PARÁMETRO ELÉCTRICO	DESCRIPCIÓN	CÁLCULO
V_{rms}	Voltaje RMS del sistema calculado a partir de la raíz cuadrada del valor medio de los cuadrados de los valores instantáneos de voltaje, promediado durante un ciclo completo.	$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}}$ Donde: $v(n)$ Es el voltaje instantáneo. N Es el número de muestras.
I_{rms}	Corriente RMS del sistema calculada a partir de la raíz cuadrada del valor medio de los cuadrados de los valores instantáneos de corriente, promediado durante un ciclo completo.	$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)}{N}}$ Donde: $i(n)$ Es la corriente instantánea. N Es el número de muestras.
F	Frecuencia fundamental del sistema eléctrico calculado mediante el tiempo de ciclo en que la señal realiza un cruce por cero ya sea de flanco positivo o negativo.	$f = \frac{1}{T}$ Donde: T Es el tiempo de ciclo en que la señal realiza un cruce por cero ya sea de flanco positivo o negativo.
P	Potencia activa del sistema calculada a partir del promedio del producto de voltaje y corriente instantáneos.	$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) \times i(n)$ Donde: $v(n)$ Es el voltaje instantáneo. $i(n)$ Es la corriente instantánea. N Es el número de muestras.
S	Potencia aparente del sistema calculada mediante el producto del voltaje RMS y de la corriente RMS medidas en el sistema.	$S = I_{RMS} \times V_{RMS}$ Donde: I_{RMS} Es la corriente rms. V_{RMS} Es el voltaje rms.
Q	Potencia reactiva del sistema calculado a partir la raíz cuadrada de la resta del cuadrado potencia aparente menos el cuadrado de la potencia activa.	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ Donde: S Es la potencia aparente del sistema. P Es la potencia activa del sistema.

Fuente: Tomado de [8].

1.1.6. Indicadores de calidad de energía eléctrica.

Ya que los sistemas eléctricos deben ser supervisados, se han instituido normas y estándares aplicables a la calidad de energía eléctrica, que han sido proporcionadas por diferentes organismos técnicos como IEEE, ANSI, IEC, ISO, CEN, etc. Para dar una referencia más específica, mencionaremos la norma de calidad de energía IEEE 1159, en la que se describen las implicaciones sobre la calidad de energía, con una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica, en un tiempo dado y en una ubicación determinada [15], para nuestro caso utilizaremos el Estándar IEC / EN.

1.1.6.1 Norma IEC 61000-4-30.

La IEC 61000-4-30, tiene por objetivo principal la descripción de los métodos de medición de un gran número de indicadores de calidad de energía, que hacen posible la obtención de información y resultados confiables, reproducibles y comparables, más allá del instrumento específico compatible con las prestaciones requeridas y de las condiciones ambientales, además se focaliza en la metodología de mediciones in-situ [16].

Los indicadores de calidad de energía eléctrica son de naturaleza conductiva y corresponden a la tensión y corriente de los sistemas eléctricos, estos pueden ser [17]:

- Frecuencia fundamental de red
- Magnitud RMS de tensión y corriente
- Interrupciones, sobretensiones y subtensiones
- Desbalance de tensión
- Flicker de tensión (Pst Índice de severidad de flicker de corto plazo y Plt Índice de severidad de flicker de largo plazo)
- Transitorios de tensión
- Armónicos de tensión y corriente
- Inter-armónicos de tensión y corriente
- Índices de distorsión armónica total de tensión y corriente
- Cambios rápidos de estabilidad de tensión.

En la norma IEC-61000-4-30, se mencionan dos tipos de desempeño de medición, la Tipo A, recomendada para usarse en aplicaciones de medición con fines contractuales, evaluación de la conformidad con normas y aplicaciones en donde se requiera un mínimo de incertidumbre, y la Tipo B, recomendada para elaborar aplicaciones donde no se requiere una baja incertidumbre, tales como mediciones para fines estadísticos, análisis de problemas de operación, por mencionar algunos ejemplos [18].

La Tabla 1.2 resume los criterios de medida establecidos por la norma IEC 61000-4-30.

Tabla 1. 2 Indicadores de calidad eléctrica según IEC 61000-4-30.

Indicador.	Medida	Clase A		Clase B
		Intervalo	Exactitud	Procedimiento y exactitudes
Frecuencia.	Hz	10 s	± 10 mHz	A especificar por el fabricante
Tensión de alimentación.	Vrms	10 ciclos	± 0.1 %	A especificar por el fabricante
Flicker.	Plt	IEC 61000-4-15		A especificar por el fabricante
Huecos, sobretensiones, Interrupciones.	Vrms, t, T	Vrms ½ ciclo (10 ms)	± 0.2 %	Vrms ½ ciclo
Desequilibrio.	%desequilibrio	Método de las componentes simétricas		A especificar por el fabricante
Armónicos e Interarmónicos.	THD, Armónicos, Interarmónicos	IEC 61000-4-7		A especificar por el fabricante
Transmisión de señales.	Vrms	Medida de interarmónicos (para $f > 3$ kHz ver IEC 61000-3-8)		A especificar por el fabricante
Flagging (advertencia de posible medida incorrecta por efecto de un hueco, sobretensión, o interrupción)	Aviso en Pantalla	Requerido en las medidas de frecuencia, tensión, flicker, desequilibrio, armónicos e interarmónicos		No requerido
Sincronización horaria.		A través de reloj externo, por GPS, etc.		A especificar por el fabricante

Fuente: Tomado de [19].

1.1.6.2 Norma EN-50160.

En la Tabla 1.3 se describe la norma en el punto de entrega al cliente, las características principales de la tensión suministrada por una red general de distribución en baja tensión (hasta 1 kV) y en media tensión (desde 1 kV hasta 35 kV) en condiciones normales de explotación, el objeto de esta norma es definir y describir los valores y límites de frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría [19].

Tabla 1. 3 Características de la alimentación en baja tensión según EN-50160.

Perturbación	Medida	Límites	Intervalos de evaluación	Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s	$\pm 1 \%$	al año	99,5 %
		+4%/-6 %		100,0 %
Variaciones de la tensión	Promedio del V_{AC} de cada ciclo durante 10 min	$\pm 10 \%$	cada semana	99,5 %
		+10%/-15 %		100,0 %
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de U_N	Escalones del 5 % de U_N son normales. Escalones del 10 % de U_N pueden producirse varias veces al día		
Severidad del parpadeo	Plt (2 horas)	<1	cada semana	95 %
Huecos de tensión	Número de eventos (con $U < 0,9 U_N$)	De 10 a 1.000. La mayoría duran menos de 1 s y tienen una profundidad inferior al 60 % de U_N (Valor de tensión nominal)	al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01 U_N$ y $t < 3$ min)	De 10 a 1.000. 70 % de las interrupciones duran menos de 1 s	al año	
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01 U_N$ y $t > 3$ min)	De 10 a 50	al año	
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1,1 U_N$ y $t > 10$ ms)	Generalmente no sobrepasan 1,5 kV _{AC}		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1,1 U_N$ y $t < 10$ ms)	Generalmente no sobrepasan los 6 kV de cresta		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la U_{inv}/U_{dir} de cada ciclo durante 10 min	<2 %	cada semana	95 %
Tensiones armónicas	Para cada armónico i, promedio de la U_i/U_N en cada ciclo durante 10 min		cada semana	95 %
	Promedio del THD de la tensión referido a U_N en cada ciclo durante 10 min	<8 %	cada semana	95 %
Tensiones interarmónicas	Por estudiar			
Transmisión de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s		cada día	99 %

Fuente: Tomado de [19].

Para la obtención de los indicadores de calidad de energía, se tomó en cuenta las formulas de la Tabla 1.4 en la que se resumen los indicadores que son analizados por el prototipo.

Tabla 1. 4 Indicadores de calidad de energía eléctrica.

INDICADOR.	MEDIDA	UMBRALES	FÓRMULA
Nivel de voltaje.	Tensión de cada fase en intervalos de 10 min.	$\pm 10\%$	$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100$ Donde: V_k es el voltaje eficaz en el punto de medición y V_n es el voltaje nominal.
Desbalance de tensión.	Tensión de cada fase en intervalos de 10 min	2%	$DT = \frac{(T_{m\acute{a}x} - \bar{T})}{\bar{T}} \times 100$ Donde: $T_{m\acute{a}x}$ es la máxima tensión de las tres fases y $\bar{T}$ es el promedio de las tensiones de las tres fases.
Desequilibrio de corriente.	Intensidad de corriente de cada fase en intervalos de 10min	40%	$D_I(\%) = \frac{I_m - I_p}{I_p} \times 100$ Donde: I_m es la máxima intensidad de corriente de las tres fases e I_p es el promedio de las corrientes medidas en las tres fases.
Variación de frecuencia.	Promedio de la frecuencia de cada ciclo en intervalos de 10s	$\pm 4\%$ a $\pm 6\%$	$\Delta f(\%) = \frac{f - f_n}{f_n} \times 100$ Donde: f es la frecuencia de cada fase medida y f_n es la frecuencia nominal.
Factor de potencia.	Potencia activa y potencia aparente en función de tensiones y corrientes respectivas de cada fase en intervalos de 10min	0,92	$FP = \frac{P}{S}$ Donde: P es la potencia activa del sistema y S la potencia aparente del mismo.
Armónicos de voltaje.	Valor eficaz del voltaje "i" para cada fase en intervalos de 10 min.	Medio y Bajo Voltaje 8%	$THD_V = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n (V_i)^2}}{V_n} \right) \times 100$ Donde: V_i es el valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para i=2 hasta n=40) y V_n es el voltaje nominal del punto de medición.
Armónicos de corriente.	Valor eficaz de la corriente "i" para cada fase en intervalos de 10 min.	12%	$THD_I = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n (I_i)^2}}{I_1} \right) \times 100$ Donde: I_i es el valor eficaz (rms) de la corriente armónica "i" (para i=2 hasta n=40) y I_1 es la corriente eficaz de la onda fundamental del punto de medición.

Fuente: Tomado de [8].

1.2 Diseño de la arquitectura software de un sistema PQA.

En esta etapa de diseño del prototipo, se trazó la arquitectura que conforma el software, así tenemos en la Figura 1.1 sus principales componentes.

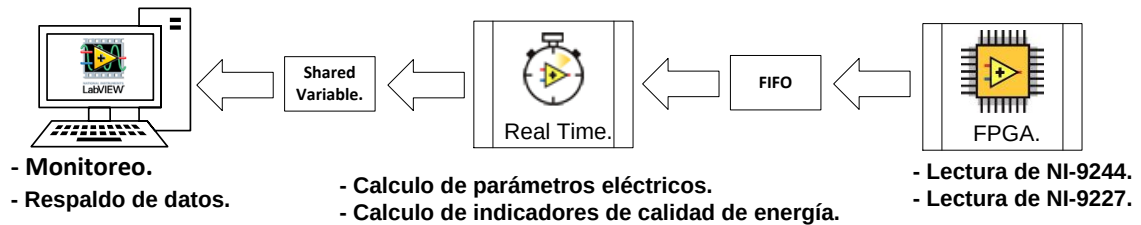


Fig 1. 1 Arquitectura software del prototipo PQA.

Fuente: Tomado de [20].

La sección de monitoreo se realizó por medio de un computador, en el que se instaló una aplicación basada en LabVIEW, en la sección Real-Time realizó el análisis de las señales enviadas desde el FPGA que toma la información proveniente de los módulos de acondicionamiento de señales de corriente y voltaje.

1.2.1 FPGA.

El FPGA es un dispositivo reconfigurable y programable por el usuario que contiene componentes capaces de realizar funciones lógicas mediante compuertas *and*, *or*, *xor*, etc. También, cuenta con elementos de memoria interna y componentes embebidos por el fabricante como microcontroladores. El FPGA es un dispositivo de fácil programación mediante Lenguajes de Descripción de Hardware (HDL), se permite la programación concurrente y su principal ventaja es que puede programarse múltiples veces bajando los costos cuando en el diseño se encuentran fallos y se requiera que sea reprogramado [21].

La programación de FPGAs ha requerido previamente conocimiento de VHDL o Verilog. National Instruments (NI) ha desarrollado herramientas de diseño que se basan en LabVIEW FPGA, el cual es un lenguaje de programación gráfica para FPGAs, con lo que un lazo intuitivo e íconos reemplazan miles de líneas equivalentes en VHDL [22].

Entre los principales beneficios que encontramos en un FPGA tenemos:

- **Flexibilidad.** La tecnología FPGA ofrece flexibilidad y capacidades de rápido desarrollo de prototipos, para enfrentar los retos que un producto tiene al ser liberado tarde al mercado. Se puede probar una idea o un concepto y verificarlo en hardware sin tener que pasar por el largo proceso de fabricación [23].

- **Costo.** Aunque un dispositivo FPGA es relativamente caro, sus funciones y aplicaciones nos dan un mayor costo beneficio con respecto a un microcontrolador, Arduino o un Controlador Logo Siemens.
- **Fiabilidad.** Un FPGA no necesita sistemas operativos, esto aumenta su fiabilidad evitando ejecución de programas paralelos, con un hardware específico dedicado a cada tarea [23].
- **Mantenimiento a largo plazo.** Los chips FPGA, al ser reconfigurables, son capaces de mantenerse al tanto con modificaciones a futuro que pudieran ser necesarias. Mientras el producto o sistema se va desarrollando, se pueden implementar mejoras.

1.2.1.1 Matemática implementada en un FPGA.

1.2.1.2.1 Matemática entera.

El diseño de sistemas embebidos implica la combinación de I/O y procesamiento de señales en tiempo real o algoritmos de control que se ejecutan en un procesador embebido empaquetado FPGA, que es un conjunto de compuertas lógicas, que maneja números enteros binarios [24].

Muchos de los sistemas actuales requieren operaciones especiales, como la multiplicación y exponentes modulares de enteros muy largos, enteros representados desde 512 a 2048 bits. Si dichas operaciones se llevan a cabo a través de un programa que se ejecuta en un sistema de cómputo tradicional, el tiempo de procesamiento es alto, debido a que al utilizar enteros que son representados con más de 32 o 64 bits no pueden ser procesados directamente en las unidades funcionales de un CPU de propósito general, siendo necesario crear a través de software, arreglos de enteros de 32 bits para ser procesados en partes [25].

Aplicaciones de software orientados al cálculo matemático, como Matlab y Mathematica, realizan las operaciones de multiplicación y exponentes modulares creando tipos de datos especiales y utilizando algoritmos eficientes para mejorar el tiempo de ejecución.

El algoritmo de Montgomery para la multiplicación modular es considerado el algoritmo más rápido para calcular $a \cdot b \bmod n$ donde a, b y n son enteros muy largos. A través de dispositivos programables, como los FPGAs, es posible implementar circuitos digitales que lleven a cabo el cálculo de operaciones aritméticas de manera eficiente, aprovechando el paralelismo inherente del hardware [25].

Para nuestro caso se recomienda utilizar operaciones con enteros en el FPGA y escalar a otros tipos de variables en el Host, obviamente se puede utilizar decimales en el FPGA mediante *Fixes Point* cuando se requieran divisiones, raíz cuadra, etc.

En el entorno de trabajo LabVIEW, se tiene la paleta de representación, en la que encontramos como se puede definir qué tipo de dato numérico se almacenará en el objeto y cuantos bits se definirán para ello, la Figura 1.3 indica que opciones podemos escoger [26]:

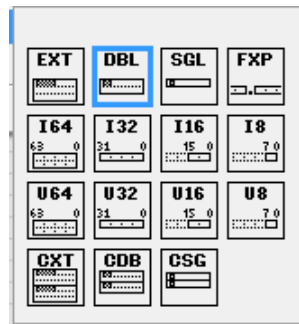


Fig 1. 2 Representación de datos en LabVIEW.
Fuente: Tomado de [20].

La paleta de funciones en la Figura 1.3 se la puede encontrar realizando clic derecho sobre una variable o constante numérica, dirigirse a representación, donde se encuentran los valores definidos en la Tabla 1.6.

Tabla 1. 5 Representación de valores numéricos en LabVIEW.

Dato Numérico.	Función.
EXT, DBL, SGL	Define un número en punto flotante de 64, 32 o 16 Bits respectivamente.
I32, I16, I8:	Define un número entero con signo de 32, 16 y 8 bits respectivamente.
U32, U16, U8:	Define un número entero sin signo de 32, 16 y 8 bits respectivamente.
EXT, DBL, SGL:	Definen un número complejo en punto flotante de 128, 64 o 32 bits respectivamente, la primera mitad para la parte real y la segunda para la parte imaginaria.
Data Range:	Permite definir el valor máximo, el mínimo, el incremento y el valor inicial.
Format & Precisión:	Permite definir la representación (binaria, octal, hexadecimal o decimal). El número de decimales y la notación (Punto flotante, científica, de ingeniería).

Fuente: Tomado de [27].

1.2.1.2.2 Matemática de Punto Fijo (FixedPoint).

En LabVIEW podemos configurar las propiedades numéricas que nos permiten identificar el mínimo, máximo y variación (delta) del número de punto fijo, estos nos ayuda considerando que algunas operaciones matemáticas requieren puntos fijos de mayor tamaño como resultado [28].

Para encontrar estas opciones en el programa LabVIEW, nos dirigimos al panel frontal realizamos clic derecho sobre una variable numérica, bajamos a la opción de *propiedades*, se abrirá la ventana *Numeric Properties*, nos dirigimos a la pestaña *Data Type*, pulsamos sobre el grafico de representación y escogemos la opción *FXP*, aquí encontramos todos los parámetros que nos ayudaran a representar esta variable en punto fijo, en la Figura 1.4 se puede observar estas opciones.

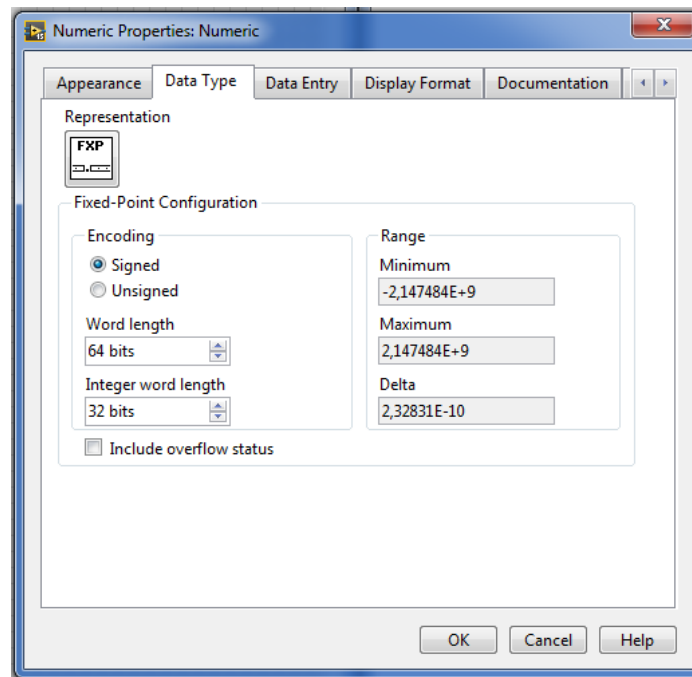


Fig 1. 3 Ventana de propiedades numéricas para LabVIEW.
Fuente: Tomado de [20].

1.2.2 Real – Time.

En los sistemas embebidos la sección de Real – Time no representa precisamente la realización de cálculos en tiempo real, sino, implica responder de manera fiable y sin fallos a un evento o realizar una operación en un tiempo determinado, en el sistema determinista LabVIEW RT de National Instruments se puede garantizar que las tareas finalizan a tiempo siempre [29], que es lo que necesitamos dentro de nuestro prototipo PQA.

1.2.3 Host en un sistemas embebidos de control y monitoreo.

Un sistema embebido de control y monitoreo (ECM), consta principalmente por tres partes.

- **Sistema embebido.** Son sistemas Hardware/Software de propósito específico, diseñado para realizar una o más actividades. Esto permite su optimización con el objetivo de mejorar el desempeño, eficiencia y confiabilidad, teniendo la posibilidad de reducir el tamaño y costo de producción [30].

- **Control.** Un sistema ECM (Embedded Control and Monitoring) necesita implementar varios tipos de controles como setpoints, bombas, motores y algunos otros dispositivos usando lazos PID (Proporcional Integral y Derivativo), todos estos elementos se controlan a través de las salidas de hardware que posee el sistema ECM [31].
- **Monitoreo.** Los sistemas de monitoreo obtienen información por medio de sensores y la transmiten de forma inmediata hacia el control del sistema, se usan para monitorear variables que intervienen en el funcionamiento del sistema embebido [32].

Además del sistema embebido, control y monitoreo existe la etapa del controlador de tiempo real que posee las funciones descritas en la Tabla 1.5.

Tabla 1. 6 Funciones de un controlador Real-Time.

Nro.	Función.
1	Interactuar con el FPGA. • Configuración. • Comunicación de datos. • Control del FPGA.
2	Procesamiento de datos.
3	Funciones avanzadas de control.
4	Logging de datos.
5	Comunicaciones con el PC remoto.

Fuente: Tomado de [33].

Para resolver los sistema ECM se usa un interface humano maquina (HMI) y un hardware que contenga un procesador en tiempo real junto con un FPGA, donde el FPGA es directamente conectado al módulo I/O como se indica en la Figura 1.2.

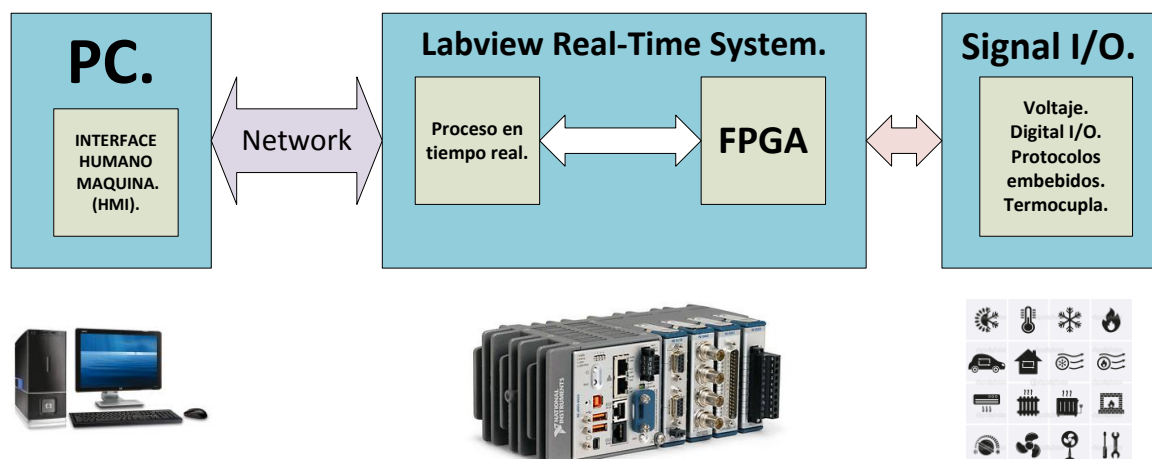


Fig 1. 4 Sistema embebido de monitoreo y control.
Fuente: Tomado de [34].

1.3 Diseño de la arquitectura hardware de un sistema PQA.

En esta etapa del diseño del prototipo PQA, se trazó la arquitectura que conforma el hardware, así tenemos que el sistema está integrado como se indica en la Figura 1.5.

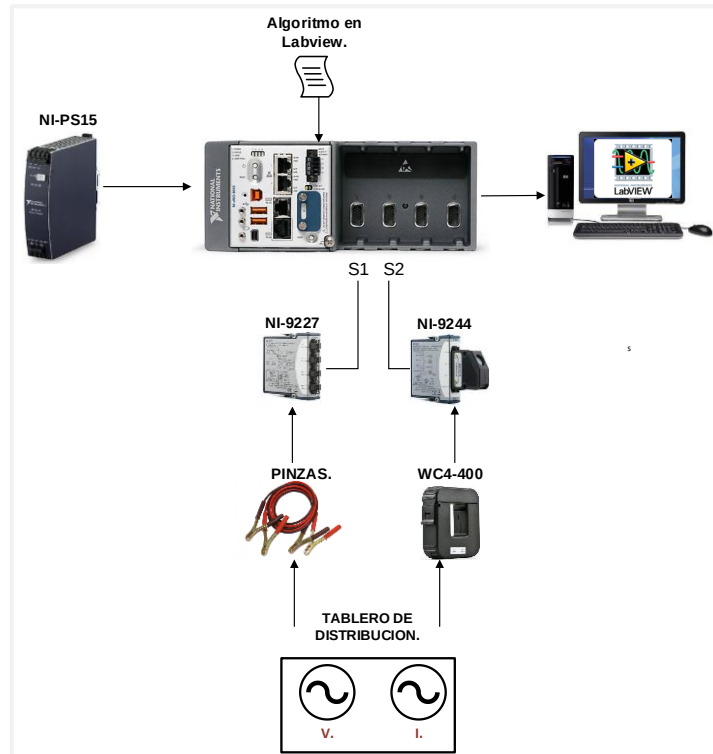


Fig 1. 5 Arquitectura hardware del prototipo PQA.
Fuente: Tomado de [35].

Como se muestra en la Figura 1.5, el prototipo se compone de los siguientes elementos: pinzas de sujeción, sensor WC4-400-RA005, módulos NI-9227 y NI-9244, cRIO-9233 y host de monitoreo. Los módulos de voltaje y corriente se ubicaron en el slot 1 y 2 respectivamente del cRIO-9233, la comunicación desde el cRIO-9233 hacia el host se realizó por medio de un cable Ethernet y la alimentación del cRIO-9233 se realizó por medio de la fuente de voltaje NI-PS15.

Teniendo en cuenta esto, procedemos a realizar una descripción más detallada sobre cada componente del sistema PQA.

1.3.1 Compact RIO-9033.

A continuación se estudió las principales características de un *“Embedded CompactRIO Controller with Real-Time Processor and Reconfigurable FPGA”*. El cual forma parte del prototipo analizador de calidad de energía, en Tabla 1.7 se especifican sus características principales y que para un mayor detalle nos dirigiremos al Anexo B del presente trabajo [36].

Tabla 1. 7 Características principales del cRIO-9033.

cRIO – 9033	
CPU	Intel Atom E3825.
Frecuencia de CPU.	1.33 GHz
Temperatura de operación.	-40 °C to 70 °C.
Network/Puerto Ethernet.	• Compatibilidad IEEE 802.3 • Comunicación rates 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps auto-negociable.
RS-232 Puerto Serial.	• Máximo baud rate 115,200 bps. • Data bits 5, 6, 7, 8. • Stop bits 1, 2.
RS-485/422 (DTE) Puerto Serial.	• Máximo baud rate 115,200 bps. • Data bits 5, 6, 7, 8. • Stop bits 1, 2.
Puerto USB.	• USB interface USB 2.0, Hi-Speed • Máximo data rate 480 Mb/s por Puerto.
Mini DisplayPort	Máxima resolución 2560 × 1600 at 60 Hz
SD Card Slot	SD and SDHC estándar.
Memoria.	• No volatil: SD removable (user supplied) Up to 32 GB. Solid-state drive 8 GB. • Volatil: Processor memory Densidad 2 GB Tipo DDR3L Maximum theoretical data rate 8.533 GB/s
Reconfigurable FPGA	• Número de flip-flops: 202,800 • Número de 6-input LUTs: 101,400 • Número de DSP slices (18 × 25 multipliers): 600
Reloj Interno Real-Time	Accuracy 200 ppm: 40 ppm at 25 °C
Requerimientos de Potencias	Rango del Voltaje de entrada (measured at the cRIO-9033 power connector) V1 = 9 V to 30 V V2 = 9 V to 30 V Maximum power consumption 46 W. Tipico consume en standby 3.4 W at 24 VDC input
Características Físicas.	• Peso (unloaded): 1,800 g (3 lbs, 15 oz) • Dimensiones (unloaded): 219.5 mm × 88.1 mm × 109.2 mm (8.64 in. × 3.47 in. × 4.30 in.)

Fuente: Tomado de [36].

Ya teniendo en cuenta las características del cRIO-9033, realizamos un recorrido por sus principales componentes en su panel frontal.

Tabla 1. 8 Componentes del panel frontal de un cRIO-9033.

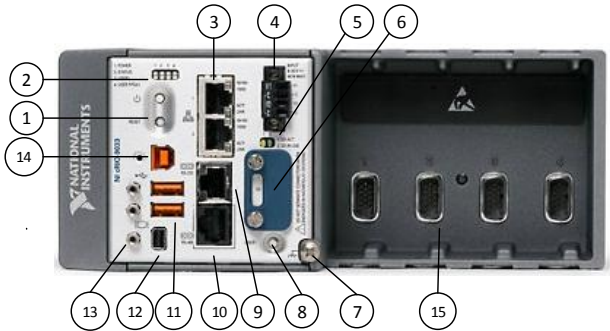
Panel Frontal cRIO-9033		
Número.	Función.	
1	Botón de reset y encendido.	
2	Leds indicadores.	
3	RJ – 45. Puerto Ethernet.	
4	Conector de fuente de poder.	
5	Led indicador de SD.	
6	Puerto de tarjeta SD.	
7	Conexión de puesta a tierra.	
8	Botón para usuario.	
9	Puerto serial RS – 232.	
10	Puerto serial RS – 485.	
11	Puerto USB.	
12	Puerto para Mini Display.	
13	Tornillo de sujeción para Mini Display.	
14	Botón CMOS Reset.	
15	Slots para módulos.	

Fig 1. 6 Panel frontal cRIO-9033.
Fuente: Tomado de [35].

Fuente: Tomado de [35].

En la Tabla 1.8 podemos observas un cRIO-9033 en donde se muestra los 4 slots en los que se colocan los módulos para la recolección o transmisión de información, en nuestro caso aquí se ubicaran los módulos NI – 9227 para voltaje y el NI – 9244 para corriente.

1.3.2 Módulo de acondicionamiento de señales de corriente NI – 9227.

Al tener listo el cRIO-9033, se buscó un módulo que mida corriente con un alto desempeño, para lo cual se tomó el *NI-9227 Channel-to-Channel Isolated Analog Input Module*, en su manual [37] se encontraron sus principales características, que resumimos en la Tabla 1.9 y que para obtener un mayor detalle sobre el presente módulo recurriremos al Anexo D del presente trabajo.

Tabla 1. 9 Características principales del NI - 9227.

NI-9227.		
Rango de medición instantáneo	Minimum. 14.051 A Pico. Typical. 14.977 A Pico, a 23 ± 5 °C	
Canales.	4 Differential	
Tasa de muestreo.	50 kS/s/ch	
Modo de muestreo simultaneo.	Si.	
Tipo de ADC.	Delta-Sigma.	
Resolución de ADC.	24-Bit	
Filtro.	Anti-Alias	
Aislamiento.	250 Vrms Ch-Ch	
Base de tiempo maestro interno. (f_m).	Frequency 12.8 MHz Accuracy ± 100 ppm max	
Consumo desde el chasis.	Active mode 730 mW max Sleep mode 50 mW max	
Temperatura de operación.	(IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) -40 to 85 °C	
Connector.	Screw Terminal	

Fuente: Tomado de [37].

Fig 1. 7 NI-9227.
Fuente: Tomado de [38].

A partir de la Tabla 1.9, en la que encontramos las principales características del módulo NI-9227, debemos tomar en consideración algunos otros factores como son la descripción de los circuitos internos que conforman el módulo así de cómo se realiza una correcta conexión hacia los sensores.

La Figura 1.8 muestra que se puede conectar fuentes de corriente con referencia a tierra o flotando en el NI-9227, se debe conectar el lado positivo de la fuente de corriente al terminal A+ y conectar el lado negativo de la fuente de corriente el terminal AI-, así se realiza una conexión con referencia a masa entre la fuente de corriente y las entradas del NI-9227 tenemos que asegurarnos que el voltaje en las conexiones A+ y A- poseen un rango de tensión seguro que garantizar el funcionamiento adecuado del NI-9227 [37].

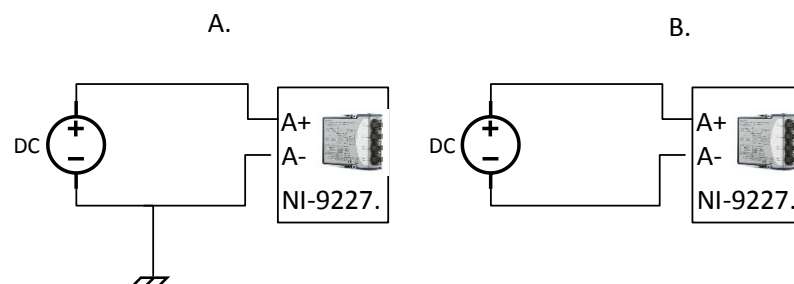


Fig 1. 8 Diagramas de conexión de fuentes de corriente en el NI-9227.

A. Conexión de una fuente de corriente a tierra.

B. Conexión de una fuente de corriente flotante.

Fuente: Tomado de [37].

Cada canal proporciona una ruta de señal independiente para cada ADC, lo que permite tomar muestras de los cuatro canales simultáneamente, en la Figura 1.9 se muestra la circuitería interna que posee cada canal del NI-9227.

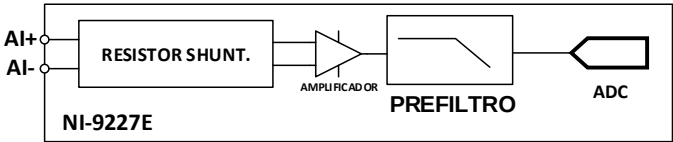


Fig 1. 9 Circuitería de entrada para un canal del NI-9227.
Fuente: Tomado de [37].

1.3.3 Módulo de acondicionamiento de señales de voltaje NI – 9244.

En el manual del NI-9244 se han encontrado sus principales características que se resumen en la Tabla 1.10, para un mayor detalle sobre las especificaciones del presente módulo nos dirigiremos al Anexo C del presente trabajo.

Tabla 1. 10 Características principales del NI-9244.

NI-9244.		
Coefficiente de escalamiento	118,911 nV/LSB	
Número de canales.	4 entradas analógicas 3 Fases y 1 Neutro.	
Resolución del ADC	24 bits	
Tipo de ADC.	Delta-Sigma (with analog prefiltering)	
Modo de muestreo simultaneo.	Si.	
Rango de señal Fase - Neutro. Fase – Fase.	400 Vrms L-N, 800 Vrms L-L	
Tasa de muestreo.	50 kS/s/ch	
Conectividad.	12-24 AWG	
Internal master timebase (fM).	Frecuencia 12.8 MHz Accuracy ±100 ppm max	
Consumo desde el chasis.	Modo activo 332 mW max Sleep mode 50 µW max	

Fig 1. 10 NI-9244
Fuente: Tomado de [39].

Fuente: Tomado de [40].

A partir de la Tabla 1.10 encontramos las principales características del módulo NI-9244, se tomó en consideración algunos otros factores como son la descripción de los circuitos internos y también de cómo se realiza una correcta conexión hacia los sensores.

El NI-9244 devuelve el voltaje entre cada terminal AI y el terminal neutro, así como la tensión entre el terminal neutro y la tierra del chasis, en la Fig 1.11 podemos observar cómo se conforma la circuitería interna del módulo de voltaje [40].

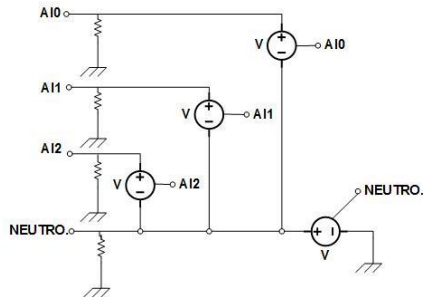


Fig 1. 11 Circuitería interna del NI-9244.
Fuente: Tomado de [40].

1.3.3.1 Conexión para mediciones de fase en el NI-9244.

Puede conectar configuraciones de medida de corriente trifásica y configuraciones de medida de una sola fase a la NI-9244. NI recomienda el uso de las siguientes configuraciones de medida de fase para las redes de distribución de energía típica, otras conexiones válidas son posibles si las conexiones no superen la clasificación de seguridad del NI-9244 [40].

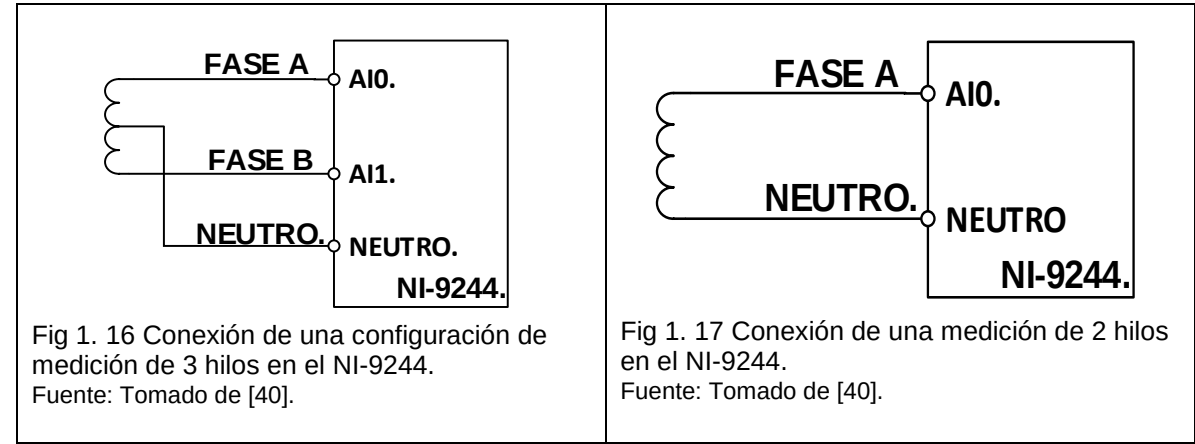
Tabla 1. 11 Diagramas de configuraciones de conexión trifásica en el NI-9244.

Fig 1. 12 Conexión para 4 fases en el NI-9244. Fuente: Tomado de [40].	Fig 1. 13 Conexión Delta de 3 fases y neutro en el NI-9244. Fuente: Tomado de [40].
Fig 1. 14 Conexión Delta de 3 fases en el NI-9244. Fuente: Tomado de [40].	Fig 1. 15 Conexión Delta de 2 fases con GND en el NI-9244. Fuente: Tomado de [40].

Fuente: Tomado de [40].

Debemos recordar que el módulo NI-9244 no puede medir las señales de todo rango de tolerancia o de alto factor de cresta en los sistemas de 690 Voltios RMS se implementan estas configuraciones.

Tabla 1. 12 Diagramas de conexión monofásicas en el NI-9244.



Fuente: Tomado de [40].

1.3.4 Fuente de poder NI PS-15.

En el manual del NI PS-15 se han encontrado sus principales características que se resumen en la Tabla 1.13, y que para obtener un mayor detalle sobre el presente equipo nos dirigiremos al Anexo E del presente trabajo.

Tabla 1. 13 Características principales del NI PS-15.

NI-PS15.		
Entrada AC.	Nominal AC 100 –120 V / 200 –240 V.	
Salida DC.	de 24 a 28 VDC, 5 A.	
Frecuencia de entrada.	Nominal 50–60 Hz.	
Temperatura de operación.	–25 °C to +70 °C (–13 °F to 158 °F)	
Humedad.	5 to 95% r.H.	
Salida de protección.	Electrónicamente protegido contra sobrecargas, sin carga y cortocircuitos.	
Montaje.	En riel DIN incluido y accesorios disponibles para montaje en panel y de lado.	
Terminales.	Tornillo-abrazadera para fácil conectividad en campo.	

Fuente: Tomado de [42].

1.3.5 Sensor de corriente WC4-400-RA005.

Teniendo en consideración que los valores de corriente que se midieron en trabajos anteriores están en el rango de los 200 A a los 350 A, fue necesario utilizar el sensor con las características que se describen en la Tabla 1.14 y para un mayor detalle se nos referiremos al Anexo A del presente trabajo.

Tabla 1. 14 Características principales del sensor WC4-400-RA005.

WC4-400-RA005		
Entrada (max).	400A, AC Sine-wave 50/60 Hz.	
Salida.	Output 5A, full-scale.	
Accuracy (typical).	0.5%.	
Linealidad.	10% to 120%.	
Polaridad.	White (X1 - Hi), Black (X2 - Low).	
Dirección de fase.	La flecha apunta hacia la carga.	
Frecuencia.	40 -400 Hz.	
Rango de voltaje.	600VAC, Categoría III.	

Fig 1. 19 WC4-400-RA005.
Fuente: Tomado de [43].

Fuente: Tomado de [44].

1.3.1 Sensor de tensión.

Debido a que el módulo NI-9244 ya posee los acondicionamientos necesarios para que ingrese directamente la señal hacia el analizador de calidad de energía, solo utilizaremos unas pinzas para conexión eléctrica para cada una de las fases y para el neutro.



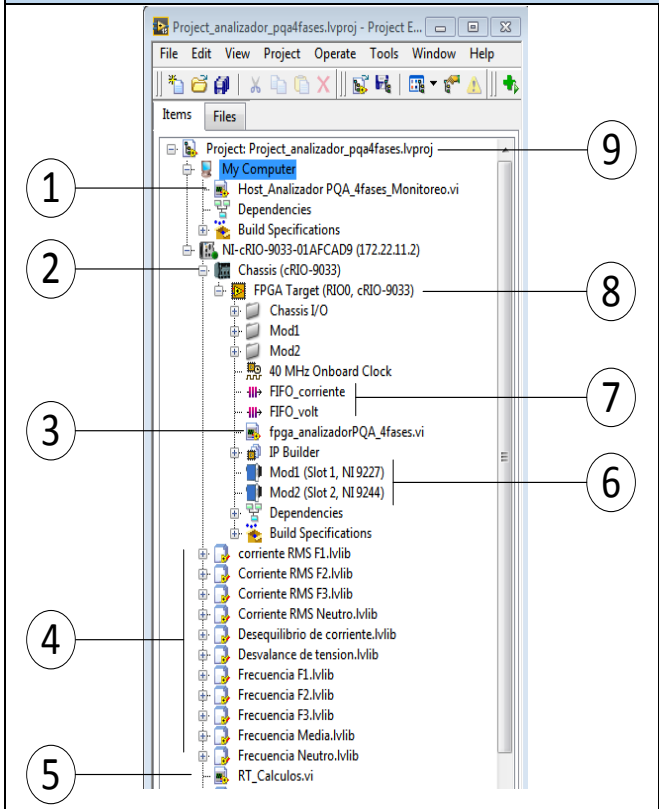
Fig 1. 20 Pinzas para mediciones eléctricas.
Fuente: Tomado de [45].

CAPÍTULO II.
DESARROLLO DE ALGORITMOS PARA EL CÁLCULO DE PARÁMETROS E
INDICADORES PARA SISTEMAS PQA.

Para el presente capítulo se realizó un análisis de la estructura de los programas que recolectan datos, así como su almacenamiento en un archivo de texto, además de ejecutar el reconocimiento de las señales enviadas desde el cRIO-9033 y como utilizando los instrumentos virtuales (VI) en LabVIEW con su herramienta *Electrical Power Suite* se calcularon los parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, frecuencia, potencia real, potencia aparente, y potencia reactiva; así como la obtención de los indicadores de calidad de energía como: nivel de voltaje, desbalance de tensión, desequilibrio de corriente, factor de potencia y variación de frecuencia.

En LabVIEW se realizó la organización del software por medio de un proyecto, en el cual se identifican las tres secciones fundamentales del software que son el host, Real - Time y FPGA. En la Tabla 2.1 se muestra el proyecto con el contenido del software para el analizador de calidad de energía eléctrica.

Tabla 2. 1 División del proyecto en LabVIEW para el analizador de calidad de energía.

Proyecto Analizador de calidad de energía eléctrica.	
 Fig 2. 1 Proyecto PQA en LabVIEW. Fuente: Tomado de [20]	1. VI para el host de monitoreo. 2. Chasis cRIO-9033 en el que se encuentra la sección Real - Time. 3. VI para el FPGA en el que se ubicaron los algoritmos para reconocer los módulos. 4. <i>Shared Variable</i> para cada parámetro eléctrico e indicador de calidad de energía. 5. VI para el cálculo de los parámetros eléctricos y los indicadores de calidad de energía. 6. Ubicación de los módulos en su respectivo slot. 7. Pila FIFO para las variables de corriente y voltaje. 8. FPGA ubicado en el cRIO-9033. 9. Proyecto del analizador de calidad de energía eléctrica.

Fuente: Realizado por el autor.

Una vez armado el proyecto, se procedió a subdividir cada una de las partes en funciones que nos ayudaron a realizar las diferentes tareas indispensables para el correcto desenvolvimiento del programa, así tenemos en la Figura 2.2 el esquema de cómo se realizó esta subdivisión.

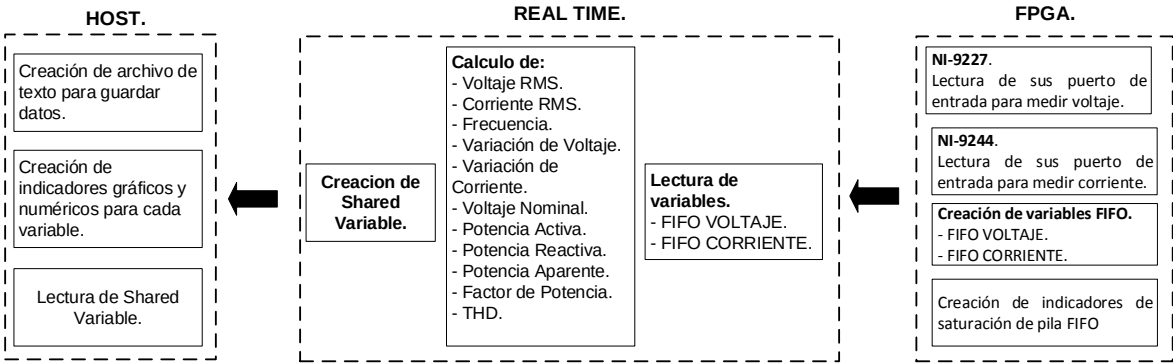


Fig 2. 2 Estructura principal del software implementado en el prototipo PQA.
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.2 se diferencian las tres partes fundamentales del software para el analizador de calidad de energía, las cuales explicamos a continuación:

2.1 Host en el prototipo PQA.

En la Figura 2.3 se observan los indicadores gráficos y numéricos de cada variable, dividido en un menú para distribuirlos de forma ordenada, por último se encuentra un bloque que identifica la dirección donde se encontrara el archivo que guarda los datos, además de un botón de inicio y pausa de adquisición de muestras.

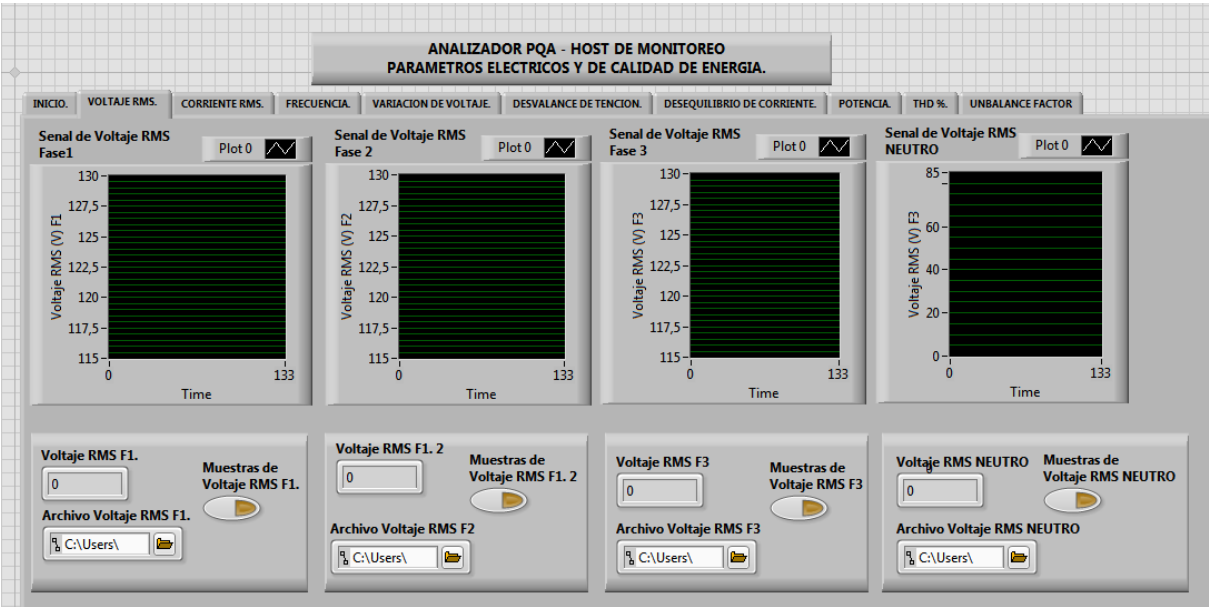


Fig 2. 3 Analizador PQA. Host de monitoreo.
Fuente: Tomado de [20].

2.2 Sección Real Time (RT) en el prototipo PQA.

Realiza los cálculos necesarios para todas las variables que se ocupan el parte eléctrica y de calidad de energía, además de efectuar una visualización de las de señales de voltaje, corriente y espectro de la señal de voltaje.

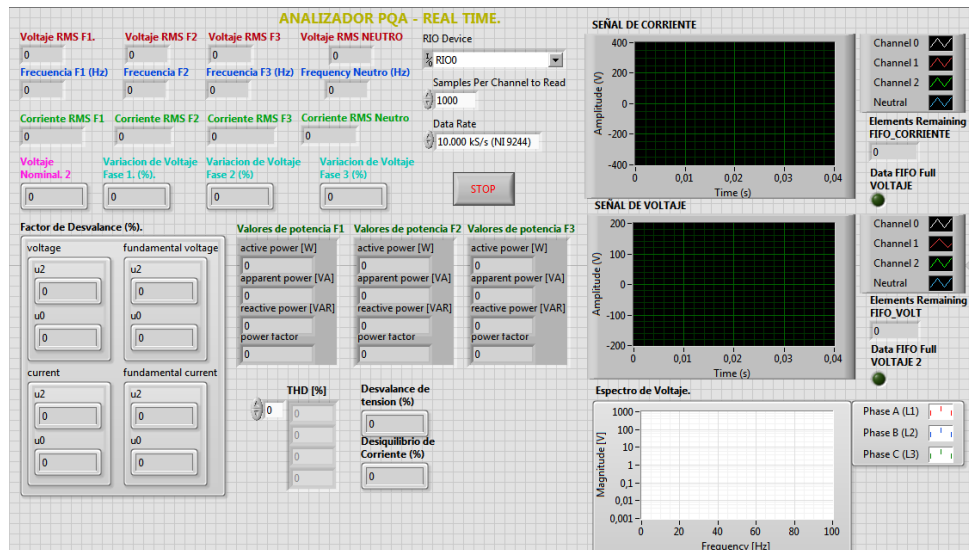


Fig 2. 6 Panel frontal del prototipo PQA en la sección de Real - Time.
Fuente: Tomado de [20].

En la Figura 2.6 encontramos el panel frontal ubicado en la sección Real-Time, en el cual se visualizan todas las variables que son enviadas hacia el host, aquí se describen principalmente los valores de los parámetros eléctricos como son voltaje y corriente eficaz de cada una de las fases incluido el neutro, la frecuencia de cada fase incluida el neutro, la potencia activa y aparente, también se hallan los indicadores de calidad de energía como son el nivel de voltaje, desbalance de tensión, desequilibrio de corriente y factor de potencia, por último se visualizan las señales de voltaje, corriente y espectro de frecuencia.

2.2.1 Parametrización de la red eléctrica.

Al utilizar la librería *Electrical Power Suite*, nos encontramos con la necesidad de crear un sistema de información, que no es más, que las especificaciones básicas de la red eléctrica, como son el voltaje nominal, frecuencia nominal, muestras por ciclo y configuración de la red.

Para el voltaje nominal se creó una *Shared Variable*, que es controlada desde el panel frontal del host de monitoreo, recordando que el sistema de información se encuentra en la sección Real-Time.

En la Figura 2.7 se muestra como se configuró el sistema de información, acoplándonos a los requerimientos de la red eléctrica en la que se efectuaron las mediciones.

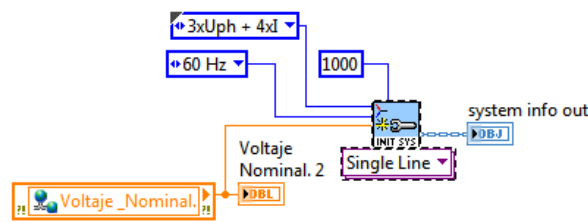


Fig 2. 7 Sistema de información para la red eléctrica.
Fuente: Tomado de [20].

Una de las partes fundamentales del sistema de información, es que nos ayuda a emparejarnos con los parámetros de la norma IEC 61000-4-30:2008 con la que realizamos el presente estudio. El sistema de información solicita determinar la configuración de la red eléctrica llamada *Wiring*, para esto se utiliza la Tabla 2.2 que identifica las posibles configuraciones de la red eléctrica.

Tabla 2. 2 Opciones para la configuración de la red eléctrica en el sistema de información.

Opción.	Descripción.
0	4xUph + 4xl – 4 fases, 4 canales de voltaje y 4 canales de corriente.
1	3xUph + 4xl (default) – 3 fases, 3 canales de voltaje y 4 canales de corriente.
2	3xUline + 4xl – 3 líneas de voltaje y 4 canales de corriente.
3	3xUph + 3xl – 3 fases de voltaje y 3 canales de corriente.
4	3xUline + 3xl – 3 líneas de voltaje y 3 canales de corriente.
5	3xUph + 2xl – 3 fases de voltaje y 2 canales de corriente.
6	3xUline + 2xl – 3 líneas de voltaje y 2 canales de corriente.
7	1xUph + 1xl – 1 fase de voltaje y 1 canal de corriente.

Fuente: Tomado de [20].

Por último el sistema de información nos da la opción de configurar el tipo de referencia de voltaje acorde a la norma IEC 61000-4-30:2008.

2.2.2 Configuración de la tasa de transmisión.

Para identificar la tasa de transmisión de datos (Data Rate) con la que se trabajó, y poder graficar las señales de corriente y voltaje, se procedió a dar lectura de esta variable, transformarla de *String* a *Number* y multiplicarla por 1000 para obtener su valor, esto se lo demuestra en la Figura 2.8.

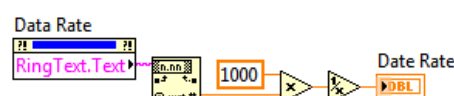


Fig 2. 8 Lectura de tasa de transmisión de datos.
Fuente: Tomado de [20].

2.2.3 Algoritmo para lectura de pila FIFO de voltaje y corriente.

Para la descripción de los algoritmos utilizados para realizar los cálculos de las variables eléctricas y de calidad de energía eléctrica, primero se procedió a leer las pilas FIFO de voltaje y corriente en la sección de Real-Time, esto se lo describe en la Figura 2.9.

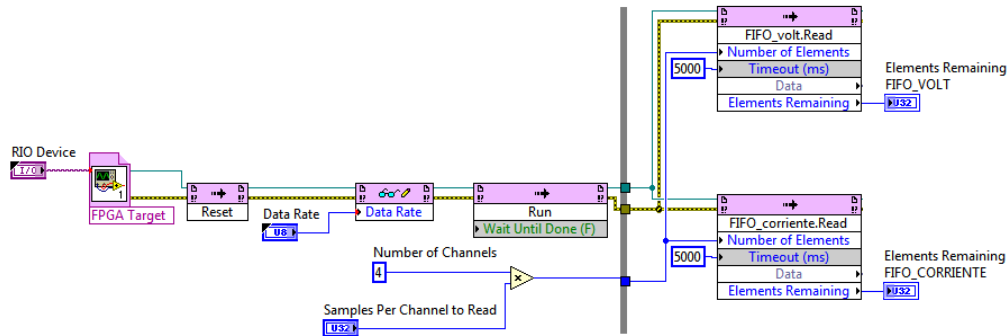


Fig 2. 9 Lectura de pilas FIFO de corriente y voltaje.
Fuente: Tomado de [20].

En la Figura 2.9 observamos cómo se da inicio a la lectura de la pila FIFO de corriente y voltaje, además se recuerda el bloque *FPGA Target*, donde se configura el VI que se construyó para el reconocimiento de los módulos de corriente y voltaje en la sección FPGA, así como la escritura de las pilas FIFO de corriente y voltaje.

Una vez obtenida la lectura de la pila FIFO se debe reconocer los mensajes de error, si estos existieran, para conectarlos al botón de parada del ciclo *While*, que detiene todo el algoritmo en la sección Real-Time, esto se lo describe en la Figura 2.10.

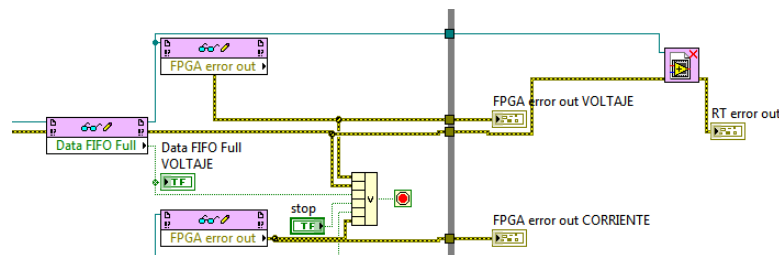


Fig 2. 10 Finalización de la lectura de pila FIFO y errores.
Fuente: Tomado de [20].

2.2.4 Adquisición de las formas de onda de corriente.

Para obtener la señal de corriente tomamos los datos desde la pila FIFO de corriente, estos valores los procedemos a transformar por medio de un *DBL* (Double precisión float) y los separamos por medio de un *Build Array*, reconstruimos la señal por medio de un *Build Waveform* con la ayuda del valor de *Date Rate*, este valor pasara por un VI *Scaling*, el cual nos ayuda a incluir el valor de escalamiento que se obtiene de la hoja de datos de los sensores

de corriente y que para nuestro caso fue de 80. El VI *Scaling* nos devuelve una señal de muestras representativas en intervalos de 12 ciclos para el formato de energía eléctrica en 60 Hz, como lo indica la norma, todo esto lo muestra en la Figura 2.11.

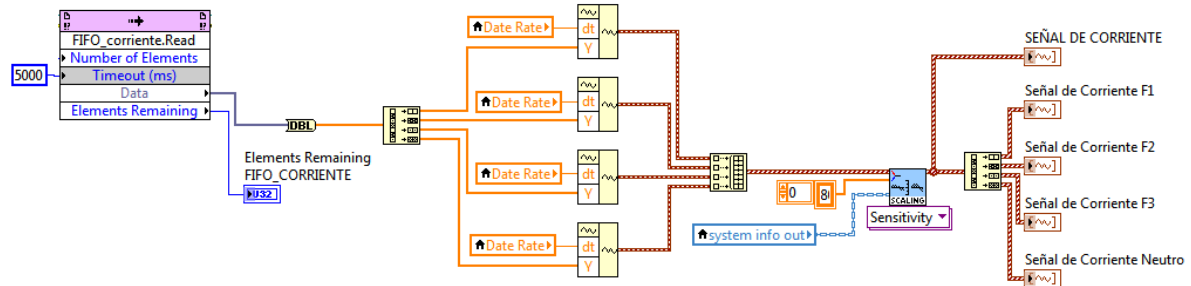


Fig 2. 11 Obtención de las señales de corriente normalizadas.
Fuente: Tomado de [20].

2.2.5 Adquisición de las formas de onda de voltaje.

La señal de voltaje se obtiene tomando los datos de la pila FIFO de voltaje, estos valores los procedemos a transformar por medio de un *DBL* (Double precisión float) y los separamos a través de un *Build Array*, para luego generar la señal en un *Build Waveform* con la ayuda del valor *Date Rate*, este valor pasará por un VI *Scaling* el cual nos ayuda a incluir el valor de escalamiento, que para nuestro caso fue de 1, el VI *Scaling* nos devuelve una señal de muestras representativas en intervalos de 12 ciclos para el formato de energía eléctrica en 60 Hz, como lo indica la norma, este proceso se lo muestra en la Figura 2.12.

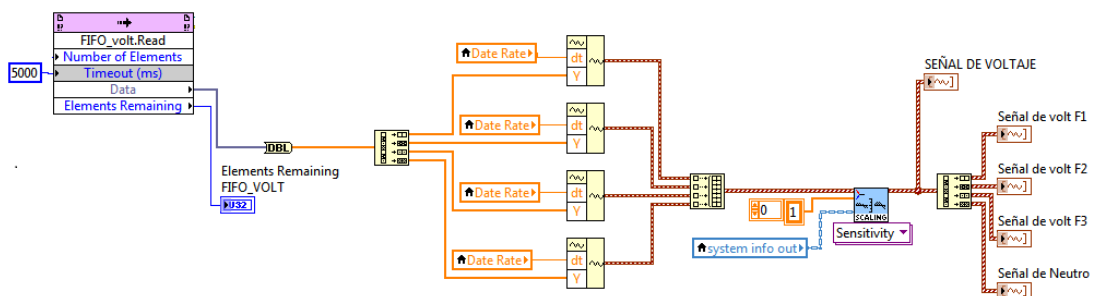


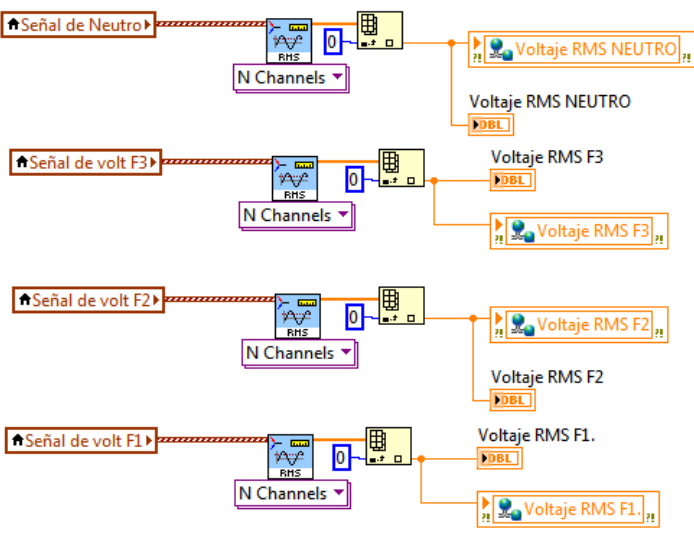
Fig 2. 12 Obtención de la señal de voltaje normalizada.
Fuente: Tomado de [20].

2.2.6 Algoritmos para el cálculo de los parámetros de energía eléctrica.

2.2.6.1 Algoritmo para el cálculo de voltaje RMS.

El cálculo del voltaje RMS se realiza por medio del VI *RMS* que se encuentra en la librería *Electrical Power Suite*, este VI nos arroja el nivel RMS de la señal de voltaje [46].

Tabla 2. 3 Algoritmo y fórmula para el cálculo para voltaje RMS.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 13 Algoritmo de voltaje RMS para cada fase y neutro. Fuente: Tomado de [20].	$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}}$ Donde: $v(n)$ Es el voltaje instantáneo. N Es el número de muestras.

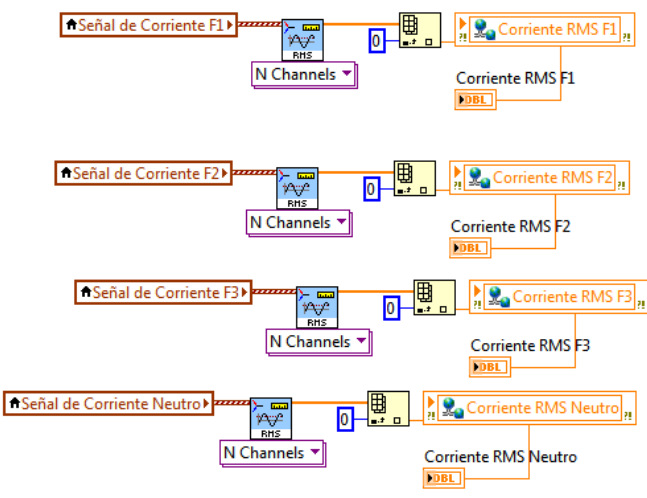
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.13 destacamos la creación de una *Shared Variable* para cada una de las señales de voltaje y realizamos el cálculo del voltaje RMS por medio de la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.3 y que se explica de forma detallada en el capítulo 1.

2.2.6.2 Algoritmo para el cálculo de corriente RMS.

El cálculo de la corriente RMS se realiza por medio del VI *RMS* que se encuentra en la librería *Electrical Power Suite*, este VI nos arroja el nivel RMS de la señal de corriente [46].

Tabla 2. 4 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la corriente RMS.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 14 Algoritmo de corriente RMS para cada fase y neutro. Fuente: Tomado de [20].	$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)}{N}}$ Donde: $i(n)$ Es la corriente instantánea. N Es el número de muestras.

Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.14 destacamos la creación de una *Shared Variable* para cada una de las señales de corriente y realizamos el cálculo de la corriente RMS por medio de la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.4 y que se explica de forma detallada en el Capítulo 1.

2.2.6.3 Algoritmo para el cálculo de frecuencia.

El cálculo de frecuencia se realiza por medio del VI *FREQ* que se encuentra en la librería *Electrical Power Suite*, este VI nos da el nivel de la señal de frecuencia en la Fase [46].

Tabla 2. 5 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la frecuencia.

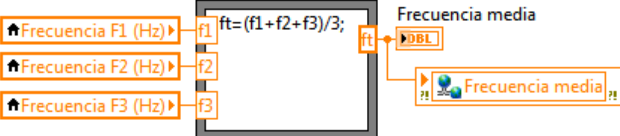
ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
	$f = \frac{1}{T}$ Donde: <i>T</i> Es el tiempo de ciclo en que la señal realiza un cruce por cero ya sea de flanco positivo o negativo.

Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.15 destacamos la creación de una *Shared Variable* para cada una de las señales de frecuencia y realizamos su cálculo por medio de la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.5 y que se explica de forma detallada en el capítulo 1, esta fórmula es desarrollada dentro del VI *FREQ* de la librería *Electrical Power Suite*.

Al tener los valores de frecuencia en las tres fases, procedemos a realizar el cálculo de la media entre ellas, así obtendremos un valor de frecuencia media que sirvió para realizar la comparación con los valores obtenidos por el Fluke 435, este cálculo se lo muestra en la Figura 2.16.

Tabla 2. 6 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la frecuencia media.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 16 Algoritmo de cálculo de la frecuencia media. Fuente: Tomado de [20].	$f_t = \frac{(f_1 + f_2 + f_3)}{N}$ Donde: f Es el valor de la frecuencia en cada fase. N Es cantidad de fases existentes.

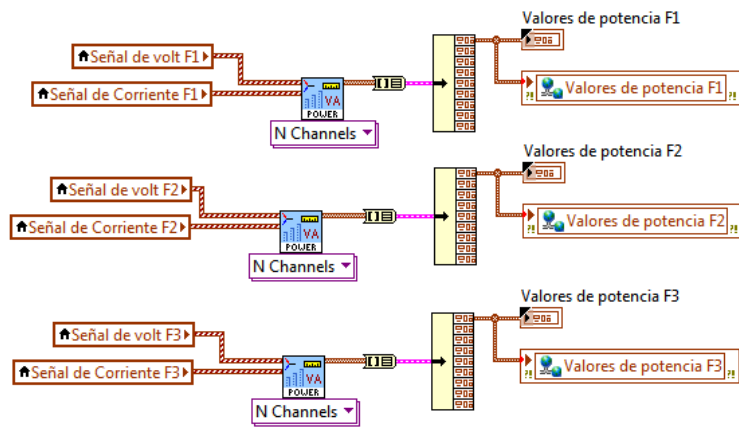
Fuente: Realizado por el autor

En la Fig 2.16 destacamos la creación de una *Shared Variable*, para la señal de frecuencia media y realizamos el cálculo de la misma por medio de la fórmula en la Tabla 2.6.

2.2.6.4 Algoritmo para el cálculo de potencia activa, aparente y reactiva.

El cálculo de la potencia activa, reactiva y aparente se la realiza por medio del VI *POWER* que se encuentra en la librería *Electrical Power Puite*, este VI nos arroja una tabla con valores respectivamente etiquetados [46].

Tabla 2. 7 Algoritmo y fórmula para el cálculo de la potencia activa, reactiva y aparente.

DESARROLLO DEL ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 17 Algoritmo de potencia activa reactiva y aparente para cada fase. Fuente: Tomado de [20].	Potencia Activa. $P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) \times i(n)$ Donde: $v(n)$ Es el voltaje instantáneo. $i(n)$ Es la corriente instantánea. N Es el número de muestras. Potencia Aparente. $S = I_{RMS} \times V_{RMS}$ Donde: I_{RMS} Es la corriente rms. V_{RMS} Es el voltaje rms. Potencia Reactiva. $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ Donde: S Es la potencia aparente del sistema. P Es la potencia activa del sistema.

Fuente: Realizado por el autor

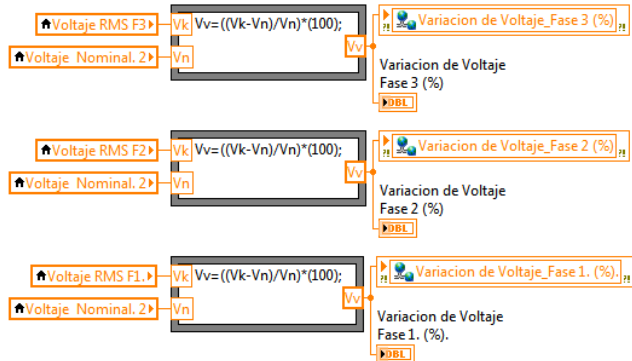
En la Figura 2.17 destacamos la creación de una *Shared Variable* para cada una de las señales de corriente y realizamos el cálculo de los parámetros de potencia por medio de las fórmulas que se encuentran en la Tabla 2.7, explicadas de forma detallada en el capítulo 1.

2.2.7 Algoritmos para el cálculo de los indicadores de calidad de energía.

2.2.7.1 Algoritmo para el cálculo del nivel de voltaje.

El cálculo del nivel de voltaje se la realizó atreves de un nodo de fórmula en LabVIEW, en el cual ingresamos el valor de voltaje eficaz y el valor de voltaje nominal, aplicando la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.8, explicada con mayor detalle en el Capítulo 1.

Tabla 2. 8 Algoritmo y fórmula para el cálculo para la variación de voltaje.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 18 Algoritmo de variación de voltaje para cada fase. Fuente: Tomado de [20].	$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100$ Donde: V_k Es el voltaje eficaz en el punto de medición y V_n es el voltaje nominal.

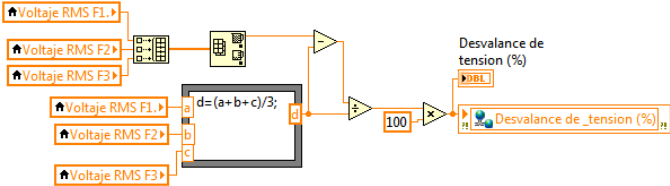
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.18 destacamos la creación de una *Shared Variable* para cada una de los valores de nivel de voltaje, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.2 Algoritmo para el cálculo del desbalance de tensión.

El cálculo para el desbalance de tensión se realiza por medio de un nodo de fórmula en LabVIEW, en el cual ingresamos el valor de voltaje RMS de las 3 fases, y aplicando la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.9 obtenemos el desbalance de tensión, esta fórmula se la explica con mayor detalle en Capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 2. 9 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el desbalance de tensión.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 19 Algoritmo para el cálculo de desbalance de tensión. Fuente: Tomado de [20].	$DT = \frac{(T_{\max} - \bar{T})}{\bar{T}} \times 100$ Donde: $T_{\max}$ es la máxima tensión de las tres fases y $\bar{T}$ es el promedio de las tensiones de las tres fases.

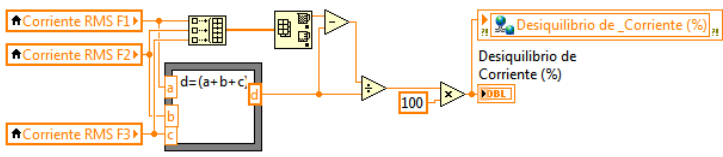
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.19 destacamos la creación de una *Shared Variable* para el valor de desbalance de tensión, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.3 Algoritmo para el cálculo del desequilibrio de corriente.

El cálculo para el desequilibrio de corriente se realiza por medio de un nodo de fórmula en LabVIEW, en el cual ingresamos el valor de corriente RMS de las 3 fases y aplicando la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.10 obtenemos el desequilibrio de corriente, esta fórmula se explica con mayor detalle en Capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 2. 10 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el desequilibrio de corriente.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 20 Algoritmo para el cálculo de desequilibrio de corriente. Fuente: Tomado de [20].	$D_I(\%) = \frac{I_m - I_p}{I_p} \times 100$ Donde: I_m es la máxima intensidad de corriente de las tres fases I_p es el promedio de las corrientes medidas en las tres fases.

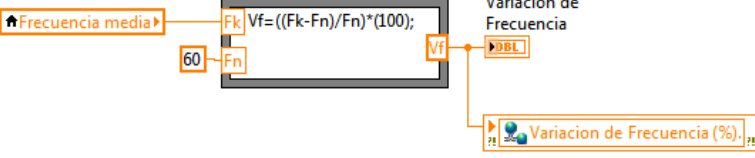
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.20 destacamos la creación de una *Shared Variable* para el valor de desequilibrio de corriente, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.4 Algoritmo para el cálculo de la variación de frecuencia.

El cálculo para la variación de frecuencia se realiza por medio de un nodo de fórmula en LabVIEW, en el cual ingresamos el valor de frecuencia de las 3 fases, aplicando la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.11 obtenemos la variación de frecuencia, esta fórmula se la explica con mayor detalle en Capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 2. 11 Algoritmo y fórmula para el cálculo para la variación de frecuencia.

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 21 Algoritmo para el cálculo de variación de frecuencia. Fuente: Tomado de [20].	$\Delta f(\%) = \frac{f - f_n}{f_n} \times 100$ Donde: f es la frecuencia de cada fase medida y f_n es la frecuencia nominal.

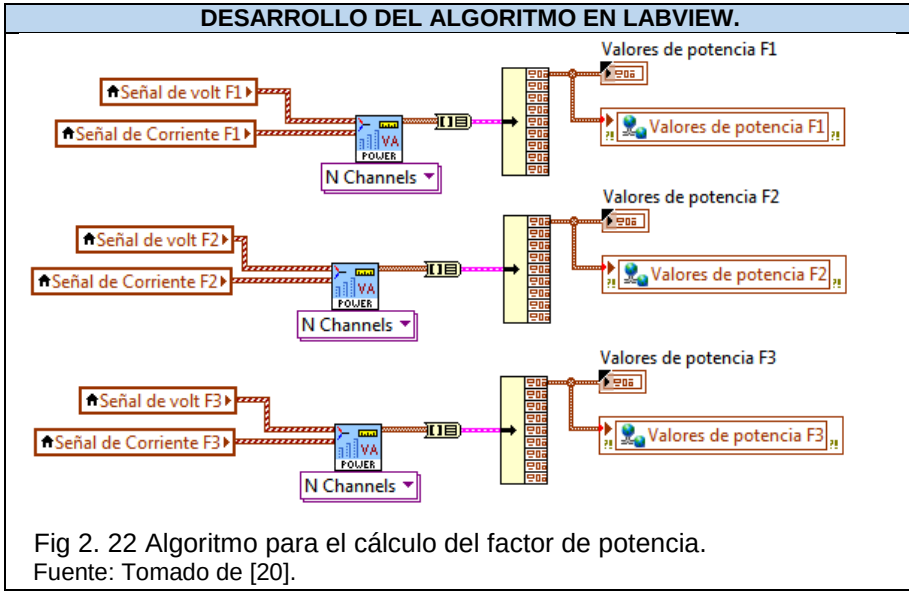
Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.21 destacamos la creación de una *Shared Variable* para el valor de variación de frecuencia, la cual es leída en el host para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.5 Algoritmo para el cálculo del factor de potencia.

El cálculo para el factor de potencia se realiza por medio del VI *POWER* de la librería *Electrical Power Suite*, en el cual ingresamos la señal de voltaje y corriente, dentro de este VI se aplica la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.12 obteniendo el factor de potencia, esta fórmula se la explica con mayor detalle en Capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 2. 12 Algoritmo y fórmula para el cálculo para el factor de potencia.

DESARROLLO DEL ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 22 Algoritmo para el cálculo del factor de potencia. Fuente: Tomado de [20].	$FP = \frac{P}{S}$ Donde: P es la potencia activa del sistema y S la potencia aparente del mismo.

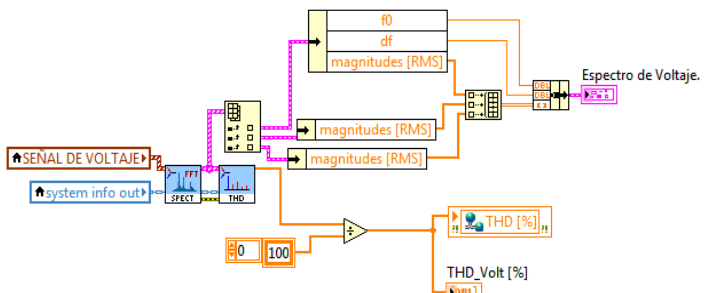
Fuente: Realizado por el autor

En la Figura 2.22 destacamos la creación de una *Shared Variable* para el valor de factor de potencia de cada fase, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.6 Algoritmo para el cálculo de los armónicos de voltaje.

El cálculo para los armónicos de voltaje se realiza por medio de dos VI, el primero el *SPECT* donde se ingresa la señal de voltaje y el sistema de información, de aquí se conecta al VI de *THD* donde se calculan los armónicos de voltaje para cada fase, estos dos VI se encuentran en la librería *Electrical Power Suite* de LabVIEW, dentro de este VI se aplica la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.13 obteniendo los armónicos de voltaje, esta fórmula se la explica con mayor detalle en Capítulo 1 del presente trabajo.

Tabla 2. 13 Algoritmo y fórmula para el cálculo de los armónicos de voltaje

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 23 Algoritmo para el cálculo de THD de voltaje y espectro de la señal de voltaje. Fuente: Tomado de [20].	$THD_V = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n (V_i)^2}}{V_n} \right) \times 100$ Donde: V_i es el valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para i=2 hasta n=40) y V_n es el voltaje nominal del punto de medición.

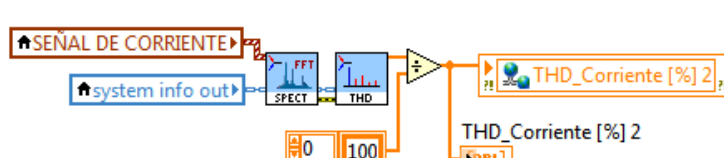
Fuente: Realizado por el autor

En la Figura 2.23 destacamos la creación de una *Shared Variable* para los armónicos de voltaje de cada fase, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.2.7.7 Algoritmo para el cálculo de los armónicos de corriente.

El cálculo para los armónicos de corriente se realiza por medio de dos VI, el primero el *SPECT* donde ingresa la señal de corriente y el sistema de información, después pasan al VI *THD* donde se calculan los armónicos de voltaje para cada fase, estos dos VI se encuentran en la librería *Electrical Power Suite* de LabVIEW, dentro de este VI se aplica la fórmula que se encuentra en la Tabla 2.14 obteniendo los armónicos de corriente, esta fórmula se la explica con mayor detalle en Capítulo 1 de este trabajo.

Tabla 2. 14 Algoritmo y fórmula para el cálculo de los armónicos de corriente

ALGORITMO EN LABVIEW.	FÓRMULA
 Fig 2. 24 Algoritmo para el cálculo del THD de corriente. Fuente: Tomado de [20].	$THD_I = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n (I_i)^2}}{I_1} \right) \times 100$ Donde: I_i es el valor eficaz (rms) de la corriente armónica "i" (para i=2 hasta n=40) y I_1 es la corriente eficaz de la onda fundamental del punto de medición.

Fuente: Realizado por el autor.

En la Figura 2.24 destacamos la creación de una *Shared Variable* para los armónicos de corriente de cada fase, la cual es leída en el host de monitoreo para ser mostrada de forma gráfica y numérica.

2.3 Sección FPGA en el prototipo PQA.

Reconoce los módulos que se encuentran instalados en el cRio-9033 y muestra sus entradas y salidas, aquí se visualizó el módulo de corriente NI-9227 y de voltaje NI-9244, además se implementó la pila FIFO indispensables para el almacenamiento de los datos y envió sin pérdidas hacia la sección Real-Time.

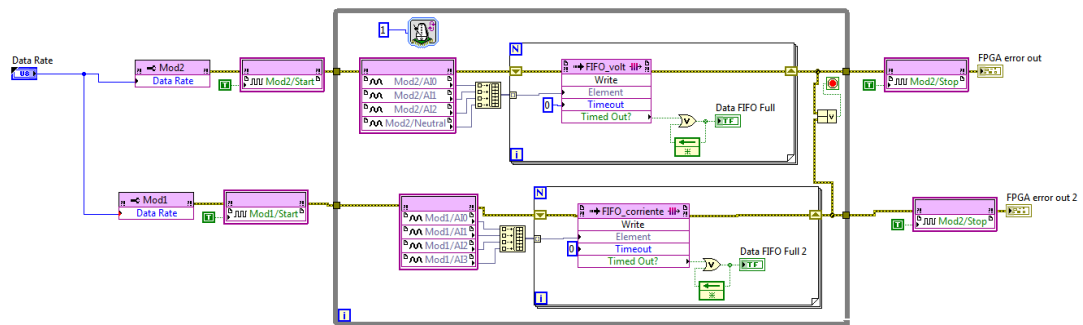


Fig 2. 25 Diagrama de bloques implementado en el FPGA del cRIO-9033.
Fuente: Tomado de [20].

En la Figura 2.25 podemos observar el diagrama de bloques realizado en LabVIEW para identificar el Mod1 (Módulo 1) como el de módulo donde se conecta el NI-9227 y el Mod2 (Módulo 2) como el módulo donde se conectó el NI-9244. Dentro del ciclo *For* se colocó las pilas FIFO de voltaje y corriente nombradas como *FIFO_volt* y *FIFO_corriente* además de un indicador de saturación de la pila que son Data FIFO Full y Data FIFO Full 2.

Entre las principales virtudes de un cRIO-9033, el FPGA que contiene es la que más resalta, así resumimos en la Tabla 2.15 sus principales características, como son la cantidad de Flip-flops, las tablas que configuran la cantidad de entradas con respecto a las salida (LUT LookUp Table) y el número de canales DMA (Direct memory Access).

Tabla 2. 15 Características del FPGA del cRIO-9033.

FPGA RECONFIGURABLE.	
Tipo de FPGA.	Xilinx Kintex-7 7K160T
Número de flip-flops.	202,800
Numero de 6-input LUTs.	101,400
Número de DSP slices (18 × 25 multipliers).	600
Available block RAM.	11,700 kbits
Número de canales DMA.	16
Número de interrupciones lógicas.	2

Fuente: Tomado de [36].

CAPÍTULO III.
IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO
DE LA SOLUCIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA TÉCNICA Y ECONÓMICA.

El presente capítulo aborda la evaluación de los parámetros eléctricos y los indicadores de calidad de energía eléctrica del sistema implementado, para ello, se analizó los valores obtenidos del prototipo analizador de calidad de energía eléctrica, frente a los resultados adquiridos por el instrumento tomado como referencia, Fluke 435.

Las mediciones se realizaron en el tablero de distribución de energía del Edificio de Unidades Productivas, ubicado dentro del Campus de la UTPL como se muestra en la Figura 3.1, la edificación fue seleccionada por ser la de mayor consumo energético, de acuerdo a estudios anteriores [47].

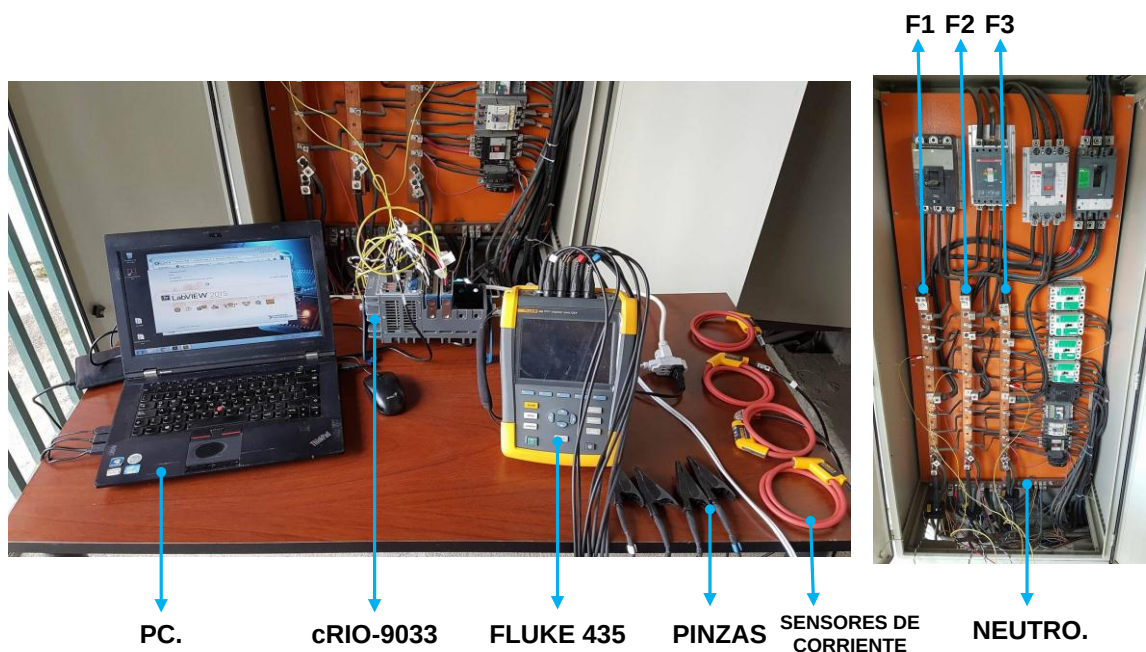


Fig 3. 1 Armario eléctrico del edificio UGTI previo a la realización de pruebas.
Elaboración: Realizado por el autor.

A la derecha de la Figura 3.1 podemos observar la disposición de las tres fases identificadas como F1, F2, F3, además de la ubicación en la parte inferior de la barra de neutro dentro del tablero eléctrico, en la porción izquierda de la imagen observamos el prototipo con sus dos partes principales que son el computador portátil y el cRIO-9033 además del equipo con el que se realizara la comparación de mediciones, que es el Fluke 435.

3.1 Implementación del prototipo.

3.1.1 Conexiones de los elementos del prototipo PQA.

Antes de empezar con la recolección de datos del armario eléctrico, tenemos que realizar una correcta conexión de los sensores, pinzas de sujeción, módulos de sensores, fuente de voltaje para el cRIO-9033 y la conexión hacia el host, como se indica en la Figura 3.2.

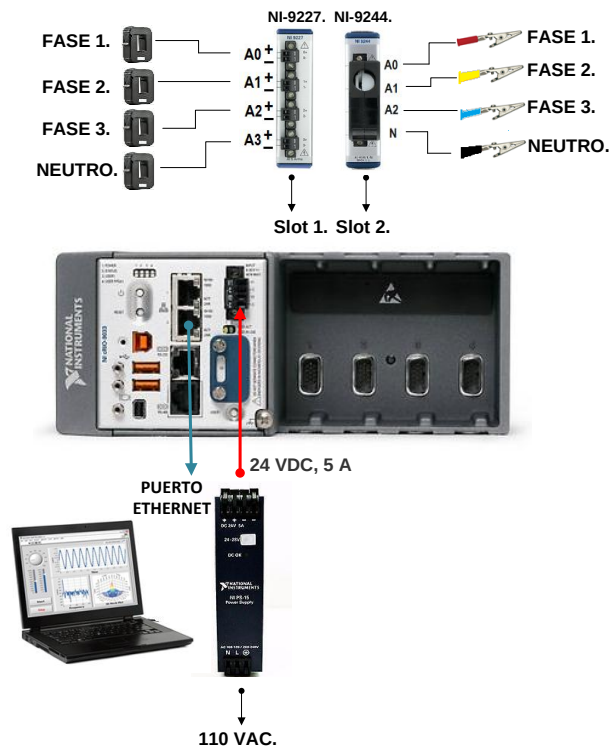


Fig 3. 2 Diagrama de conexión del prototipo PQA.
Fuente: Realizado por los autores.

Como nos muestra la Figura 3.2 para el slot 2 tenemos la conexión del módulo NI-9244, de aquí salen las pinzas de conexión a cada fase y neutro, además encontramos conectado en el slot 1 el módulo NI-9227, de este salen las conexiones para los sensores de corriente WC4-400-RA005, para estos sensores debemos recordar que su conexión debe estar en sentido al flujo de corriente del conductor, ya que si no se realiza de esta manera tendremos que los datos estarán alterados, obteniendo factores de potencia negativos, valores de corriente bajos así valores de potencia extremadamente altos, la conexión del sensor se muestra en la Figura 3.3.

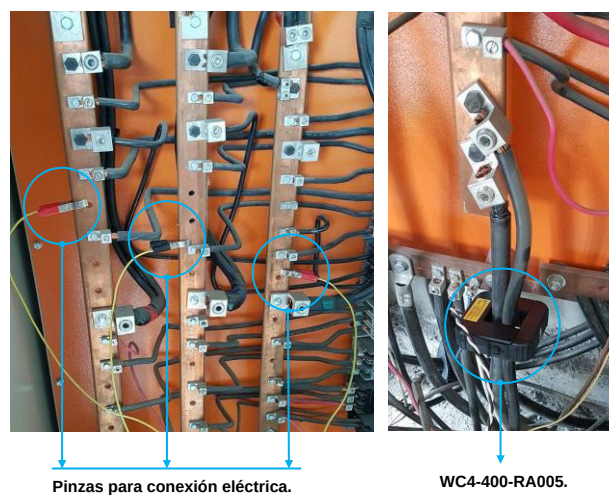


Fig 3. 3 Conexión de las pinzas eléctricas y del sensor de corriente.
Fuente: Realizado por el autor.

3.1.2 Conexiones del Fluke 435.

Una vez instalado el prototipo, procedemos a conectar los sensores y pinzas del Fluke 435, como se muestra en la Figura 3.4, para esto procedemos a apagarlo por completo y a colocar la tarjeta SD dentro del equipo, quitando la batería que se encuentra en la parte posterior del mismo, a continuación colocamos las pinzas eléctricas comenzando por la de GND pasando a la de neutro y a continuación las fases, para los sensores de corriente procedemos a conectar primeramente el sensor de neutro y a continuación las fases.

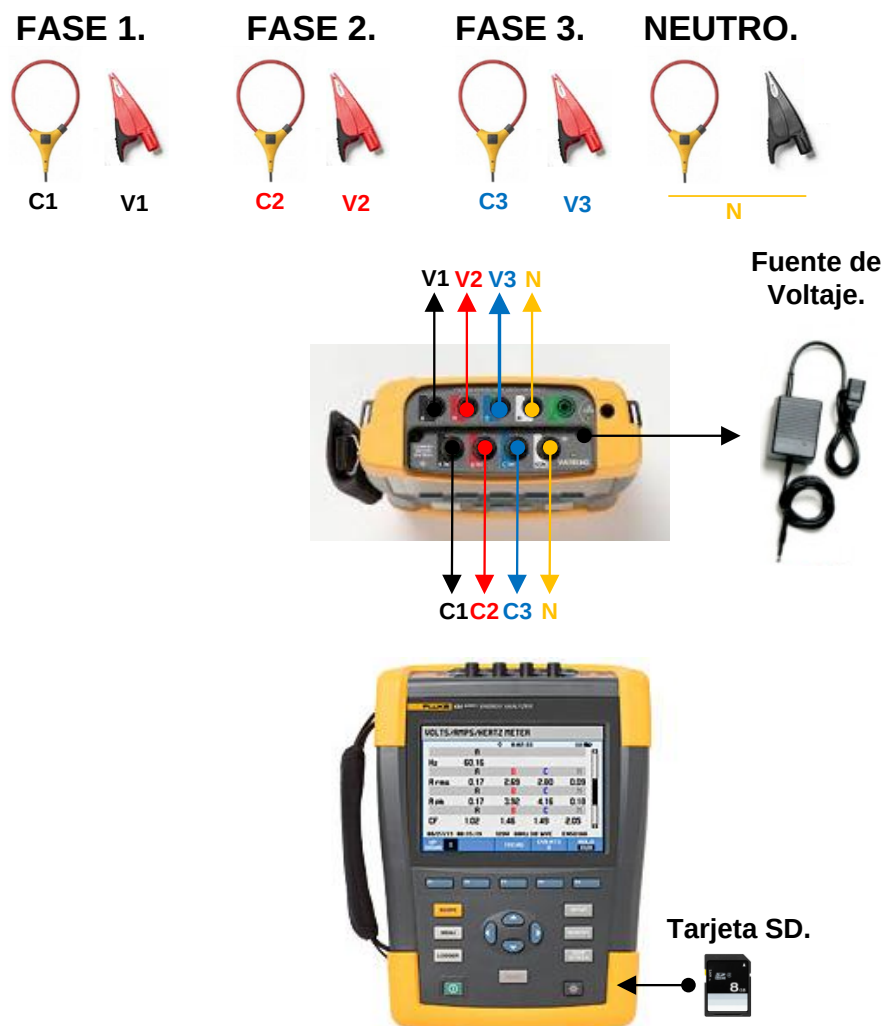


Fig 3. 4 Conexión de los elementos del Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Una vez conectadas las pinzas de voltaje y los sensores de corriente procedemos a encender el equipo y a conectarlo a su fuente de alimentación para iniciar con la toma de muestras.

3.2 Evaluación de indicadores y parámetros de energía eléctrica.

Para realizar la evaluación de los diferentes parámetros eléctricos y de los indicadores de calidad de energía, se procedió a tomar como instrumento referencia un Fluke 435 conectado en paralelo con el instrumento prototipo que se desarrolló en el presente proyecto, instalados en el armario eléctrico ubicado en el edificio de Unidades Productivas, dentro del Campus de la UTPL, como se muestra en la Figura 3.5.



Fig 3. 5 Conexión en paralelo del Fluke 435 y el prototipo PQA.
Fuente: Realizado por el autor.

Se efectuó una comparación mediante gráficas entre las medias del Fluke 435 y del prototipo PQA, la comparación de su desviación estándar y la validación de estos datos por medio de diagramas de caja (Boxplot), para las mediciones se tomaron muestras cada 250 mili segundos durante 7 horas y 50 minutos para los parámetros eléctricos de voltaje, corriente y frecuencia que conformaron un vector de 101082 muestras, para la potencia activa, aparente y factor de potencia se tomaron muestras cada 250 mili segundos durante 6 horas que conformaron un vector de 71827 muestras, la prueba se realizó el 1 de Septiembre del 2016 desde las 7:44AM hasta las 8:44PM.

El instrumento de referencia Fluke 435 posee sus características principales con respecto a sus parámetros de medición, recordando que este equipo se encuentra certificado según la norma IEC61000-4-30: Ed2 Clase A, esto se muestra en la Tabla 3.1. Para un mayor detalle sobre este equipo nos dirigiremos al Anexo F del presente trabajo.

Tabla 3. 1 Parámetros de medición para el Fluke 435.

		Rango de medida	Resolución	Precisión
Frecuencia.		51,00 ... 69,00 Hz.	0,01 Hz.	± 0,1% de Fnom.
Vrms (CA+CC)		1 V a 1000 V fase a neutro	0,01 V	±0,1 % de la tensión nomina
Amperios (CA+CC)		5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ±5 cuentas
Parpadeo Plt, Pst.		0,00 ... 20,00	0,01	± 5%
Vatio		Pantalla de potencia real total y fundamental. Calcula el valor medio de potencia instantánea en un periodo de 10/12 ciclos por cada fase. Potencia activa total PT = P1 + P2 + P3.		
VA		Pantalla de potencia aparente total y fundamental. Calcula la potencia aparente mediante el valor Vrms x Arms durante un periodo de 10/12 ciclos.		
var		Pantalla de potencia reactiva fundamental. Calcula la potencia reactiva en componentes de secuencia positiva fundamental.		
Desequilibrios	Tensión	0,0 % a 20,0 %	0,1 %	± 0,1 %
	Amperios	0,0 % a 20,0 %	0,1 %	± 1 %
Incertidumbre del reloj de tiempo real.		No excederá los ± 20ms para 50 Hz y 16.7 ms para 60Hz, independientemente del intervalo total de medida.		
Incertidumbre para mediciones de tensión.		Debe ser al menos 4 veces mejor que ± 1 V, es decir de ± 0.25 V, que expresado como porcentaje de 230 V equivale a 0.1 %.		

Fuente: Tomado de [48].

Una vez que se realizó la toma de datos con el instrumento referencia y con el prototipo en el mismo lapso de tiempo, se validaron estas mediciones, para lo cual se realizó un test de Wilcoxon entre las mediciones del instrumento referencia y las mediciones del prototipo.

La prueba de los rangos con signo de Wilcoxon es una prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas, teniendo en cuenta esto se toma las siguientes ecuaciones para aplicar este método [49].

$$W_{sr}^{+} = \sum_{j=1}^N \Gamma_0(j).rank(|D_j|)$$

$$W_{sr}^{-} = \sum_{j=1}^N (1 - \Gamma_0(j)).rank(|D_j|)$$

Donde:

$$\Gamma_0(j) = \begin{cases} 1 & D_j > 0 \\ 0 & D_j < 0 \end{cases}$$

Teniendo en cuenta que el vector de muestras que resulto en la toma de mediciones esta entre las setenta a cien mil datos se optó por implementar una herramienta de Excel llamada XLSTAT 2016 [50], en la cual se procedió a desarrollar el test sin la necesidad de implementa ningún algoritmo en la plataforma LabVIEW.

3.2.1 Evaluación de los indicadores de calidad de energía eléctrica.

3.2.1.1 Nivel de voltaje.

3.2.1.1.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.6 y la Figura 3.7 se obtuvo la gráfica de los valores de nivel de voltaje del canal C del Fluke 435 y de la fase 1 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

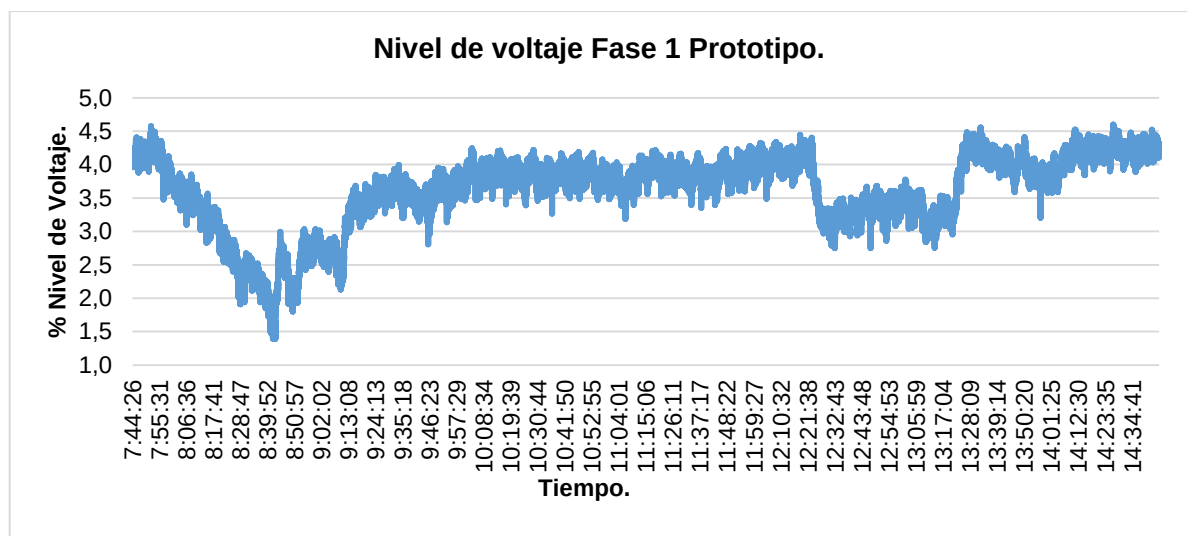


Fig 3. 6 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

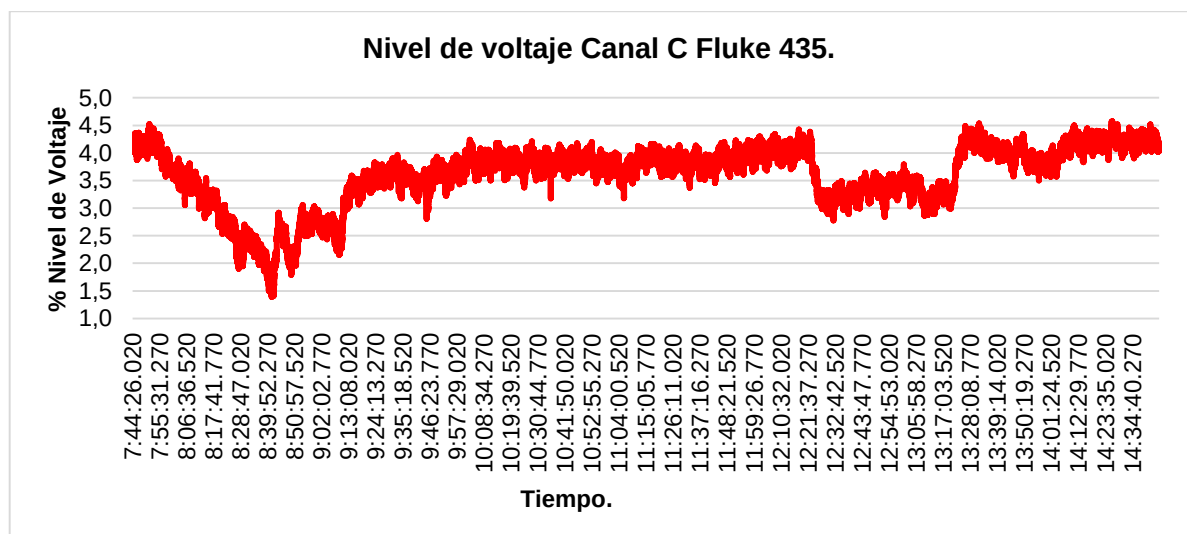


Fig 3. 7 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal C.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de nivel de voltaje en el canal C y la Fase 1, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.2

Tabla 3. 2 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Nivel de Voltaje Máximo.	Nivel de Voltaje Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	3,6291 %	0,5503 %	4,5969 %	1,3914 %
Canal C - Fluke 435	3,6195 %	0,5478 %	4,575 %	1,3916 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.8 nos indica una media de 3,6291 % con valores entre los 4,5969 % hasta el 1,3914 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 3,6195 % con valores desde 4,575 % hasta 1,3916 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

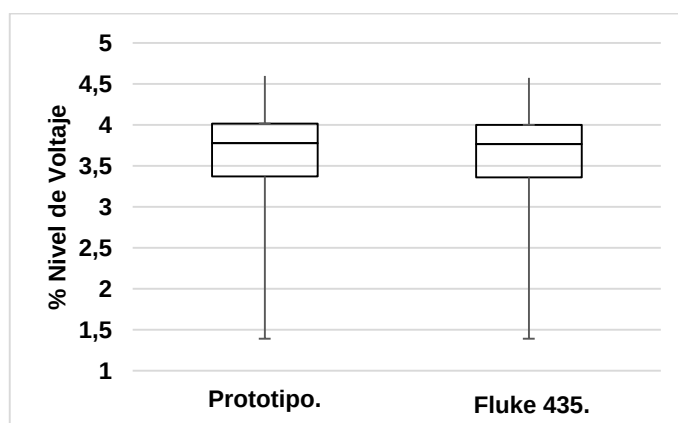


Fig 3. 8 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.

Fuente: Realizado por el autor.

3.2.1.1.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.9 y la Figura 3.10 se obtuvo la gráfica de los valores de nivel de voltaje del canal B del Fluke 435 y de la fase 3 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

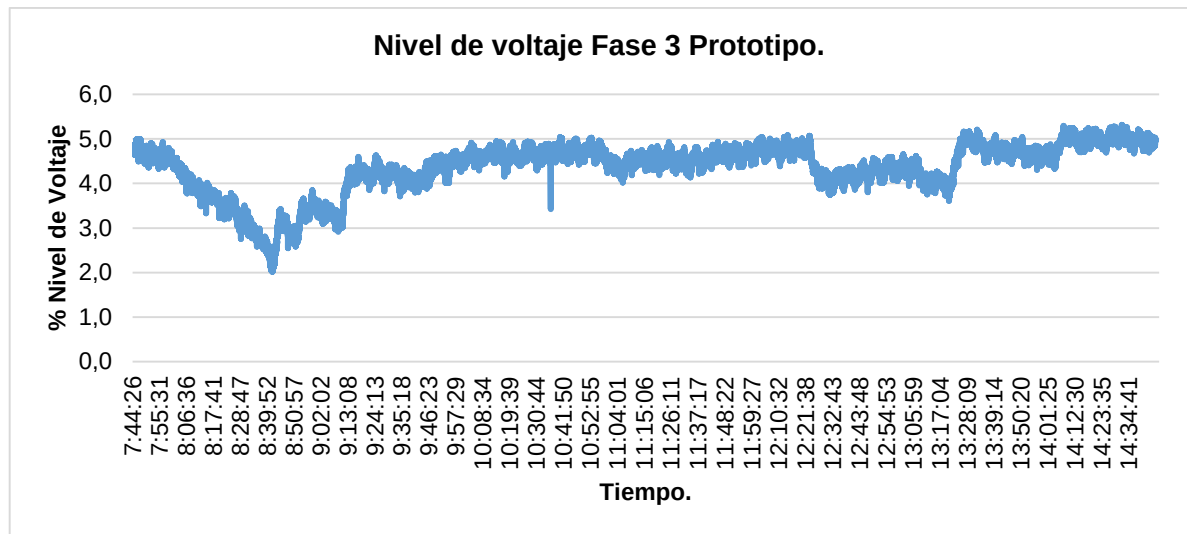


Fig 3. 9 Valores del nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

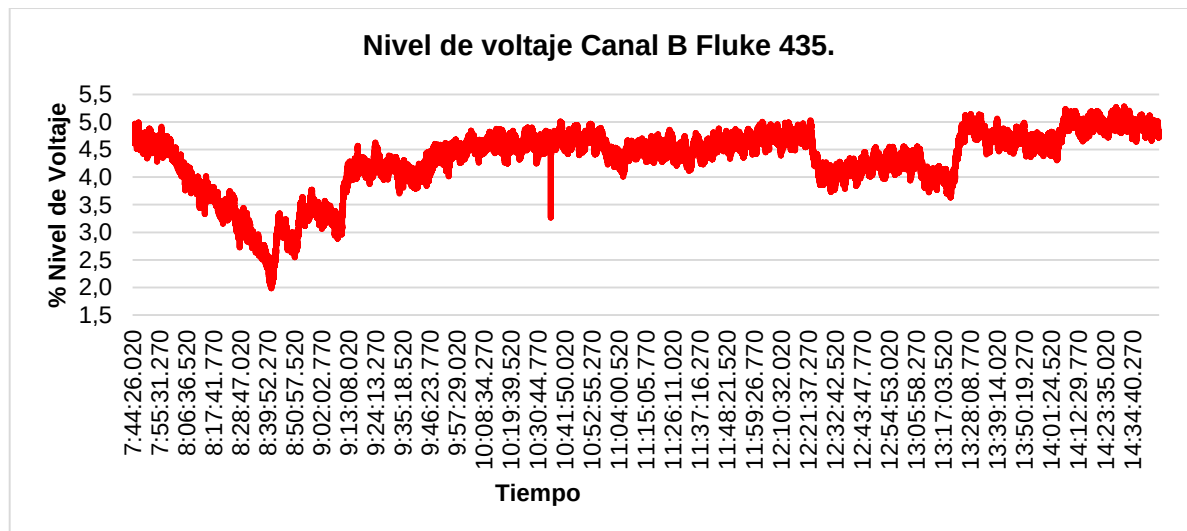


Fig 3. 10 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal B.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de nivel de voltaje en el canal B y la Fase 3, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.3.

Tabla 3. 3 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F3 del Prototipo y el canal B del Fluke 435

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Nivel de Voltaje Máximo.	Nivel de Voltaje Mínimo.
Fase 3 - Prototipo.	4,3597 %	0,5637 %	5,3137 %	2,0188 %
Canal B - Fluke 435	4,3276 %	0,5625 %	5,2833 %	1,9833 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.11 nos indica una media de 4,3597 % con valores entre los 5,3137 % hasta los 2,0188 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 4,3276 % con valores desde 5,2833 % hasta 1,9833 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

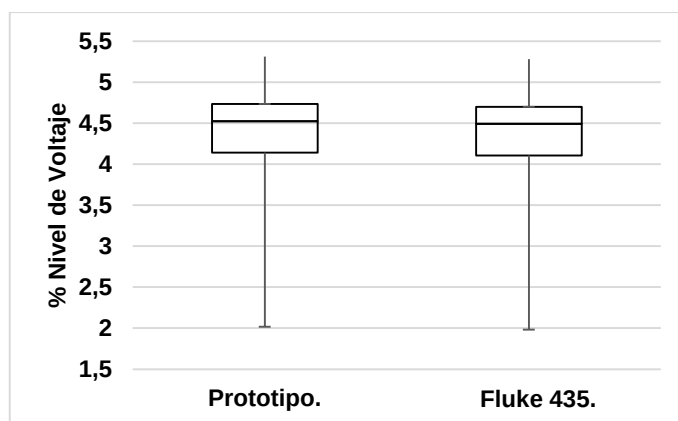


Fig 3. 11 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal B y el prototipo F3.
Fuente: Realizado por el autor

3.2.1.1.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.12 y la Figura 3.13 se obtuvo la gráfica de los valores de nivel de voltaje del canal A del Fluke 435 y de la fase 2 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, destacamos en estas figuras a partir de las 9:13 hasta las 12:21 tenemos una variación mínima de voltaje en esta fase.

A continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

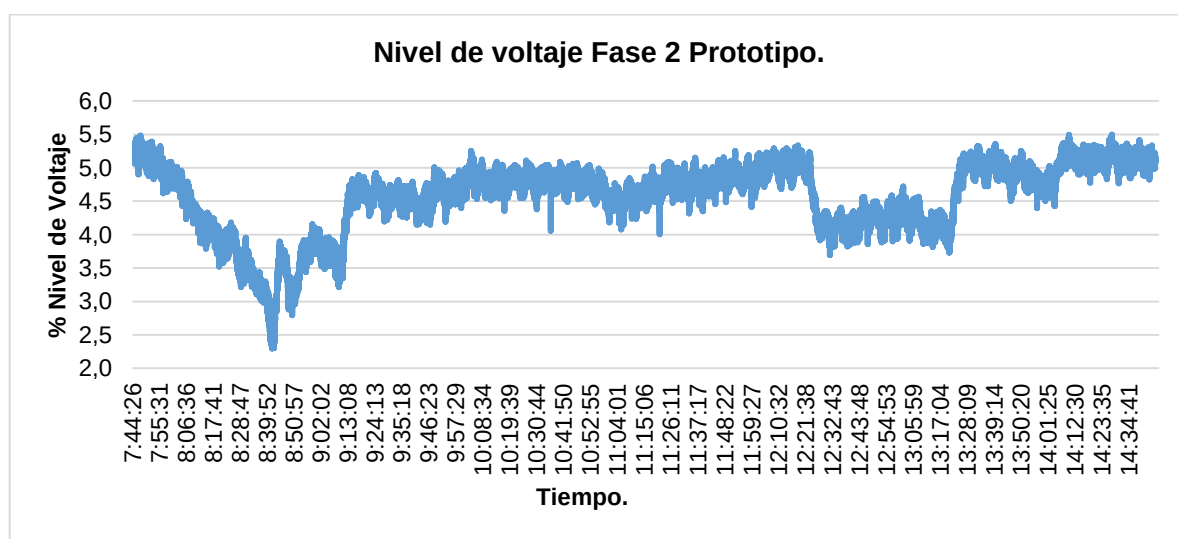


Fig 3. 12 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Prototipo Fase 2.
Fuente: Realizado por el autor.

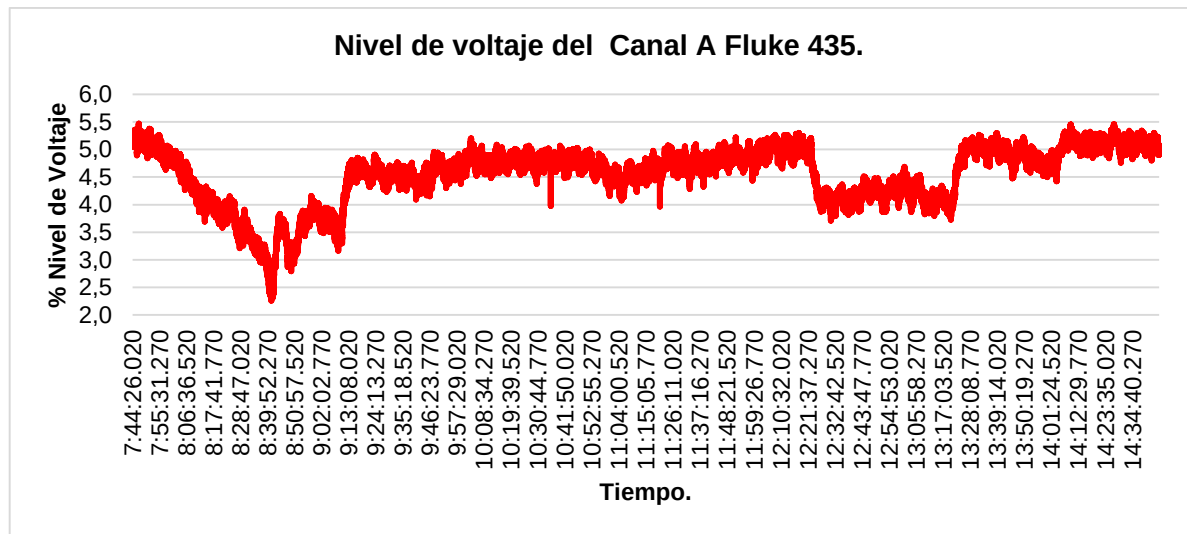


Fig 3. 13 Valores de nivel de voltaje obtenidos por el Fluke 435 canal A.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de nivel de voltaje en el canal A y la Fase 2, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.4

Tabla 3. 4 Comparación del nivel de voltaje obtenido en la F2 del Prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Nivel de Voltaje Máximo.	Nivel de Voltaje Mínimo.
Fase 2 - Prototipo.	4,5818 %	0,5184 %	5,4937 %	2,2945 %
Canal A - Fluke 435	4,5595 %	0,5169 %	5,4666 %	2,2583 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.14 nos indica una media de 4,5818 % con valores entre los 5,4937 % hasta los 2,2945 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 4,5595 % con valores desde 5,4666 % hasta 2,2583 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

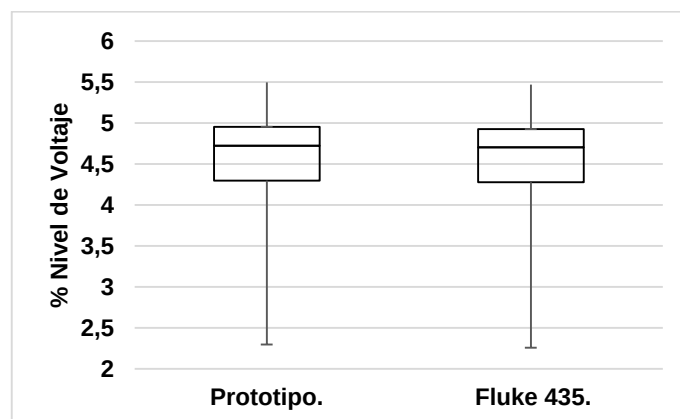


Fig 3. 14 Boxplot entre el nivel de voltaje del Fluke 435 Canal A y el prototipo F2.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.1.2 Desbalance de tensión.

En la Figura 3.15 y la Figura 3.16 se obtuvo la gráfica de los valores de desbalance de tensión del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

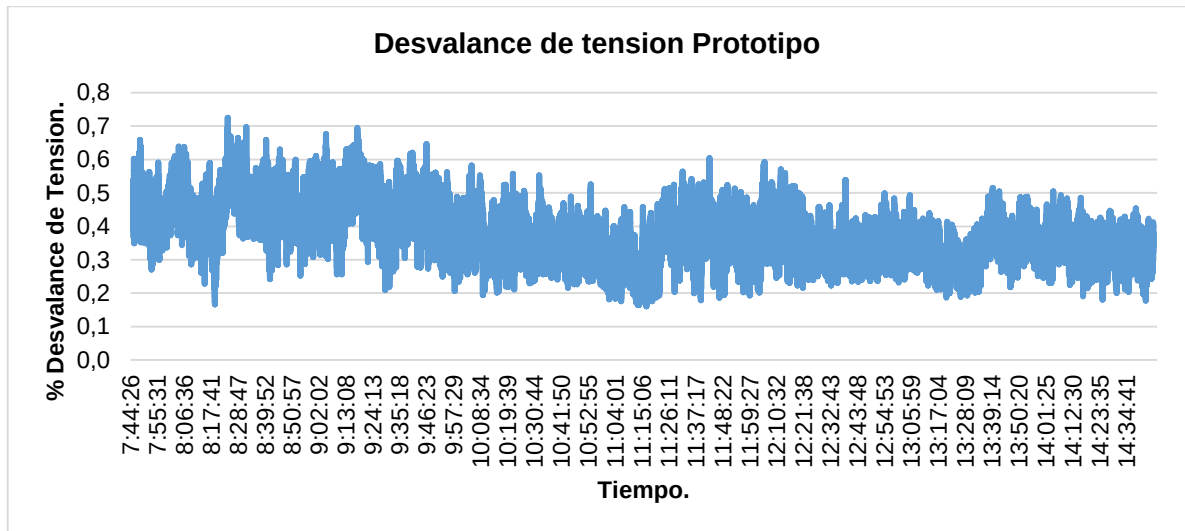


Fig 3. 15 Valores de desbalance de tensión obtenidos por el Prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

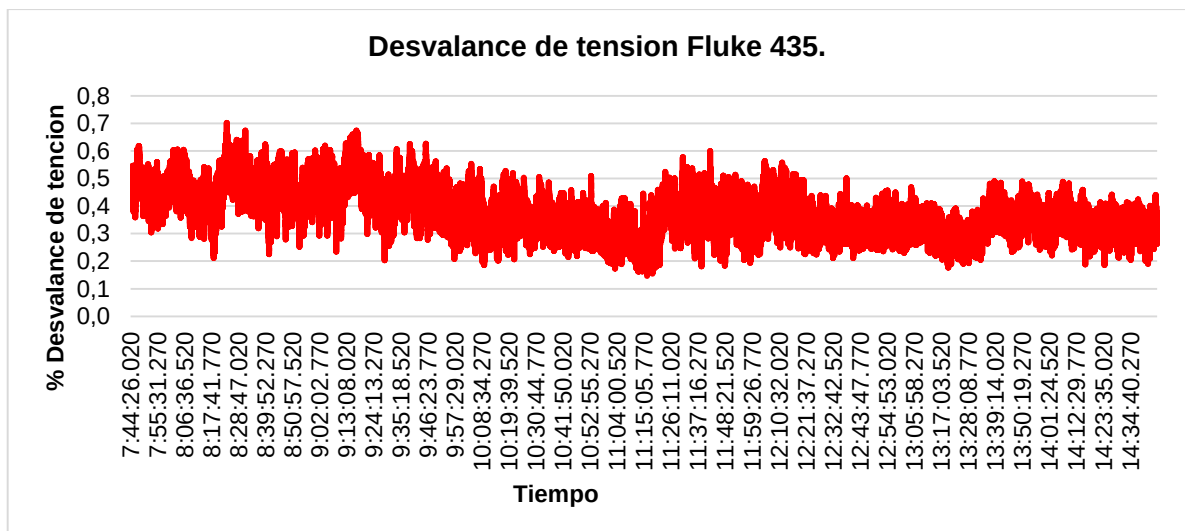


Fig 3. 16 Valores de desbalance de tensión obtenidos por el Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de desbalance de tensión en los equipos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Comparación del desbalance de tensión obtenido en el Prototipo y el Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Desbalance de tensión Máximo.	Desbalance de tensión Mínimo.
Prototipo.	0,3818 %	0,0796 %	0,7250%	0,1601 %
Fluke 435	0,3801 %	0,0794 %	0,7015 %	0,1465 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.17 nos indica una media de 0,3818 % con valores entre los 0,7250 % a los 0,1601 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 0,3801 % con valores desde 0,7015 % a los 0,1465 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

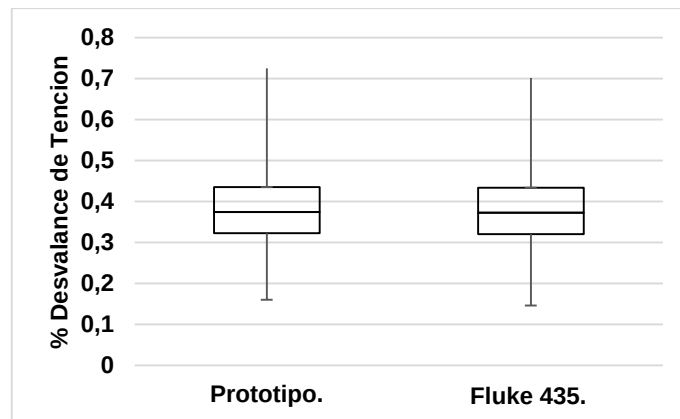


Fig 3. 17 Boxplot entre el desbalance de tensión del Fluke 435 canal A,B,C y el prototipo F 1,2,3.

Fuente: Realizado por el autor.

3.2.1.3 Desequilibrio de corriente.

En la Figura 3.18 y la Figura 3.19 se obtuvo la gráfica de los valores de desequilibrio de corriente del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

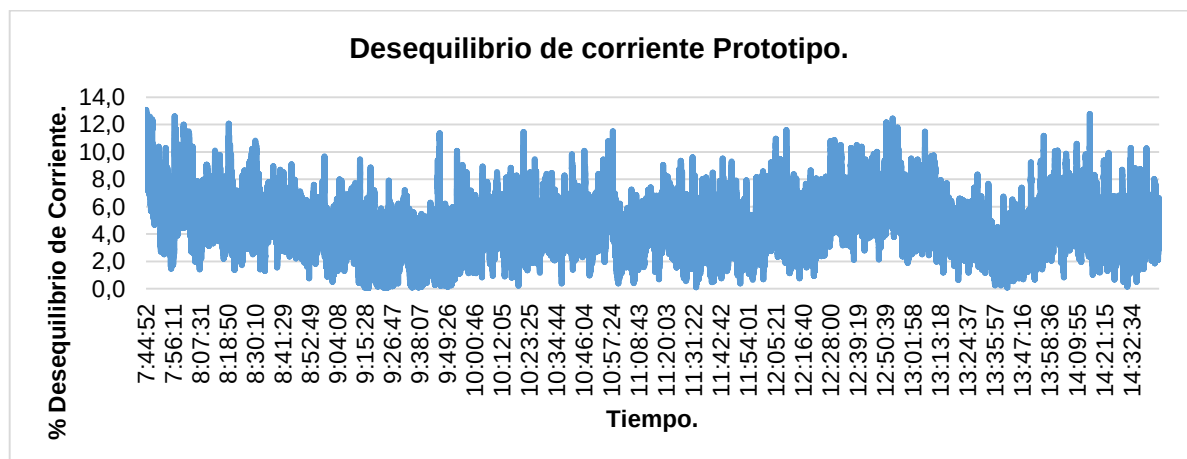


Fig 3. 18 Valores de desequilibrio de corriente obtenidos por el Prototipo.

Fuente: Realizado por el autor.

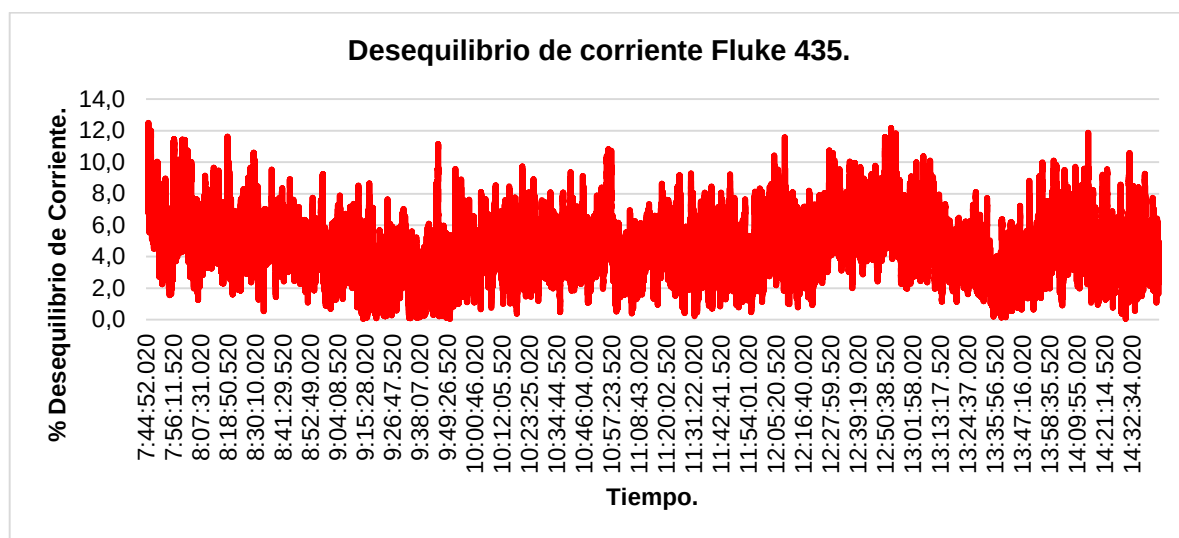


Fig 3. 19 Valores de desequilibrio de corriente obtenidos por el Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de desequilibrio de corriente en los equipos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Comparación del desequilibrio de corriente obtenido en el Prototipo y el Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Desviación Estándar.	Desequilibrio de Corriente Máximo.	Desequilibrio de Corriente Mínimo.
Prototipo.	4,2747 %	1,7979 %	13,0571 %	0,0269 %
Fluke 435	4,2989 %	1,7526 %	12,4936 %	0,0506 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.20 nos indica una media de 4,2747 % con valores entre los 13,0571 % hasta los 0,0269 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 4,2989 % con valores desde 12,4936 % hasta 0,0506 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

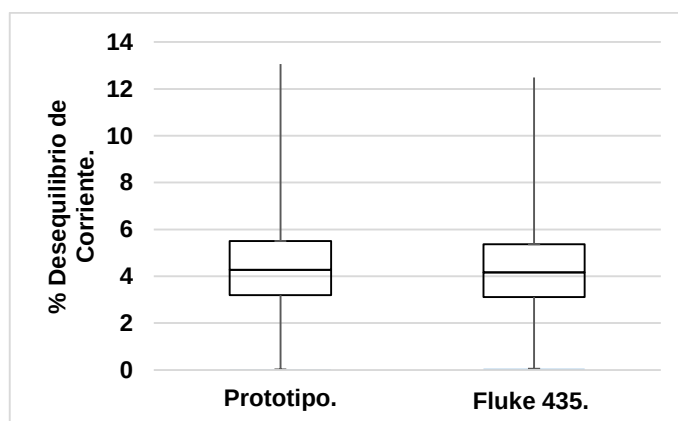


Fig 3. 20 Boxplot entre el desequilibrio de corriente del Fluke 435 Canal A,B,C y el prototipo F 1,2,3.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.1.4 Factor de potencia (FP).

3.2.1.4.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.21 y la Figura 3.22 se obtuvo la gráfica de los valores de factor de potencia del canal C del Fluke 435 y de la fase 1 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

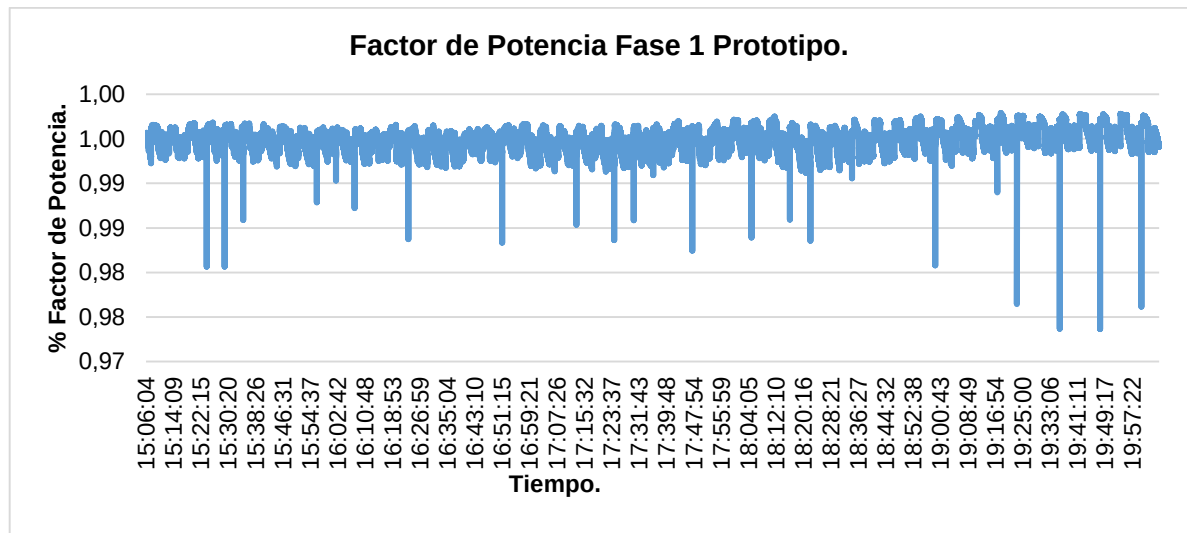


Fig 3. 21 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

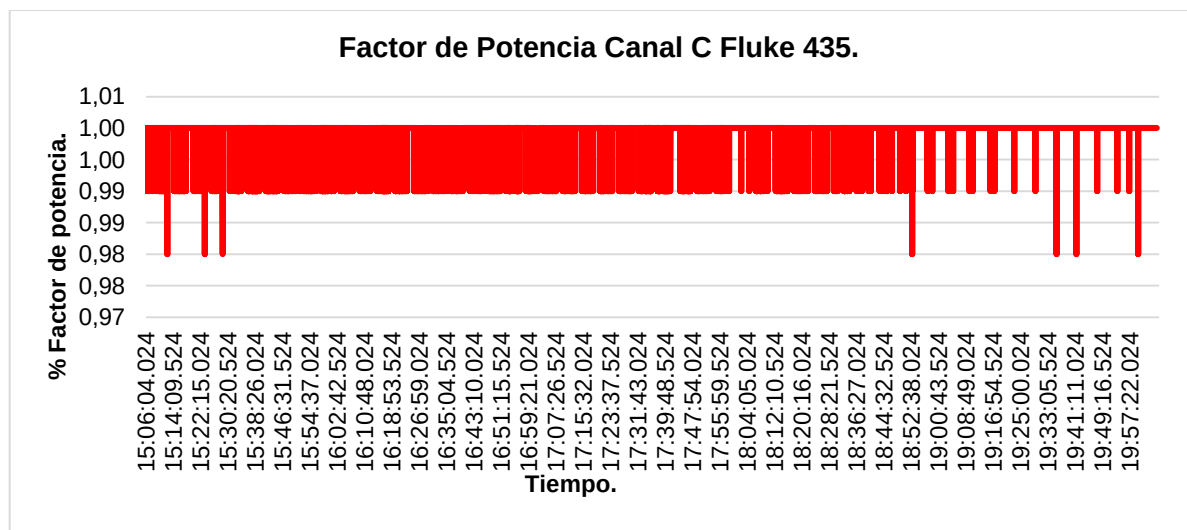


Fig 3. 22 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal C.
Fuente: Realizado por el autor

Obtenidas las señales de factor de potencia en el canal C y la Fase 1, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.7.

Tabla 3. 7 Comparación del FP obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Factor de potencia Máximo.	Factor de potencia Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	0.9948 %	0.0011%	0.9948 %	0.9978 %
Canal C - Fluke 435	1 %	0,0042 %	1 %	0.98 %

Fuente: Realizado por el autor

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.23 nos indica una media de 0.9948 % con valores entre los 0.974% hasta los 0.9978 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 1% con valores desde 0.98 hasta 1 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

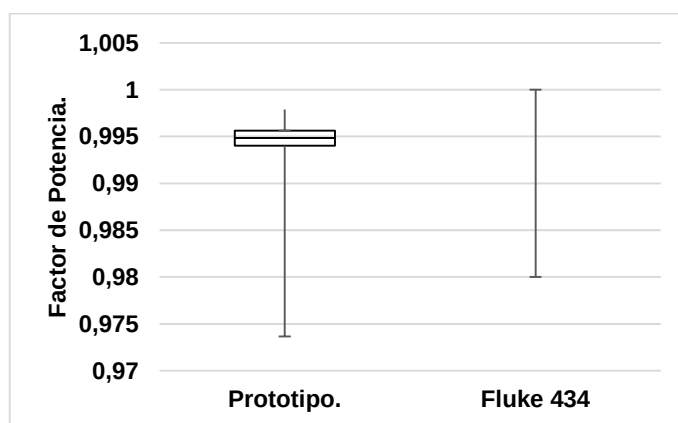


Fig 3. 23 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.
Fuente: Realizado por el autor

Fluke 435.

3.2.1.4.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.24 y la Figura 3.25 se obtuvo la gráfica de los valores de factor de potencia del canal B del Fluke 435 y de la fase 3 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

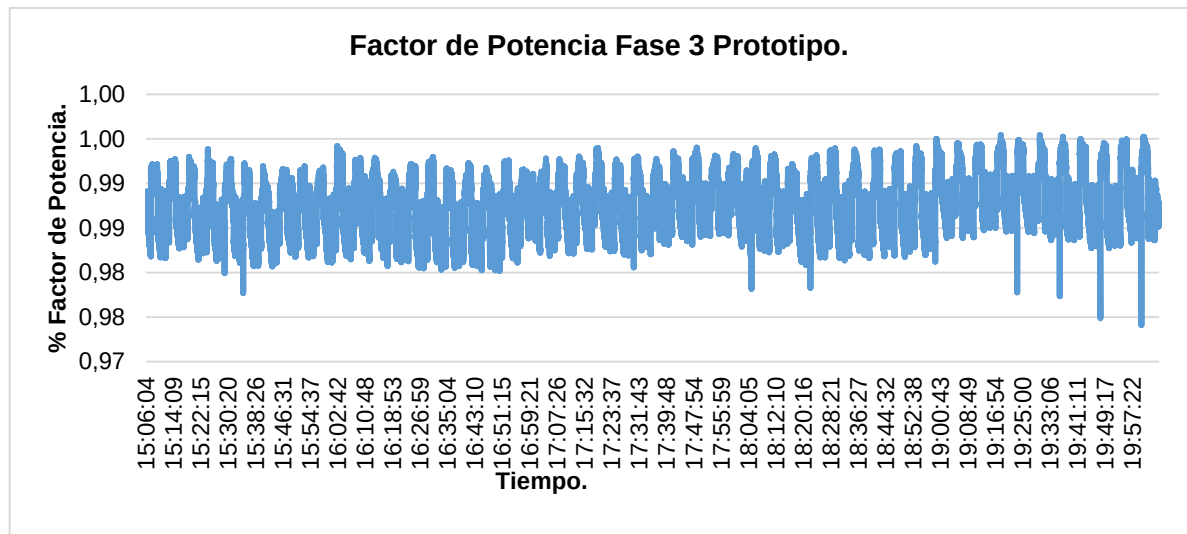


Fig 3. 24 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

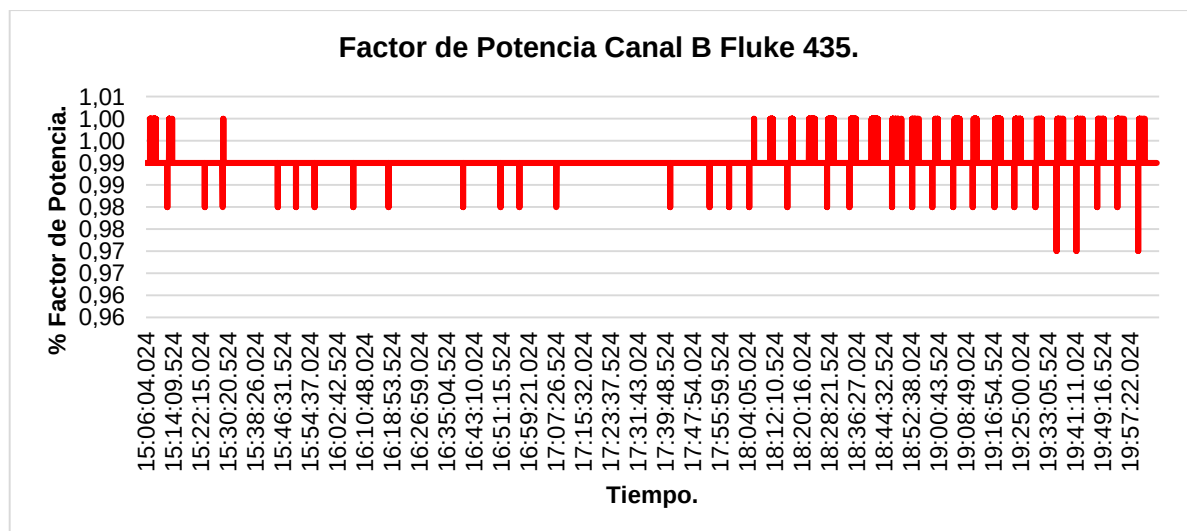


Fig 3. 25 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal B.
Fuente: Realizado por el autor

Obtenidas las señales de factor de potencia en el canal B y la Fase 3, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.8.

Tabla 3. 8 Comparación del FP obtenido en la F3 del Prototipo y el canal B del Fluke 435

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Factor de potencia Máximo.	Factor de potencia Mínimo.
Fase 3 Prototipo.	0.9870 %	0.0030 %	0.9954 %	0.9741 %
Canal B Fluke 435	0.99 %	0.0025 %	1 %	0.97 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.26 nos indica una media de 0.9970 % con valores entre los 0.9741 % hasta los 0.9948 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 0.99% con valores desde 0.999 % hasta 0.97 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el Fluke 435.

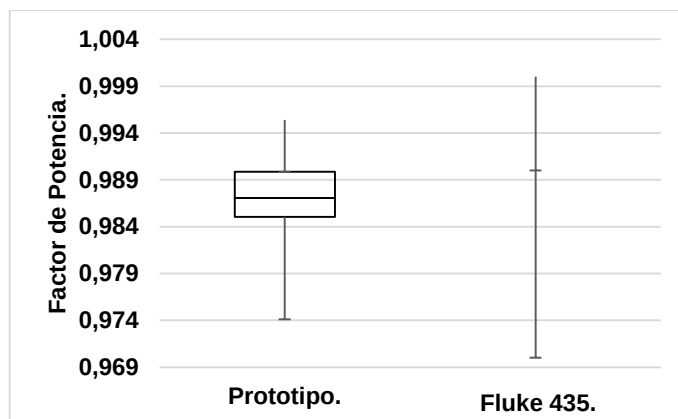


Fig 3. 26 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal B y el prototipo F3.
Fuente: Realizado por el autor

3.2.1.4.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.27 y la Figura 3.28 se obtuvo la gráfica de los valores de factor de potencia del canal A del Fluke 435 y de la fase 2 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

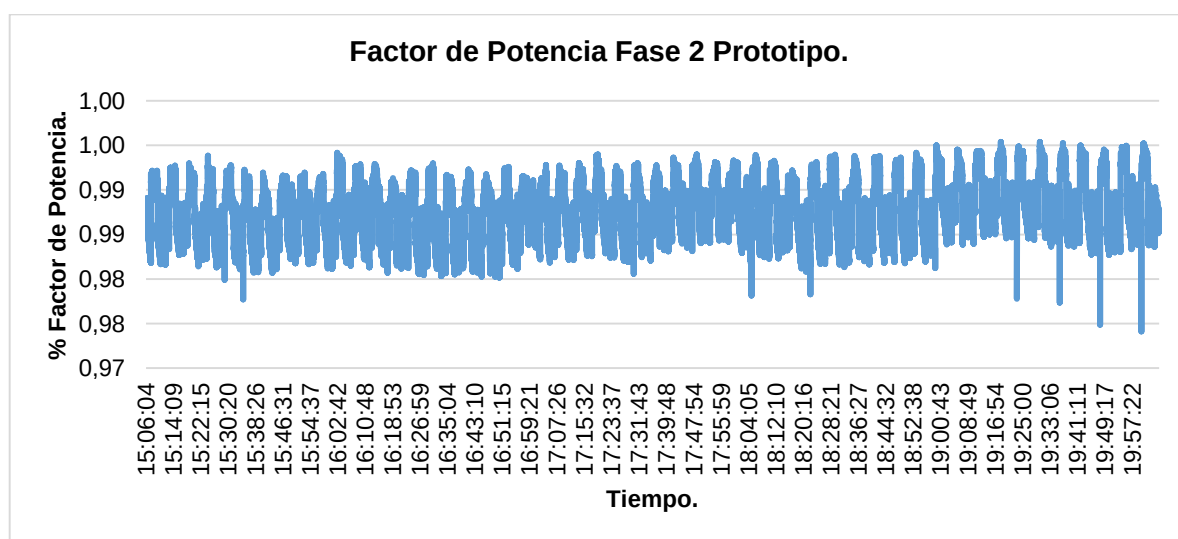


Fig 3. 27 Valores de factor de potencia obtenidos por el Prototipo Fase 2.
Fuente: Realizado por el autor

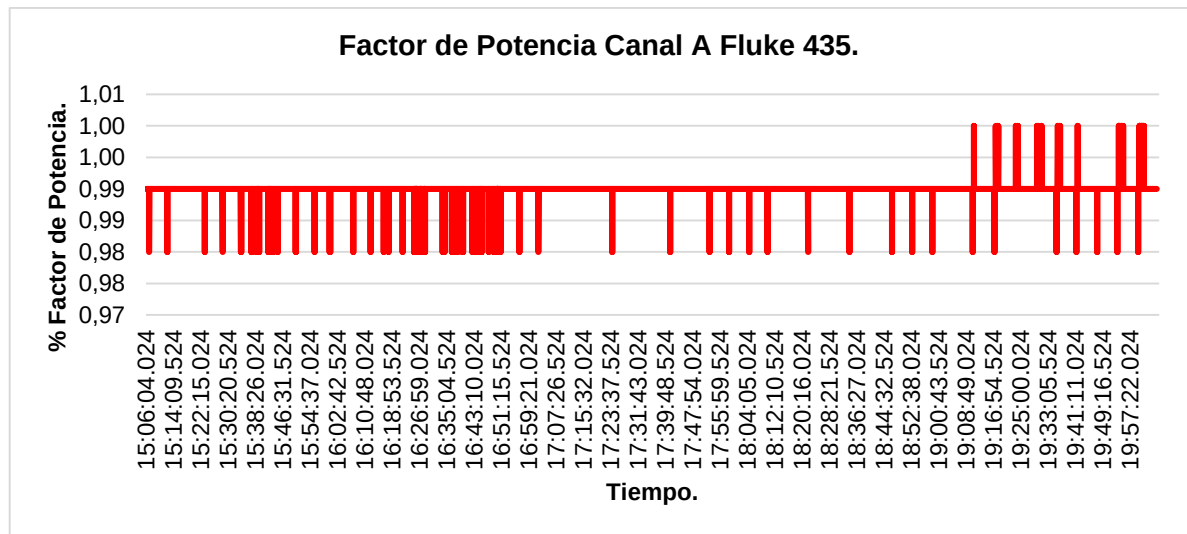


Fig 3. 28 Valores de factor de potencia obtenidos por el Fluke 435 canal A.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de factor de potencia en el canal A y la Fase 2, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Comparación del FP obtenido en la F2 del Prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Factor de potencia Máximo.	Factor de potencia Mínimo.
Fase 2 - Prototipo.	0.9970 %	0.0003 %	0.9954 %	0.9741 %
Canal A - Fluke 435	0.99 %	0.0006 %	1 %	0.98 %

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.29 nos indica una media de 0.9970 % con valores entre los 0.9741% hasta los 0.9954 % aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 0.99% con valores desde 0.98 hasta 1 % para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

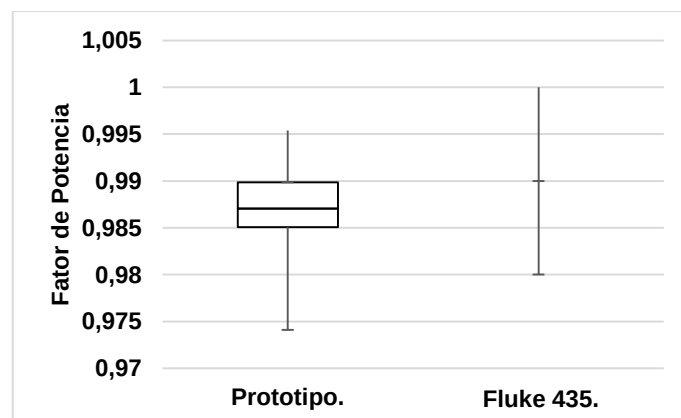


Fig 3. 29 Boxplot entre el FP del Fluke 435 Canal A y el prototipo F2.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2 Evaluación de los parámetros eléctricos.

3.2.2.1 Voltajes RMS.

3.2.2.1.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.30 y la Figura 3.31 se obtuvo la gráfica de los valores de voltaje RMS del canal C del Fluke 435 y de la fase 1 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

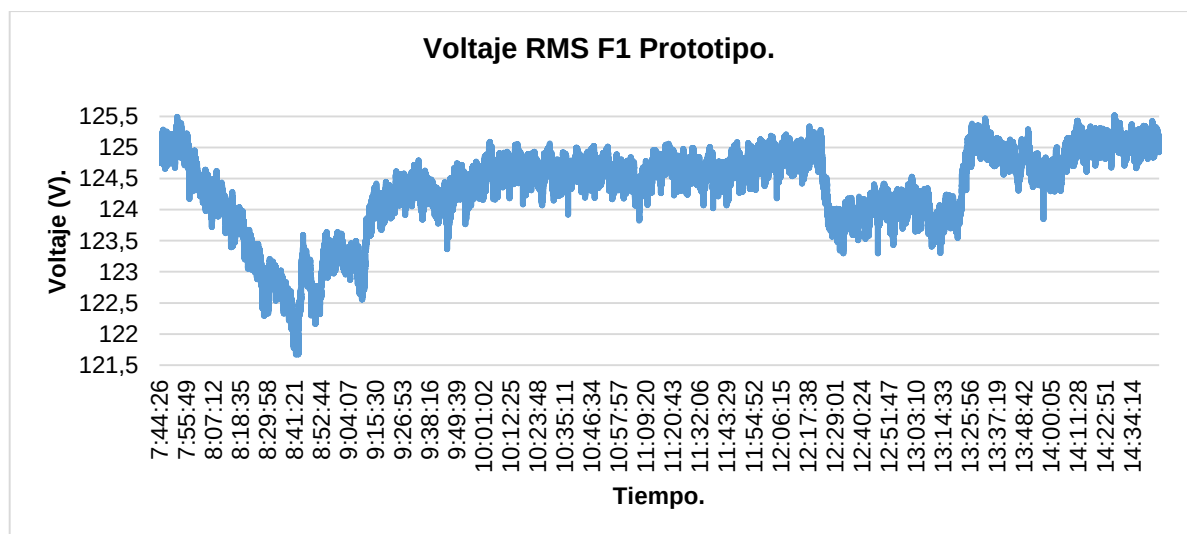


Fig 3. 30 Valores de voltaje RMS obtenidos por el Prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

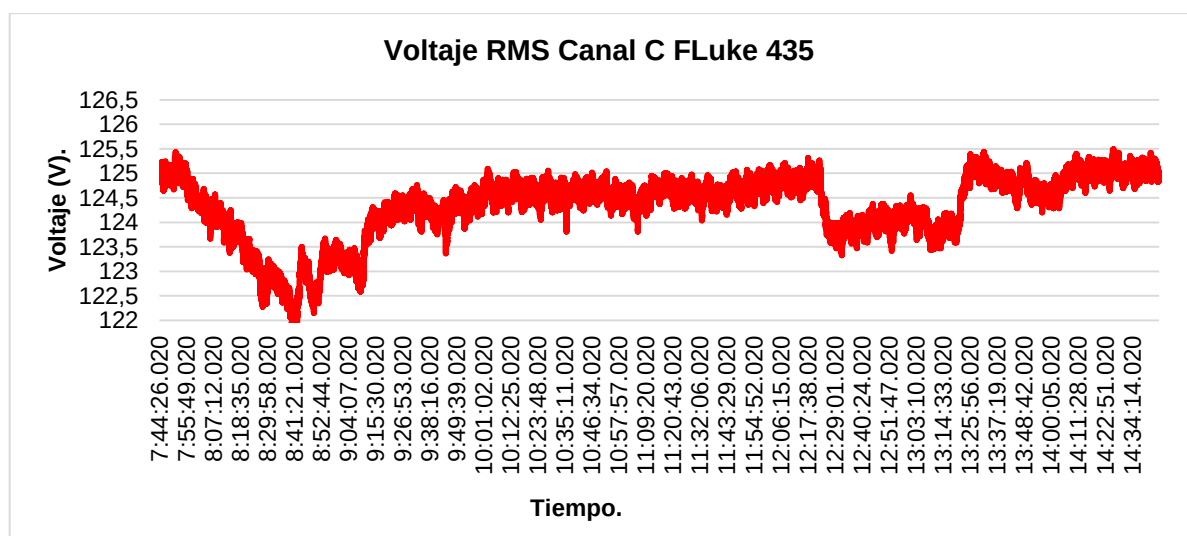


Fig 3. 31 Señal de voltaje RMS Canal C Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor

Obtenidas las señales de voltaje RMS en el canal C y la Fase 1, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.10.

Tabla 3. 10 Comparación del voltaje RMS obtenido en la F1 del Prototipo y el canal C del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Voltaje Máximo.	Voltaje Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	124.3537 V.	0.6604	125.5163 V	121.6697 V
Canal C - Fluke 435.	124.3458 V.	0.6574	125.49 V	121.67 V

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.32 nos indica una media de 124.3537 V con valores entre los 125.5163 V hasta los 121.6697 V aproximadamente con valores atípicos entre los 121,7 V hasta los 123.4 V para el prototipo, y con una media de 124.3458 V con valores desde 125.49 V hasta 121.67 V para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 121,7 V hasta los 123.4 V.

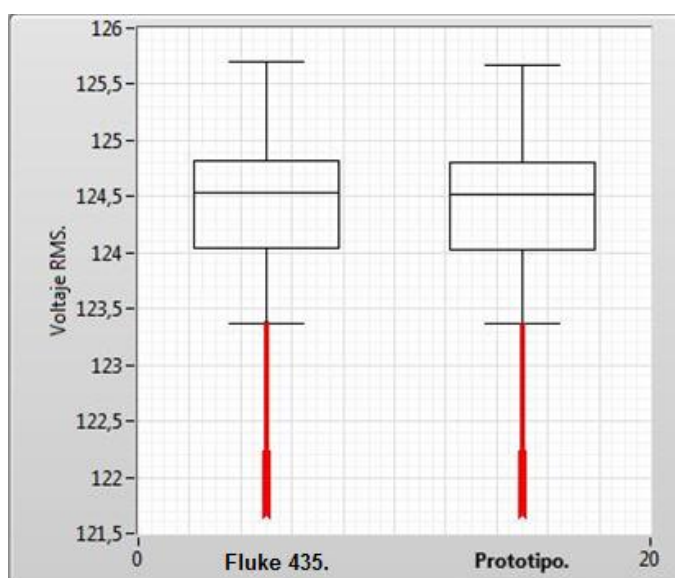


Fig 3. 32 Boxplot entre el voltaje RMS del Fluke 435 Canal C y el prototipo F1.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.1.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.33 y la Figura 3.34 se obtuvo la gráfica de los valores de voltaje RMS del canal B del Fluke 435 y de la fase 3 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

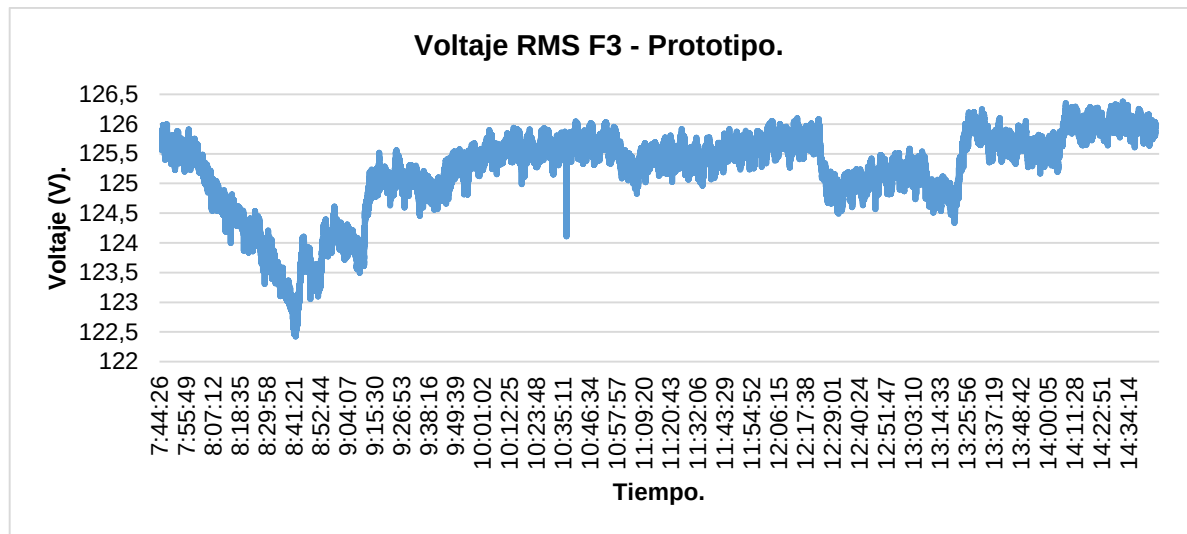


Fig 3. 33 Señal de voltaje RMS obtenida por el Prototipo F3.
Fuente: Realizado por el autor

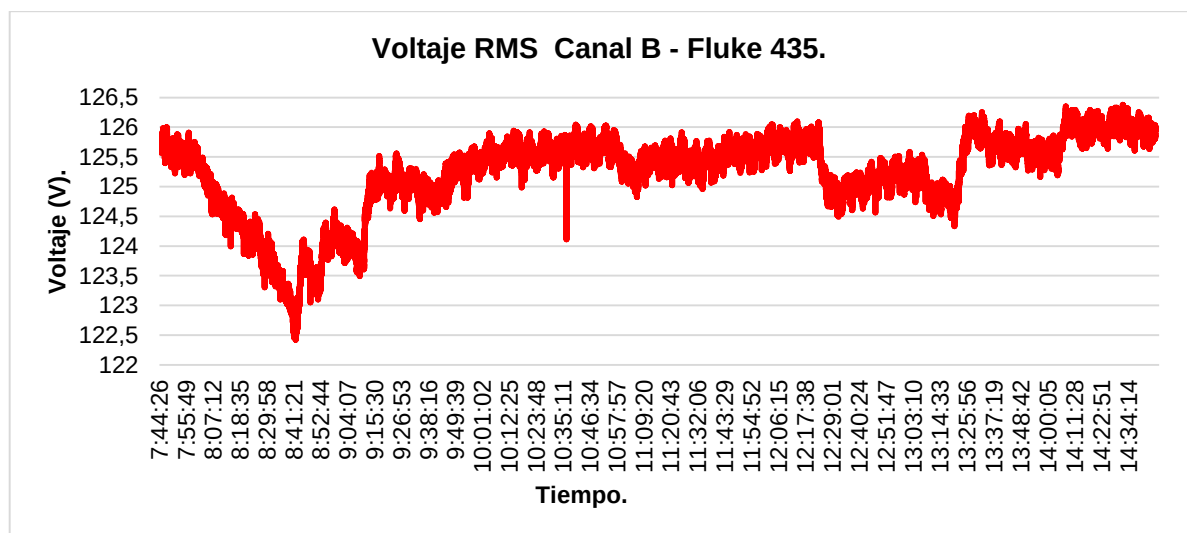


Fig 3. 34 Señal de voltaje RMS Canal B Fluke 435
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de voltaje RMS en el canal B y la Fase 3, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.11.

Tabla 3. 11 Comparación Del voltaje RMS obtenido en la F3 del prototipo y el canal B del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Voltaje Máximo.	Voltaje Mínimo.
Fase 3 - Prototipo.	125,2305 V.	0,6765	126,3764 V	122,42263 V
Canal B - Fluke 435.	125,2311 V.	0.6550	126.3400 V	122.3800 V

Fuente: Realizado por el autor

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.35 nos indica una media de 124.2305 V con valores entre los 126.3764 V hasta los 122.4263 V aproximadamente con valores atípicos entre los 122,4 V hasta los 124.4 V para el prototipo, y con una media de 125.2311 V con valores desde 126.34 V hasta 122.38 V para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 122.4 V hasta los 124.4 V.

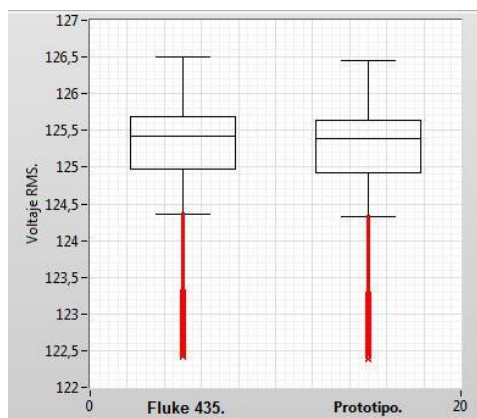


Fig 3. 35 Boxplot entre el voltaje RMS de Fluke 435 Canal B y el prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.1.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.36 y la Figura 3.37 se obtuvo la gráfica de los valores de voltaje RMS del canal A del Fluke 435 y de la fase 2 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

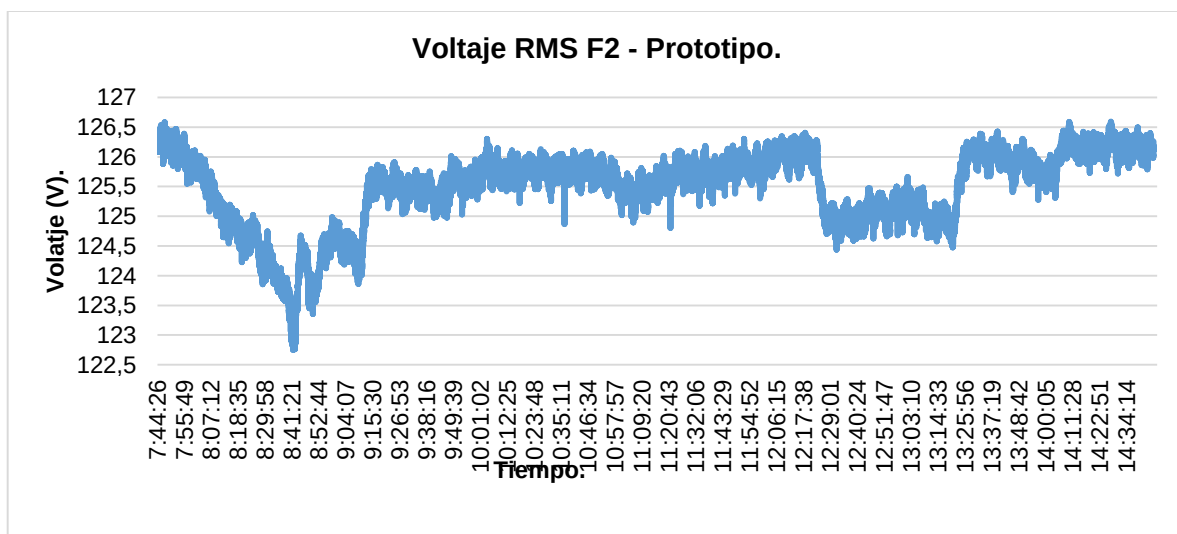


Fig 3. 36 Señal de voltaje RMS obtenida por el Prototipo F2.
Fuente: Realizado por el autor.

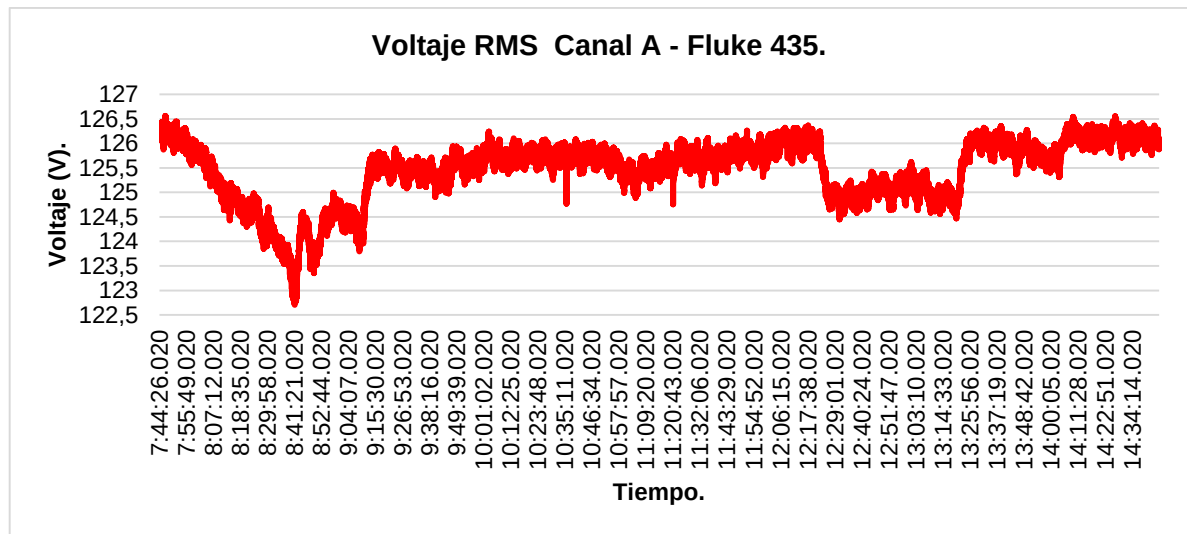


Fig 3. 37 Señal de voltaje RMS Canal A Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de voltaje RMS en el canal A y la Fase 2, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.12.

Tabla 3. 12 Comparación del voltaje RMS obtenido en la F2 del prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Voltaje Máximo.	Voltaje Mínimo.
Fase 2 - Prototipo.	125,4970 V.	0,6221	126,5924 V	122,7534 V
Canal A - Fluke 435	125.4702 V.	0.6202	126.5600 V	122.7100 V

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.38 nos indica una media de 125,4970 V con valores entre los 126,592 V a los 122,753 V aproximadamente, con valores atípicos entre los 122,7 V a los 124.5 V para el prototipo, y con una media de 125.4702 V con valores desde 126.5600 V a los 122.7100 V para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 122.7 V a los 124.5 V.

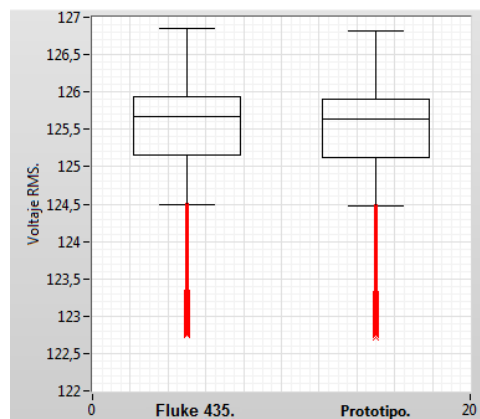


Fig 3. 38 Boxplot entre el voltaje RMS del Fluke 435 Canal A y el prototipo Fase 2.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.1.4 Comparación Canal Neutro Fluke 435 y Neutro Prototipo.

En la Figura 3.39 y la Figura 3.40 se obtuvo la gráfica de los valores de voltaje RMS del canal Neutro del Fluke 435 y del Neutro en el prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

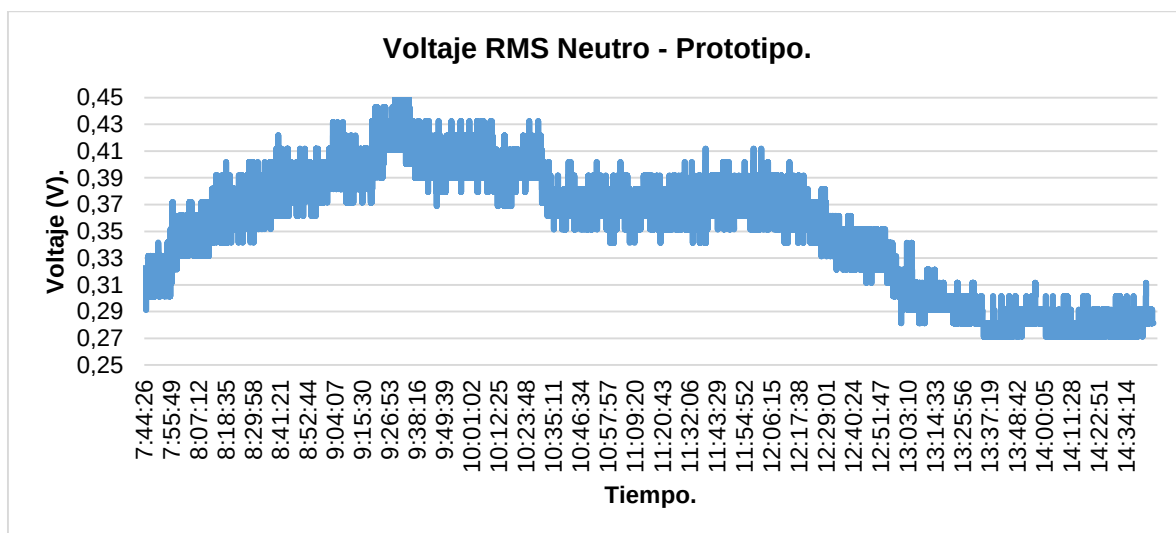


Fig 3. 39 Señal de voltaje RMS obtenida en el neutro del prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

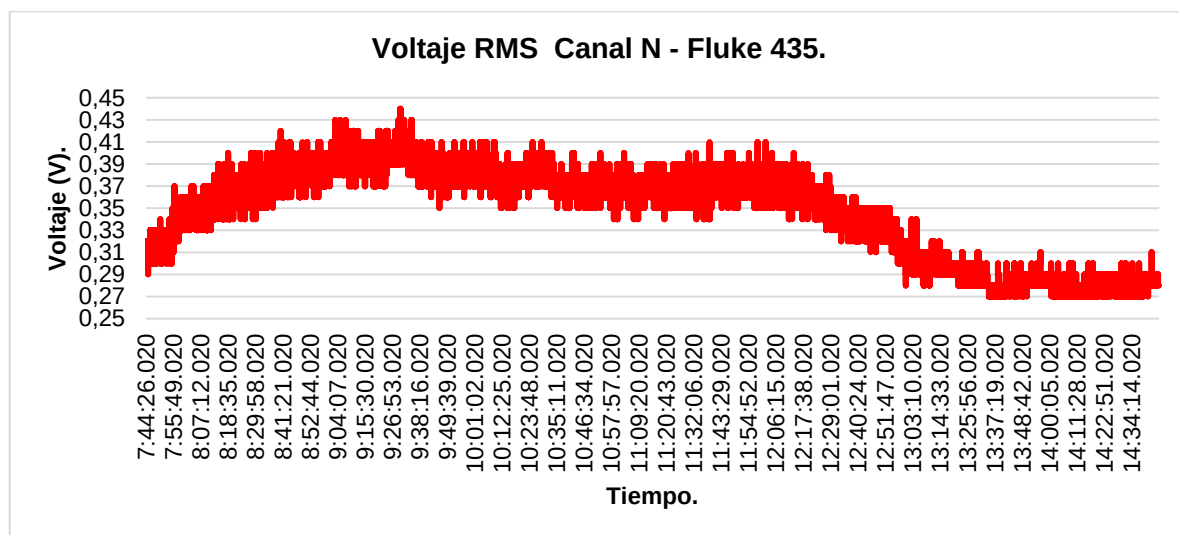


Fig 3. 40 Señal de voltaje RMS Canal N Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de voltaje RMS en Neutro se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.13.

Tabla 3. 13 Comparación del voltaje RMS en el Neutro del prototipo y el canal N del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Voltaje Máximo.	Voltaje Mínimo.
Neutro - Prototipo.	0.3465 V.	0.0405	0.4400 V	0.2700 V
Neutro - Fluke 435	0.3512 V.	0.0445	0.4638 V	0.2711 V

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.41 nos indica una media de 0.3465 V con valores entre los 0.4400 V hasta los 0.2700 V aproximadamente con la ausencia de valores atípicos para el prototipo, y con una media de 0.3512 V valores desde 126.5600 V hasta 122.7100 V para el Fluke 435 con la ausencia de valores atípicos.

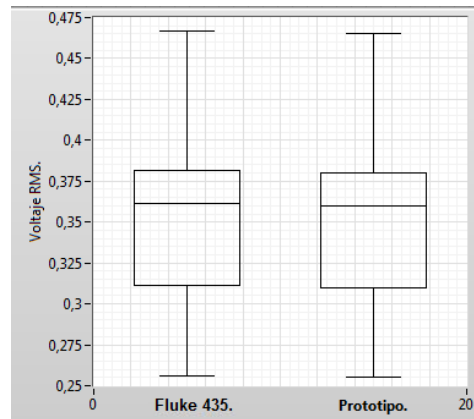


Fig 3. 41 Boxplot entre el Voltaje RMS de Fluke 435 Canal N y el Prototipo Neutro.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.2 Corrientes RMS.

3.2.2.2.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.42 y la Figura 3.43 se obtuvo la gráfica de los valores de corriente RMS del canal C del Fluke 435 y de la fase 1 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

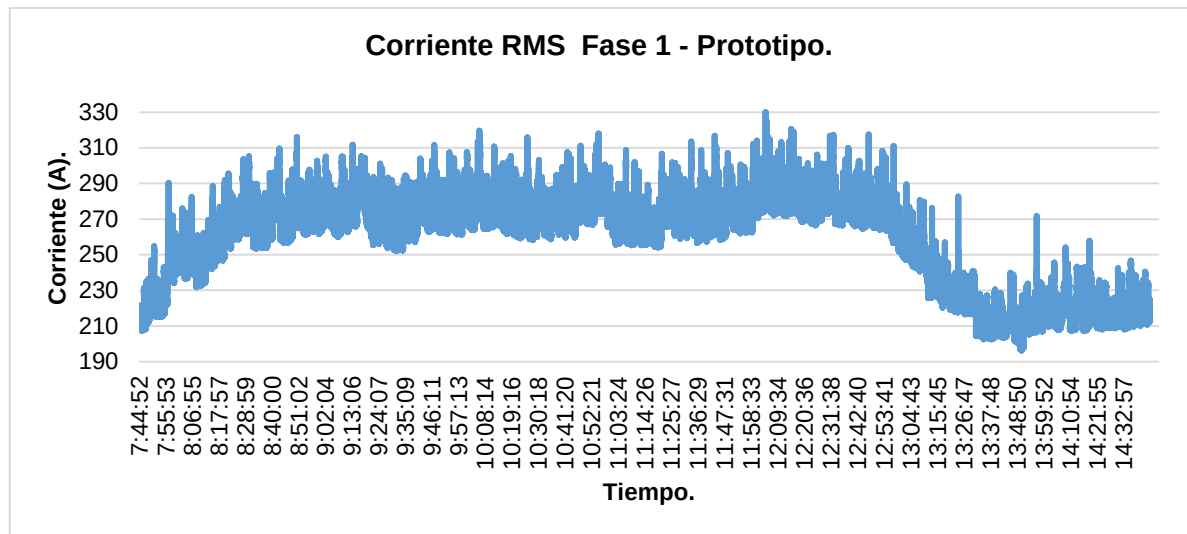


Fig 3. 42 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 1 del prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

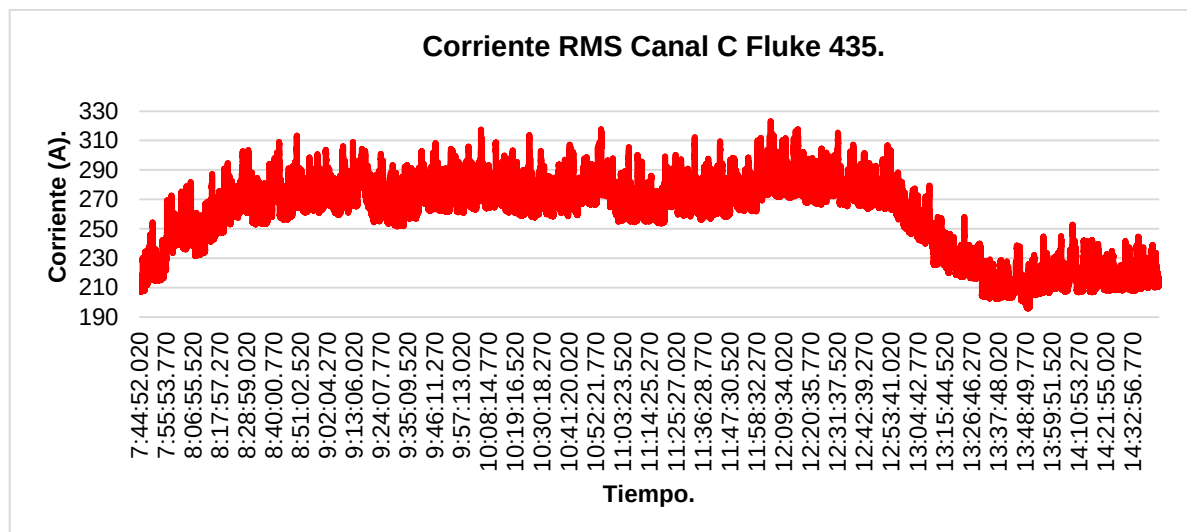


Fig 3. 43 Señal de corriente RMS Canal C Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de corriente RMS en el canal C y la Fase 1, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.14.

Tabla 3. 14 Comparación de corriente RMS obtenida en la F1 prototipo y el canal C del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Corriente Máximo.	Corriente Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	266.5140 A	330.0378 A	192.2396 A
Canal C - Fluke 435	265.7000 A	323.0000 A	195.7000 A

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.44 nos indica una mediana de 266.5140 A con valores entre los 330.0378 A a los 192.2396 A aproximadamente, con valores atípicos entre 210 A a los 195 A para el prototipo, y con una mediana de 265.7000 A con valores desde 323.0 A a los 195.7 A para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 210 A a los 195 A.

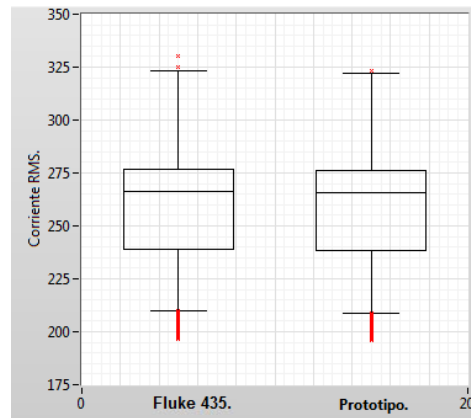


Fig 3. 44 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal C y el Prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.2.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.45 y la Figura 3.46 se obtuvo la gráfica de los valores de corriente RMS del canal C del Fluke 435 y de la fase 1 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

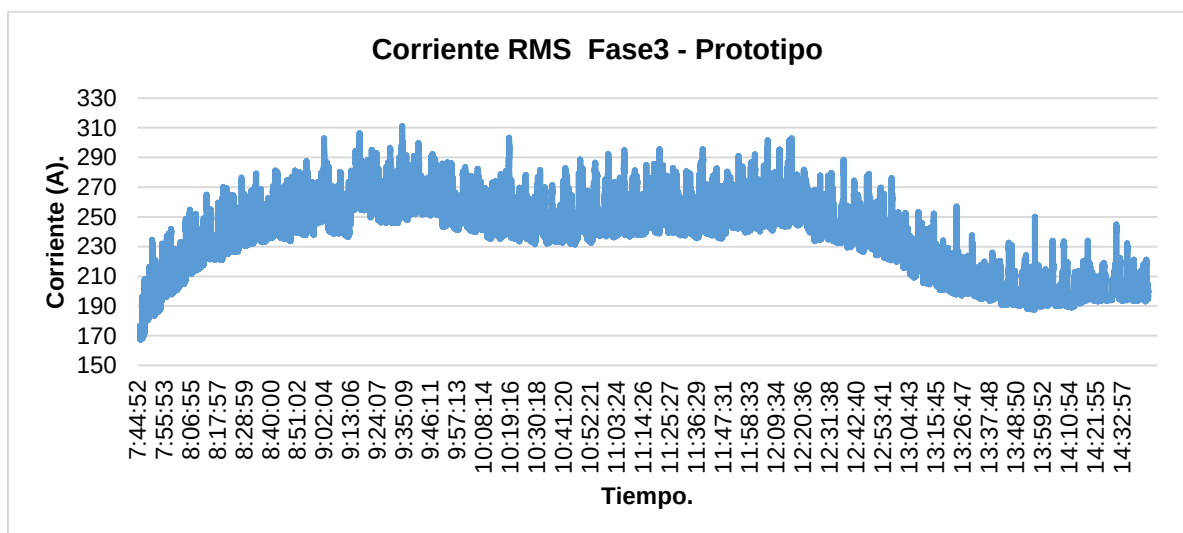


Fig 3. 45 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 3 del prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

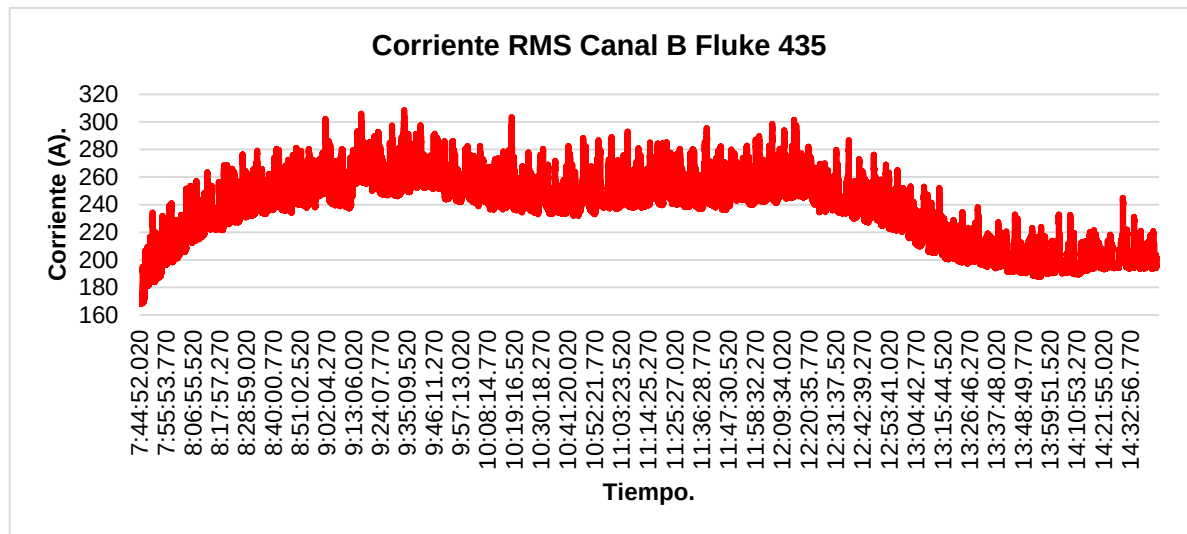


Fig 3. 46 Señal de corriente RMS Canal B Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de corriente RMS en el canal B y la Fase 3, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.15.

Tabla 3. 15 Comparación de la corriente RMS obtenida en la F3 prototipo y el canal B del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Corriente Máximo.	Corriente Mínimo.
Fase 3 Prototipo.	241.1504 A	311.1476 A	167.3319 A
Canal B Fluke 435	241.1000 A	308.6000 A	167.9000 A

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.44 nos indica una mediana de 241.1504 A con valores entre los 311.1476 A hasta los 167.3319 A aproximadamente con valores atípicos entre los 185 A hasta los 165 A en la parte inferior, para su parte superior se observó valores atípicos entre los 300A a 311 A para el prototipo, y con una mediana de 241.1000 A con valores desde 308.6000 A hasta 167.9000 A para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 185 A hasta los 165 A, para su parte superior se observó valores atípicos entre los 300 A a los 310 A.

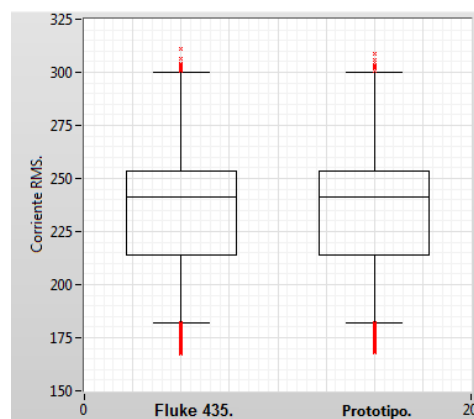


Fig 3. 47 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal B y el Prototipo Fase 3
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.2.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.48 y la Figura 3.49 se obtuvo la gráfica de los valores de corriente RMS del canal A del Fluke 435 y de la fase 2 del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

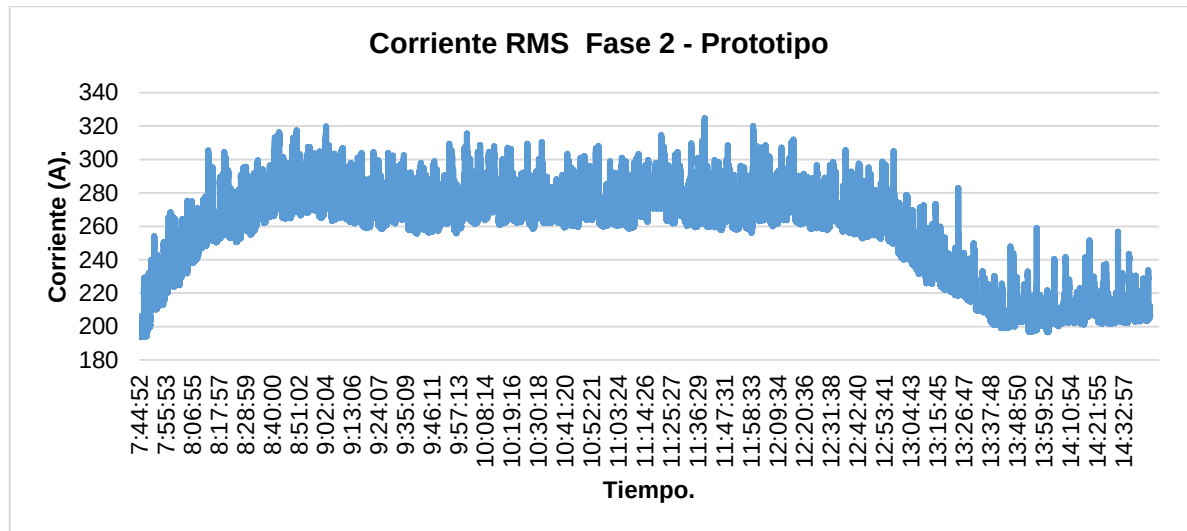


Fig 3. 48 Señal de corriente RMS obtenida en la fase 2 del prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

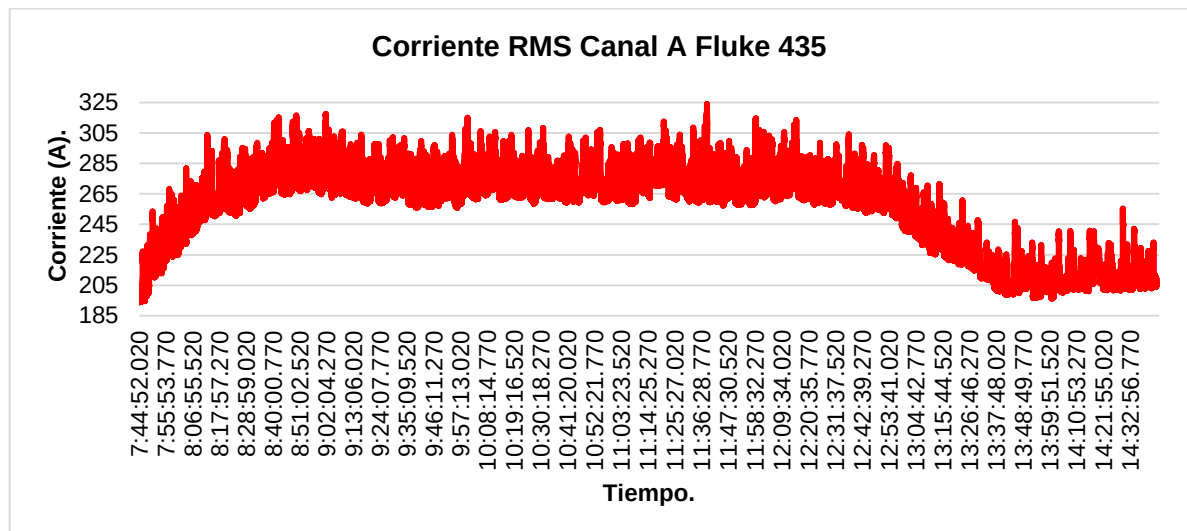


Fig 3. 49 Señal de corriente RMS Canal A Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de corriente RMS en el canal A y la Fase 2, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.16.

Tabla 3. 16 Comparación de la corriente RMS obtenida en la F2 prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Corriente Máximo.	Corriente Mínimo.
Fase 2 - Prototipo.	264.1966 A	324.6858 A	193.5491 A
Canal A - Fluke 435	263.6000 A	324.0000 A	193.9000 A

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.50 nos indica una mediana de 264.1966 A con valores entre los 324.6858 A hasta los 193.5491 A aproximadamente con valores atípicos entre los 210 A hasta los 195 A en su parte inferior, en la parte superior se ubicaron valores atípicos desde los 320 A a los 325 A para el prototipo, y con una mediana de 263.6000 A con valores desde 324.0000 A hasta 193.9000 A para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 210 A hasta los 195 A. en su parte inferior, para la parte superior se observaron valores atípicos entre 320 a los 325 A.

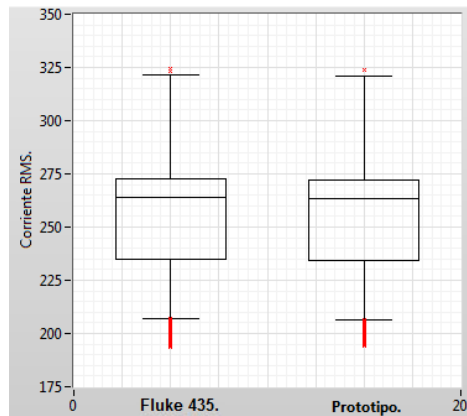


Fig 3. 50 Boxplot entre la corriente RMS del Fluke 435 Canal B y el Prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.2.4 Comparación Canal Neutro Fluke 435 y Neutro Prototipo.

En la Figura 3.51 y la Figura 3.52 se obtuvo la gráfica de los valores de corriente RMS del canal Neutro del Fluke 435 y del Neutro del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

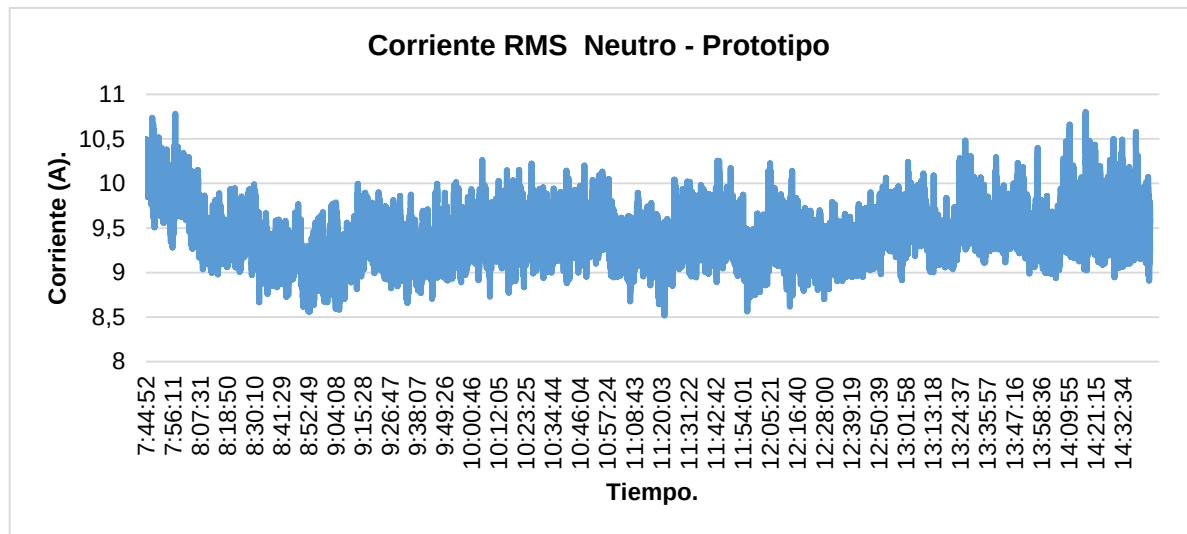


Fig 3. 51 Señal de corriente RMS obtenida en la fase Neutro del prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

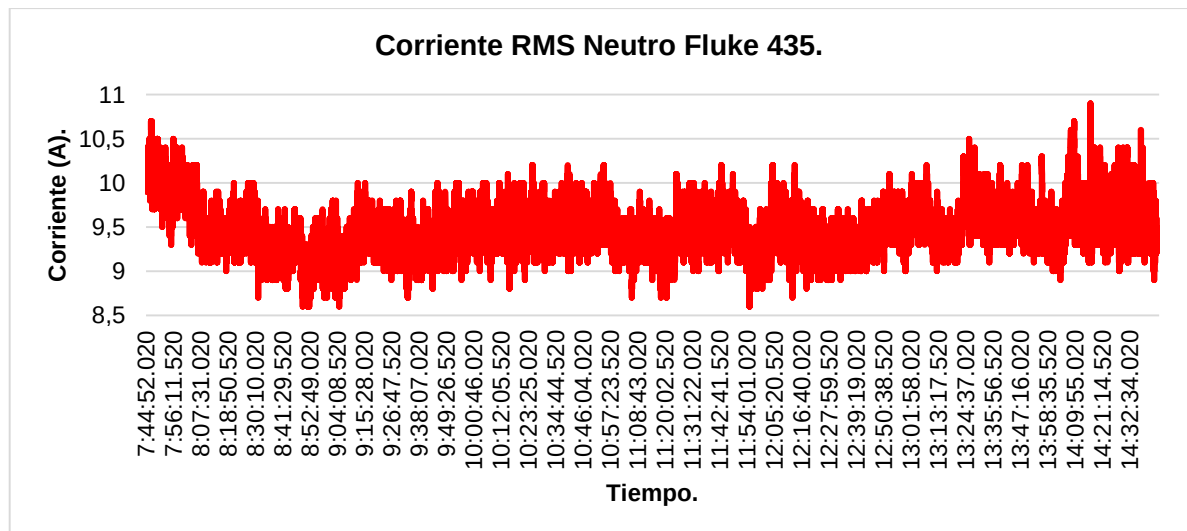


Fig 3. 52 Señal de corriente RMS Canal Neutro Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de corriente RMS en el Neutro de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.17.

Tabla 3. 17 Comparación de la corriente RMS en la Fase Neutro prototipo y el canal N del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Corriente Máximo.	Corriente Mínimo.
Neutro - Prototipo.	9.4051 A	10.8001 A	8.5195 A
Neutro - Fluke 435	9.4000 A	10.9000 A	8.6000 A

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.53 nos indica una mediana de 9.4051 A con valores entre los 10.8001 A hasta los 8.5195 A aproximadamente con valores atípicos entre los 210 A hasta los 195 A en su parte inferior, en la parte superior se ubicaron valores atípicos desde los 8,95 a los 8,5 A para el prototipo, y con una mediana de 9.4000 A con valores desde 10.9000 A hasta 8.6000 A para el Fluke 435 con valores atípicos entre los 8,9 A hasta los 8,6 A en su parte inferior, para la parte superior se observaron valores atípicos entre 8.85 A a los 10.90 A.

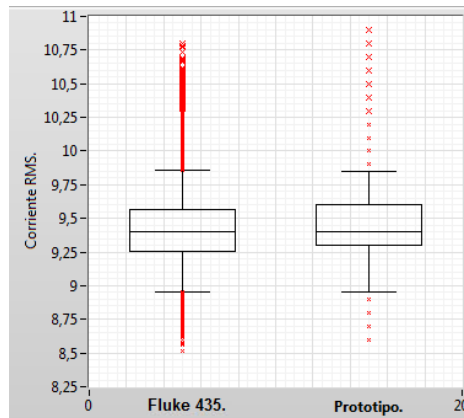


Fig 3. 53 Boxplot entre la corriente RMS de Fluke 435 Canal N y el Prototipo Fase N.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.3 Frecuencia.

En la Figura 3.54 y la Figura 3.55 se obtuvo la gráfica de los valores de frecuencia media del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

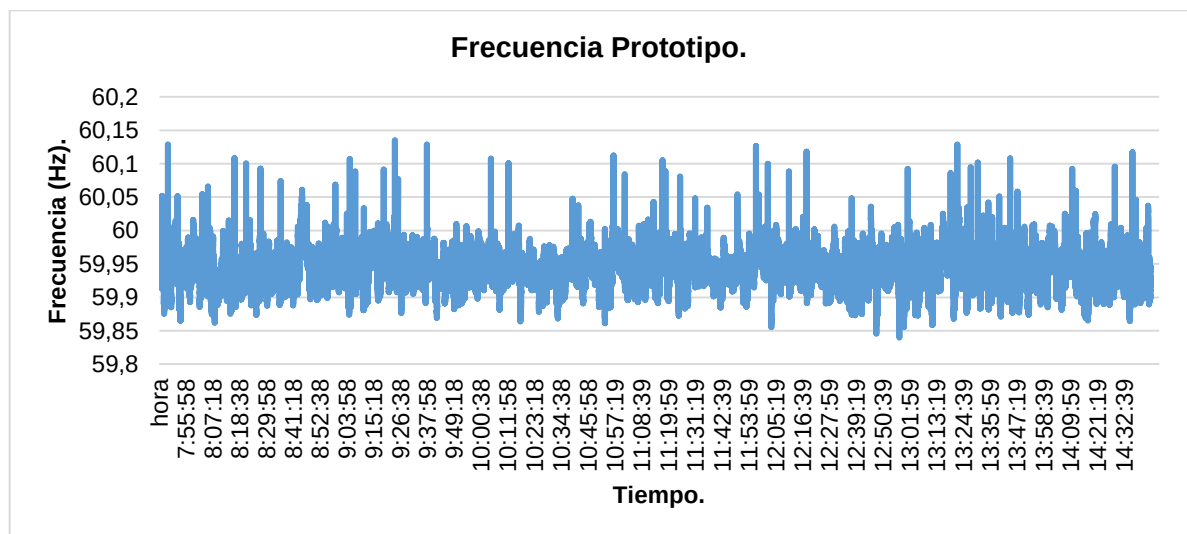


Fig 3. 54 Señal de frecuencia media obtenida por el prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

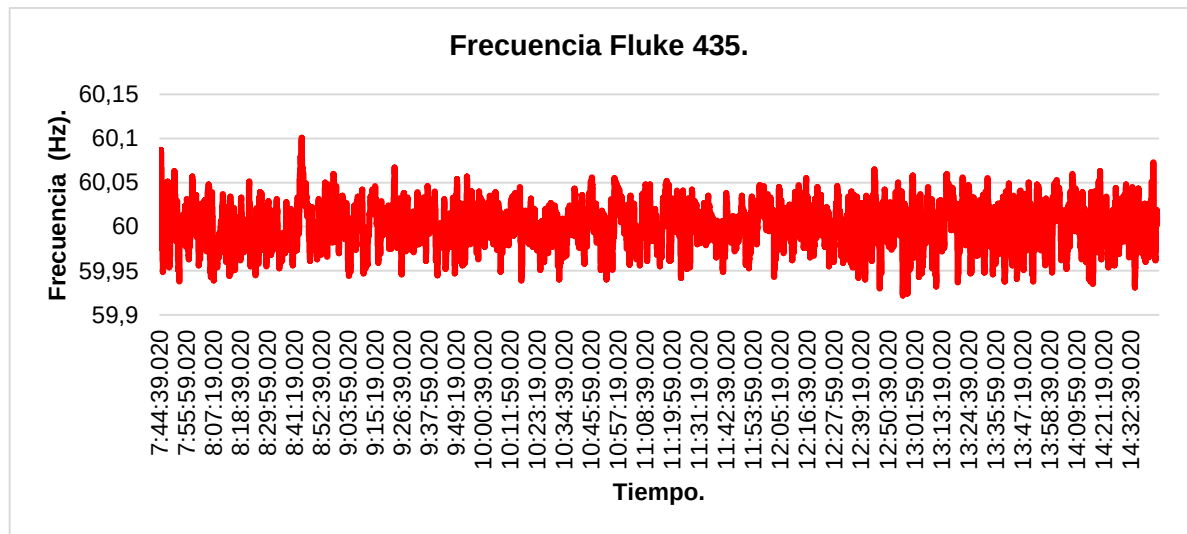


Fig 3. 55 Señal de frecuencia media obtenida por el Fluke 435.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de frecuencia de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.18.

Tabla 3. 18 Comparación de los valores de frecuencia obtenidos el prototipo y el Fluke 435.

Equipo de Medición.	Media	Desviación Estándar.	Frecuencia Máxima.	Frecuencia Mínima.
Frecuencia - Prototipo.	59.9496 Hz.	0.0259 Hz.	60.1348 Hz	59.8397 Hz.
Frecuencia - Fluke 435	60.0002 Hz.	0.0242 Hz.	60.1010 Hz.	59.9220 Hz.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.56 nos indica para el Fluke 435 una media de 60.02 Hz con valores que van desde 60.1348 Hz a los 59.8397 Hz, sus valores atípicos en la parte inferior están entre los 59.85 Hz hasta los 59.81 Hz aproximadamente y en la parte superior entre los 59.975 Hz hasta los 60.15 Hz. Para el prototipo nos da una media de 59.94 Hz con valores que van entre los 60.1010 Hz a los 59.8397 Hz, sus valores atípicos en la parte inferior están entre los 59.95 Hz hasta los 59.925 Hz aproximadamente y en la parte superior entre los 60.06 Hz hasta los 60.11 Hz.

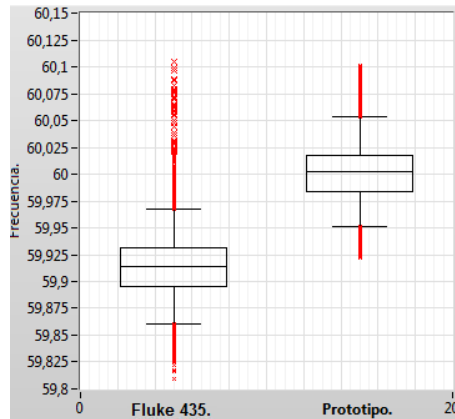


Fig 3. 56 Boxplot de la frecuencia media obtenida por el Fluke 435 y el Prototipo.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.4 Potencia activa.

3.2.2.4.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.57 y la Figura 3.58 se obtuvo la gráfica de los valores de potencia activa del Fluke 435 y del prototipo, claramente observamos que las dos señales son similares, a continuación procedimos a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

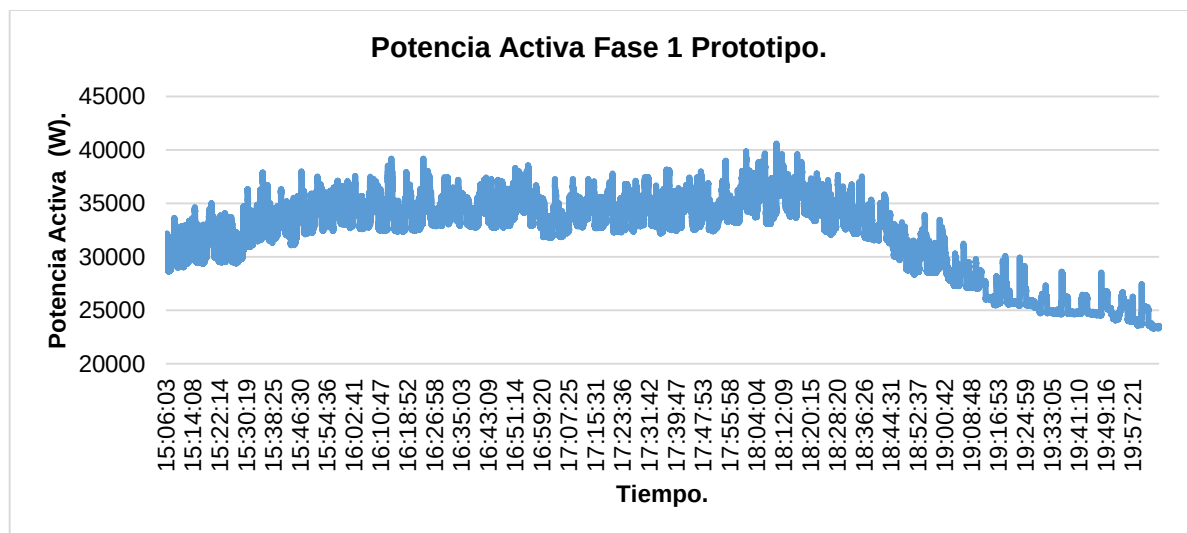


Fig 3. 57 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

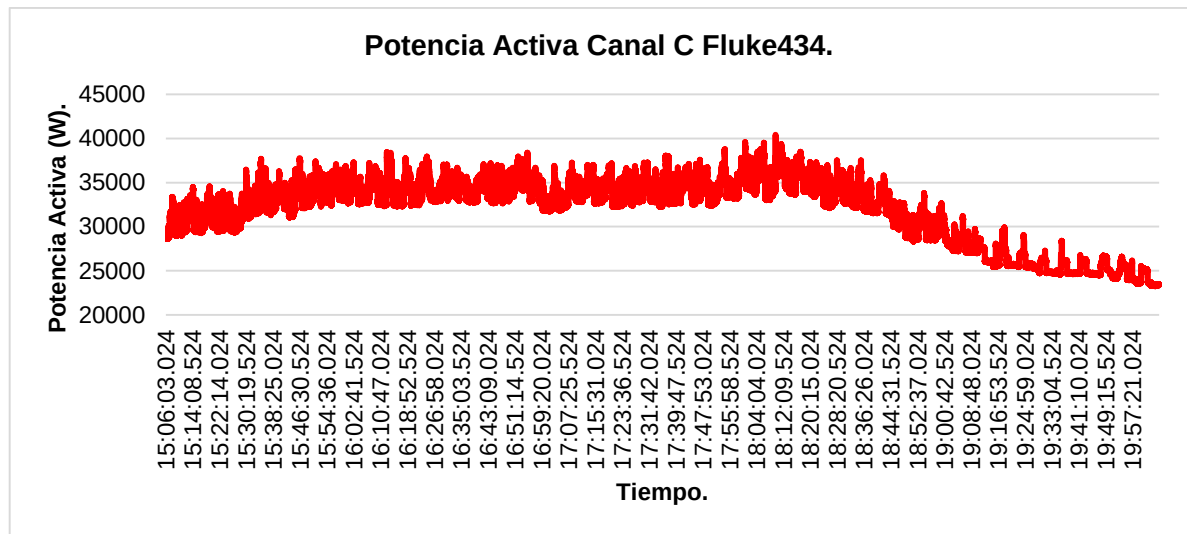


Fig 3. 58 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal C.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia activa de los dos instrumentos, se procedió a realizar la comparación de los principales valores que nos determinaron que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.19.

Tabla 3. 19 Comparación de la potencia activa obtenida en la F1 prototipo y el Canal C del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Activa Máximo.	Potencia Activa Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	33045,5708 W.	40583,9486 W.	23308,8357 W.
Canal C - Fluke 435	32970 W.	40400 W.	23260 W.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.59 que nos indica una mediana de 40400 W. en el canal C sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 33045.5708 W con la ausencia de valores atípicos.

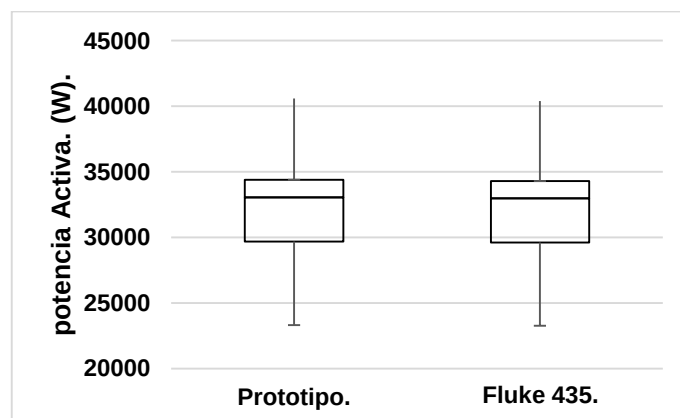


Fig 3. 59 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal C y el Prototipo F1
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.4.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.60 y la Figura 3.61 se obtuvo la gráfica de los valores de potencia activa del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

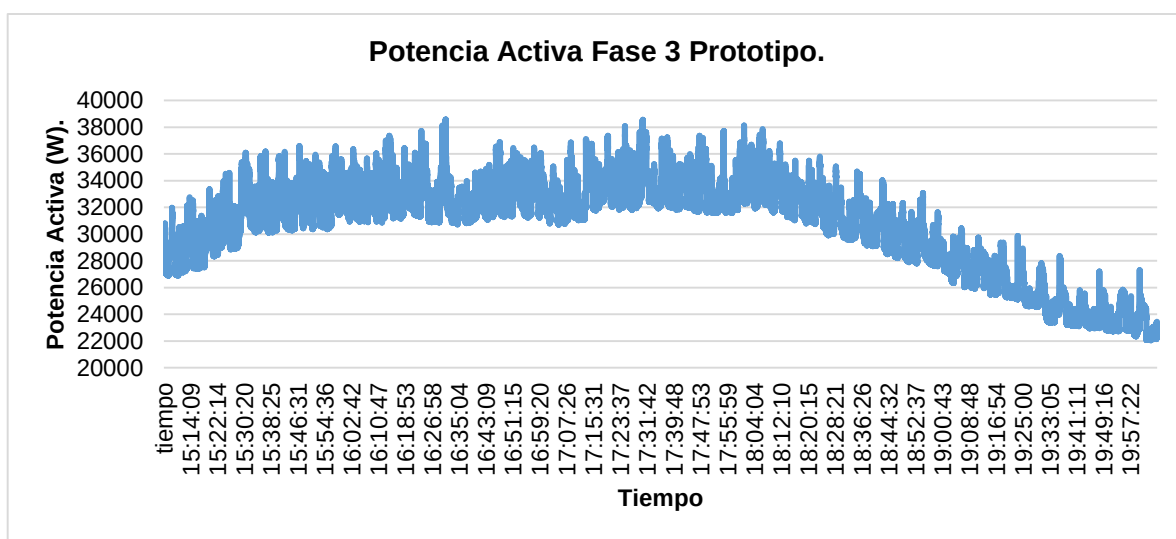


Fig 3. 60 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

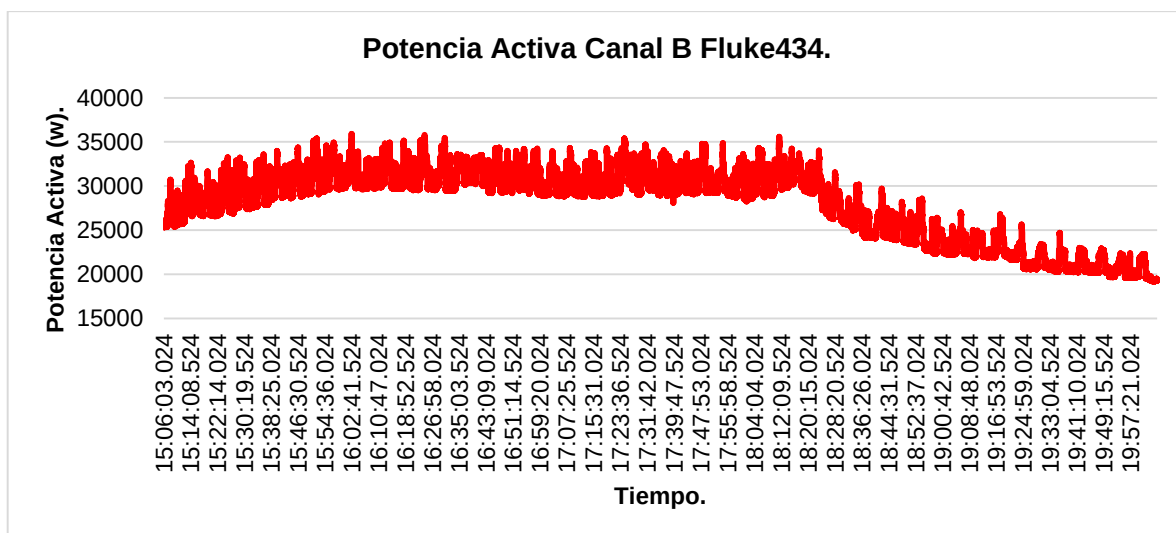


Fig 3. 61 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal B.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia activa de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.20.

Tabla 3. 20 Comparación de la potencia activa obtenida el F3 del prototipo y el canal B del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Activa Máximo.	Potencia Activa Mínimo.
Fase 3 - Prototipo.	31532,4137 W.	38574,8817 W.	22064,1131W.
Canal B - Fluke 435	29290 W.	35890 W.	19190 W.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.62 que nos indica una mediana de 29290 W en el canal B sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 31532,4137 W, con la ausencia de valores atípicos.

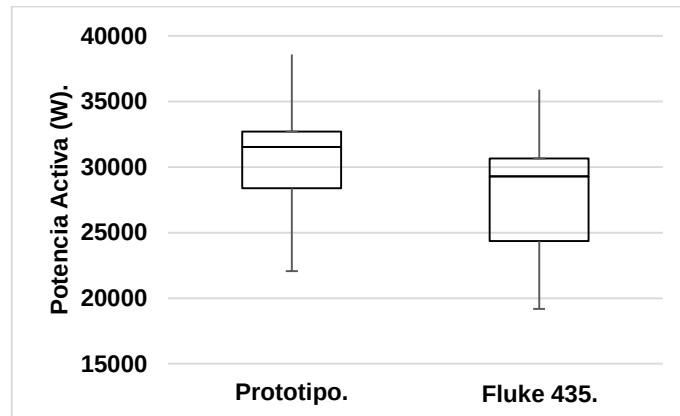


Fig 3. 62 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal B y el Prototipo F3.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.4.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.63 y la Figura 3.64 se obtuvo la gráfica de los valores de potencia activa del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

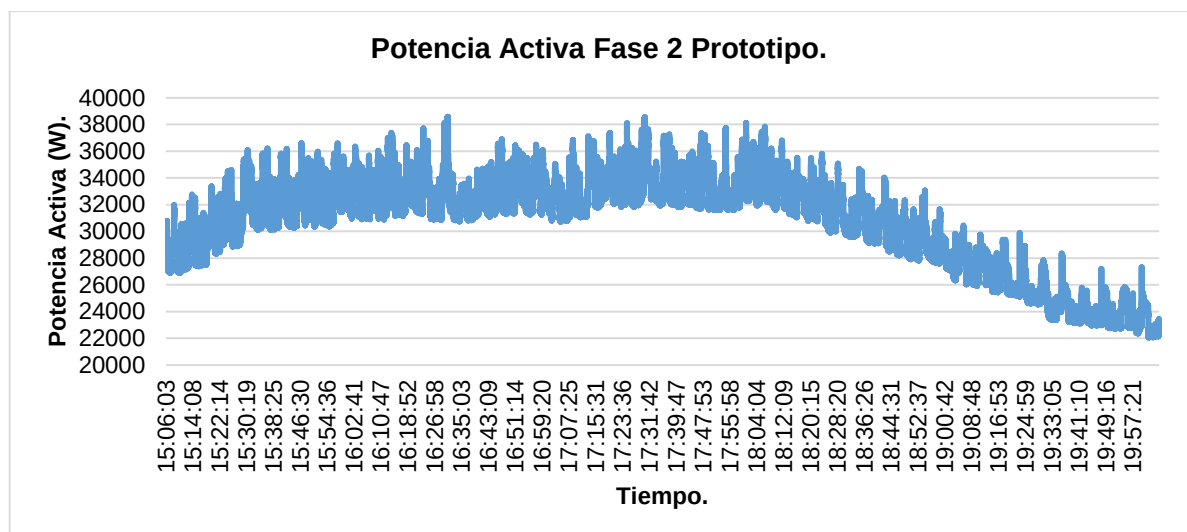


Fig 3. 63 Señal de potencia activa obtenida por el prototipo Fase 2.
Fuente: Realizado por el autor.

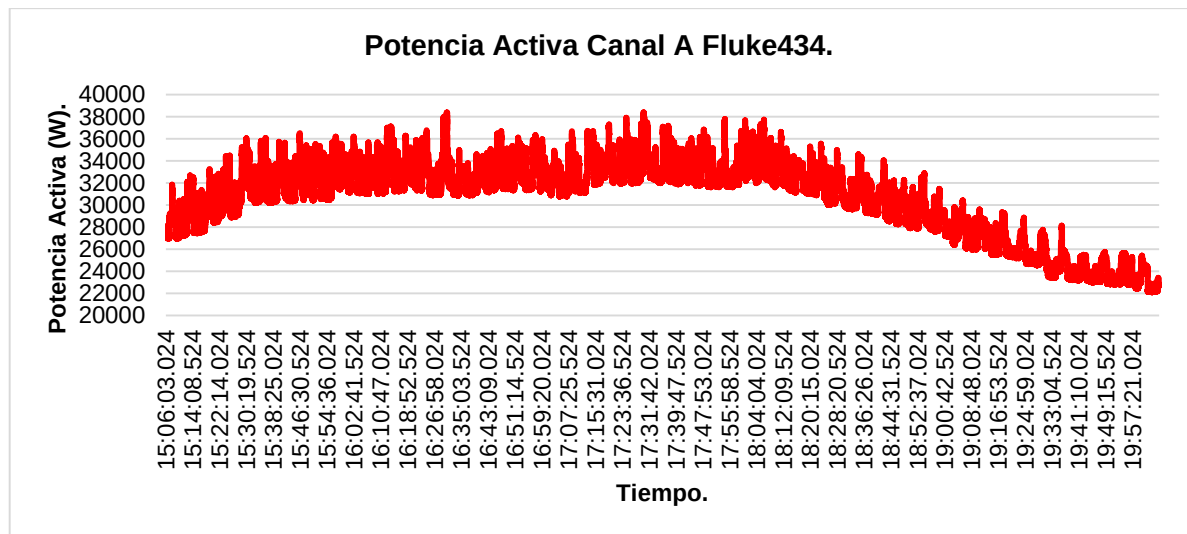


Fig 3. 64 Señal de potencia activa obtenida por el Fluke 435 Canal A.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia activa de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.21.

Tabla 3. 21 Comparación de la potencia activa en la F2 del prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Activa Máximo.	Potencia Activa Mínimo.
Fase 2 - Prototipo.	31532,3887 W.	38574,8817 W.	22064,1131 W.
Canal A - Fluke 435	31520 W.	38390 W.	22100 W.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.65 nos indica una mediana de 31520 W en el canal A sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 31532,3887 W con la ausencia de valores atípicos.

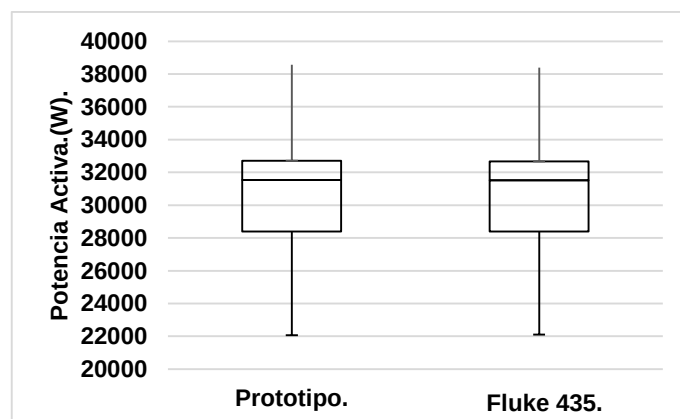


Fig 3. 65 Boxplot de la potencia activa obtenida por el Fluke 435 canal A y el Prototipo F2.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.5 Potencia aparente.

3.2.2.5.1 Comparación Canal C Fluke 435 y Fase 1 Prototipo.

En la Figura 3.66 y la Figura 3.67 se obtuvo la gráfica de los valores de potencia aparente del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

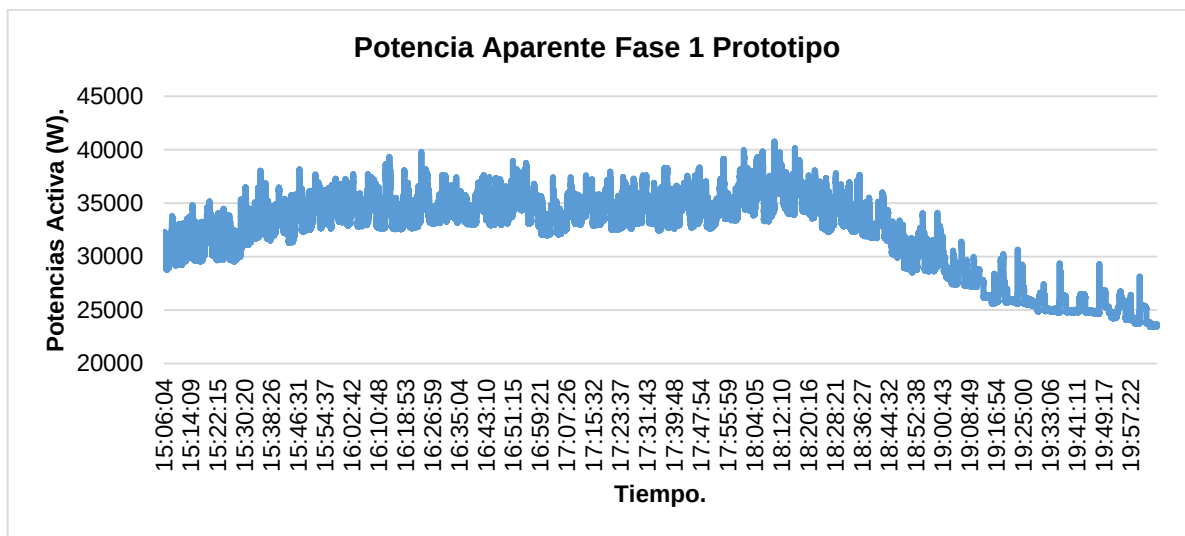


Fig 3. 66 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 1.
Fuente: Realizado por el autor.

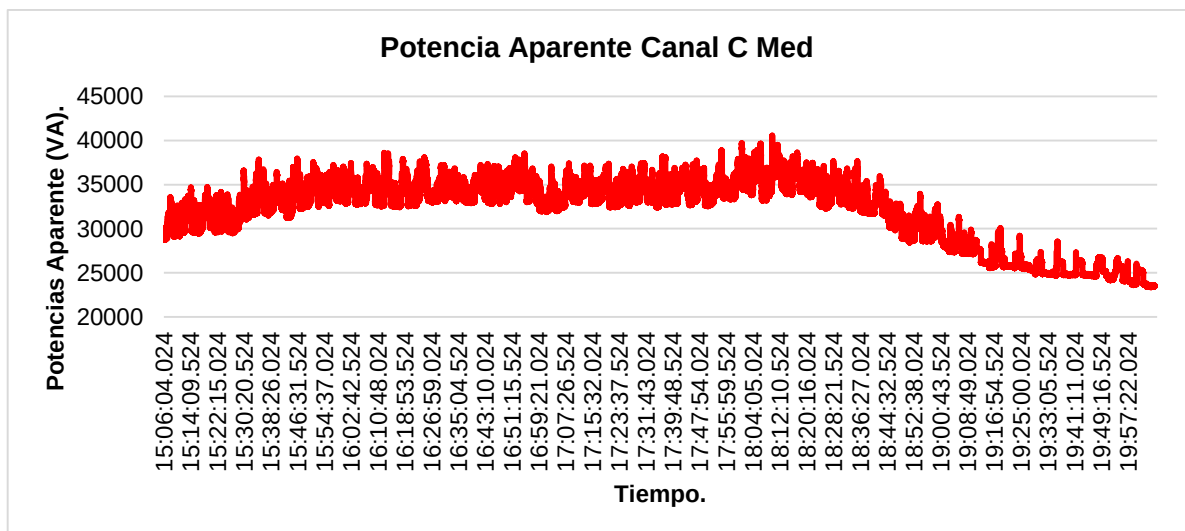


Fig 3. 67 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal C.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia aparente de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.22.

Tabla 3. 22 Comparación de la potencia aparente en la F1 prototipo y el canal C del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Aparente Máximo.	Potencia Aparente Mínimo.
Fase 1 - Prototipo.	33249,261 VA.	40755,4725 VA.	23428,3869 VA.
Canal C - Fluke 435	33140 VA.	40540 VA.	23350 VA.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.66 nos indica una mediana de 33140 VA en el canal C sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 33249,2610 VA con la ausencia de valores atípicos.

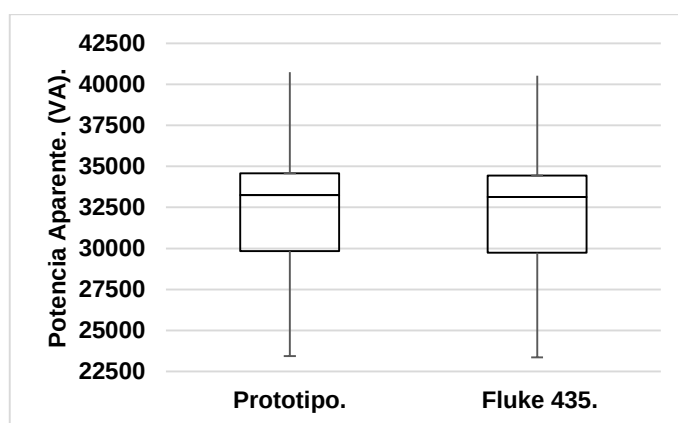


Fig 3. 68 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal C y el Prototipo F1.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.5.2 Comparación Canal B Fluke 435 y Fase 3 Prototipo.

En la Figura 3.69 y la Figura 3.70 se obtuvo la gráfica de los valores de potencia aparente del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

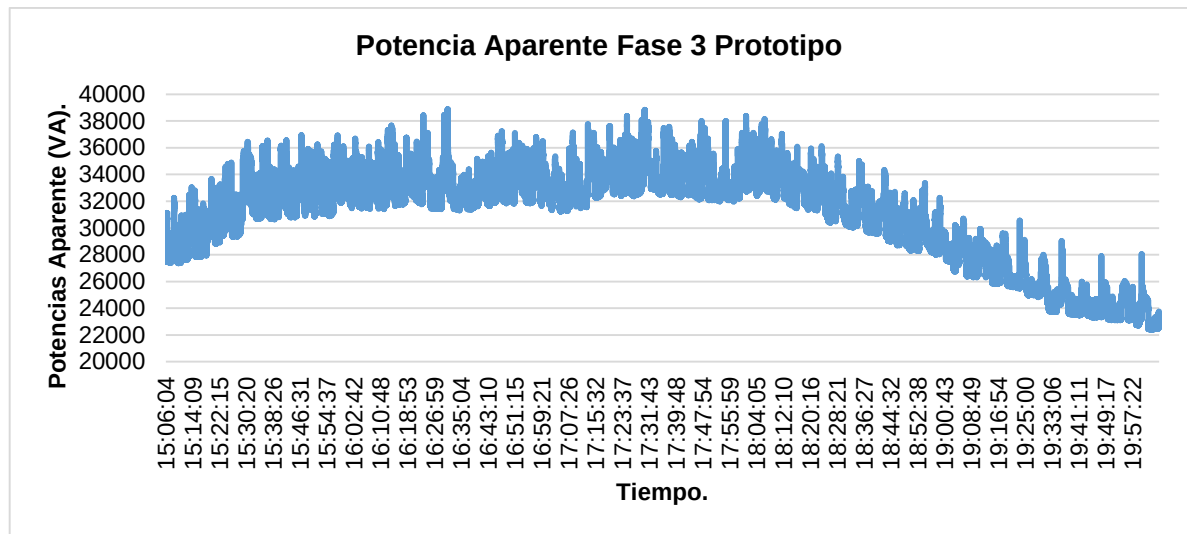


Fig 3. 69 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 3.
Fuente: Realizado por el autor.

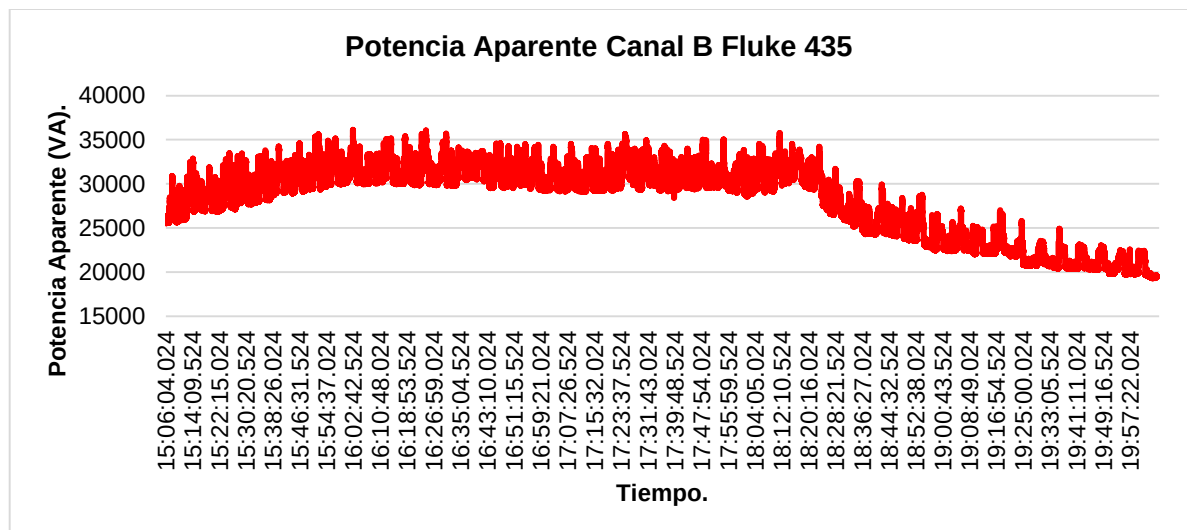


Fig 3. 70 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal B.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia aparente de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.23.

Tabla 3. 23 Comparación de la potencia aparente en la F3 prototipo y el canal B del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Aparente Máximo.	Potencia Aparente Mínimo.
Fase 3 - Prototipo.	31997,0505 VA	38885,2415 VA.	22389,2123 VA.
Canal B - Fluke 435	29580 VA.	36120 VA.	19300 VA.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.71 nos indica una mediana de 29580 VA en el canal B sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 31997.0505 VA con la ausencia de valores atípicos

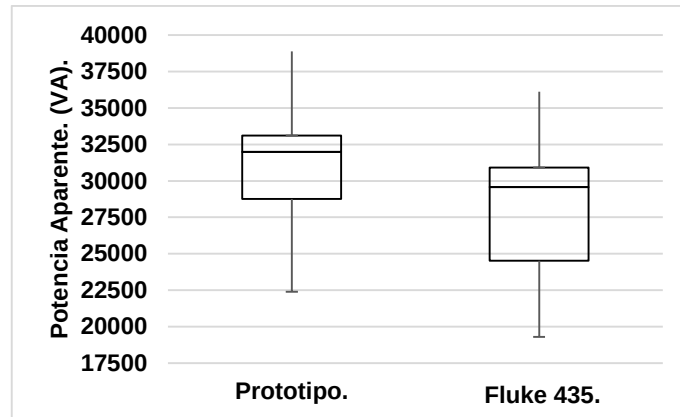


Fig 3. 71 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 canal B y el Prototipo F3.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.2.5.3 Comparación Canal A Fluke 435 y Fase 2 Prototipo.

En la Figura 3.72 y la Figura 3.73 se obtuvo la gráfica de los valores de frecuencia media del Fluke 435 y del prototipo, así vemos claramente que las dos señales son similares, a continuación se procedió a comprobarlo por medio del test de Wilcoxon donde el valor de p fue igual a 0,01% este valor nos indica que la hipótesis nula es aceptada con un nivel de significancia de 0.05.

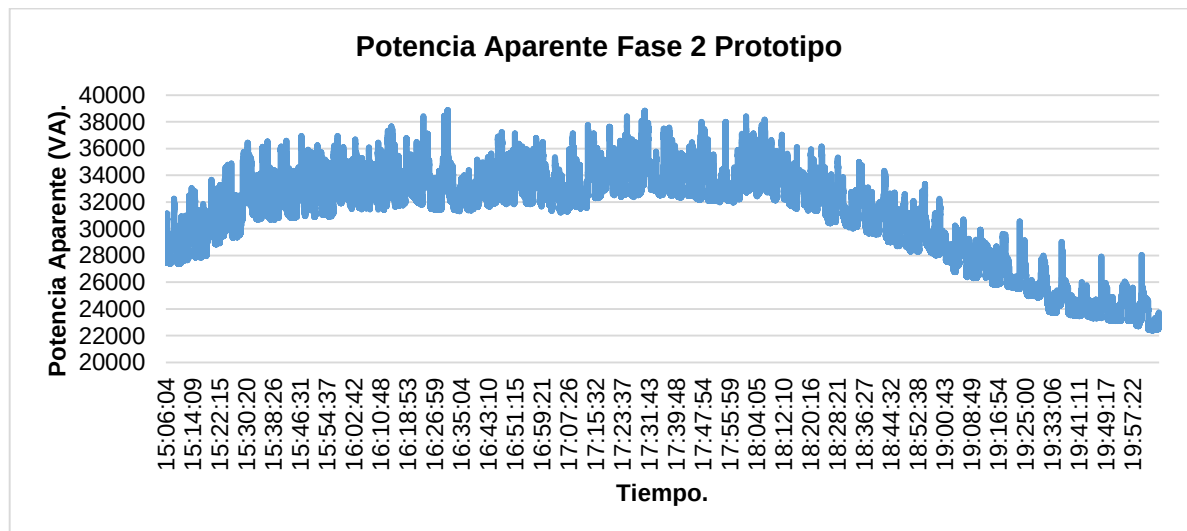


Fig 3. 72 Señal de potencia aparente obtenida por el prototipo Fase 2.
Fuente: Realizado por el autor.

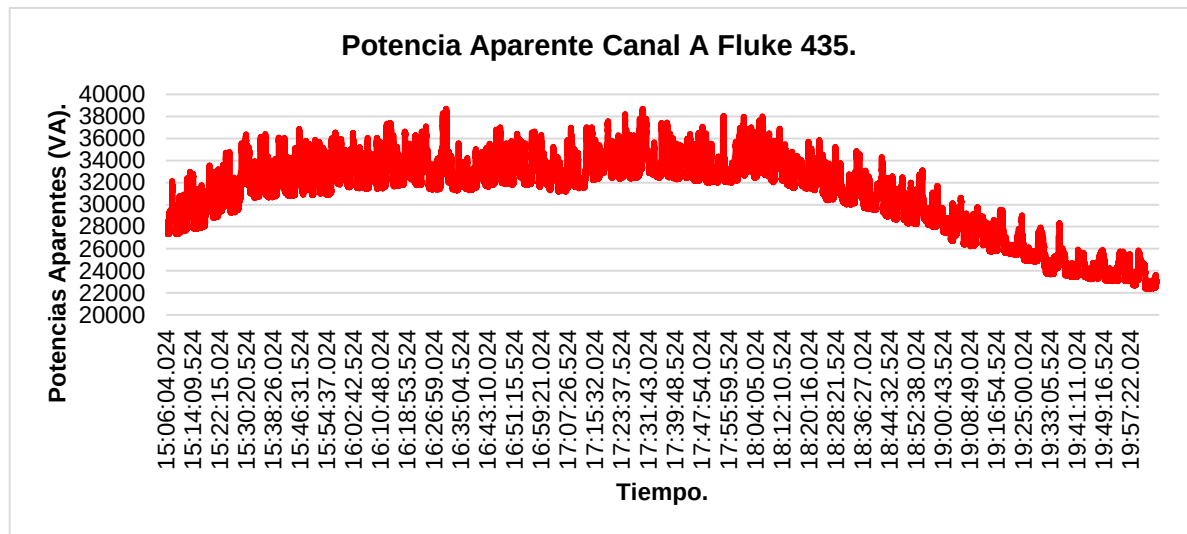


Fig 3. 73 Señal de potencia aparente obtenida por el Fluke 435 Canal A.
Fuente: Realizado por el autor.

Obtenidas las señales de potencia aparente de los dos instrumentos, se procedió a realizar una comparación de los principales valores que nos ayudaron a determinar que las dos señales son en un gran porcentaje similares, esto se lo comprueba con la Tabla 3.24.

Tabla 3. 24 Comparación de la potencia aparente en la F2 prototipo y el canal A del Fluke 435.

Equipo de Medición.	Mediana	Potencia Aparente Máximo.	Potencia Aparente Mínimo.
Fase 2 Prototipo.	31997,0899 VA.	38885,2415 VA.	22389,2123 VA.
Canal A Fluke 435	31930 VA.	38680 VA.	22350 VA.

Fuente: Realizado por el autor.

El boxplot que se encuentra en la Figura 3.74 nos indica una mediana de 31930 VA en el canal A sin la existencia de valores atípicos, para el prototipo tenemos una mediana de 31997,0899 VA con la ausencia de valores atípicos

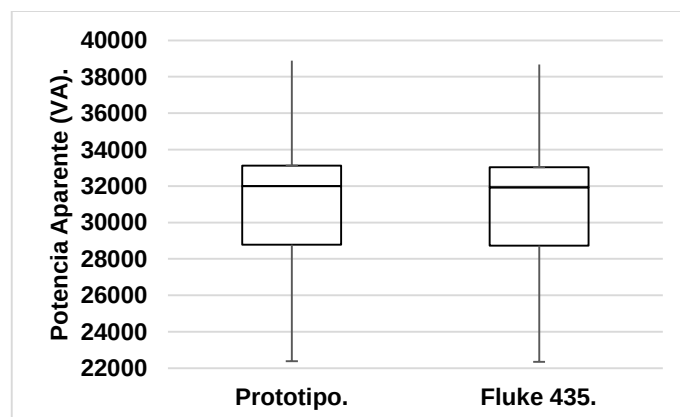


Fig 3. 74 Boxplot de la potencia aparente obtenida por el Fluke 435 canal A y el Prototipo F2.
Fuente: Realizado por el autor.

3.2.1 Resumen de resultados sobre los parámetros e indicadores medidos.

En el presente ítem mostramos la tabla que resume los resultados de las mediciones realizadas, podemos destacar que en la Tabla 3.25 se indican los parámetros eléctricos medidos por el Fluke 435 y por el prototipo PQA, aquí se observa una mínima diferencia entre las dos, esto se demuestra por medio de la Tabla 3.26 donde se indica el porcentaje de error entre las dos medidas.

Tabla 3. 25 Resultados de las mediciones de parámetros eléctricos.

Parámetro eléctrico.	Mediciones.							
	Fase 1.		Fase 2.		Fase 3.		Neutro	
	Prototipo	Fluke 435	Prototipo	Fluke 435	Prototipo	Fluke 435	Prototipo	Fluke 435
Voltaje RMS (V).	124.3537	124.3458	125,4970	125.4702	125,2305	125.2311	0.3465	0.3512
Corriente RMS. (A)	266.5140	265.7000	264.1966	263.6000	241.1504	241.1000	9.4051	9.4000
Frecuencia Media	Prototipo: 59.9496 Hz. Fluke 435: 60.0002 Hz.							
Potencia Activa. (W)	33045,570	32970	31532,388	31520	31532,413	29290	--	--
Potencia Aparente (VA)	33249,261	33140	31997,089	31930	31997,050	29580	--	--

Fuente: Realizado por el autor.

Tabla 3. 26 Evaluación del error porcentual de los parámetros eléctricos.

Parámetro eléctrico.	% de Error			
	Fase 1.	Fase 2.	Fase 3.	Neutro
Voltaje RMS (V).	0,01	0,02	0,0005	1,3383
Corriente RMS. (A)	0,31	0,23	0,0209	0,0543
Frecuencia Media.	0,084333052			
Potencia Activa. (W)	0,23	0,0393	7,6559	--
Potencia Aparente (VA)	0,3297	0,2101	8,1712	--

Fuente: Realizado por el autor.

En la Tabla 3.27 mostramos las mediciones obtenidas para los indicadores de calidad de energía eléctrica, en esta tabla observamos una mínima diferencia entre las dos mediciones, esto se verifica por medio del porcentaje de error que indicamos en la Tabla 3.28.

Tabla 3. 27 Resultados de las mediciones de indicadores de calidad de energía.

Indicadores de calidad de energía	Mediciones.					
	Fase 1.		Fase 2.		Fase 3.	
	Prototipo	Fluke 435	Prototipo	Fluke 435	Prototipo	Fluke 435
Nivel de Voltaje. (%)	3,6291	3,6195	4,5818	4,5595	4,3597	4,3276
Desbalance de tensión.	Prototipo: 0,3818 % Fluke 435: 0,3801 %					
Desequilibrio de corriente.	Prototipo: 4,2747 % Fluke 435: 4,2989 %					
Factor de potencia	0.9948 %	1 %	0.9970 %	0.99 %	0.9870 %	0.99 %

Fuente: Realizado por el autor.

Tabla 3. 28 Evaluación del error porcentual de los indicadores de calidad de energía.

Indicador de calidad de energía	% de Error		
	Fase 1.	Fase 2.	Fase 3.
Nivel de Voltaje. (%)	0,27	0,49	0,74
Desbalance de tensión. (%)	0,4473		
Desequilibrio de corriente. (%)	0,5629		
Factor de potencia	0,52	0,71	0,30

Fuente: Realizado por el autor.

Al finalizar la implementación del prototipo PQA, y teniendo en cuenta las tablas de resultados, se han denotado varias ventajas con respecto al dispositivo comercial, las cuales enlistamos a continuación:

- Los algoritmos para los cálculos de parámetros eléctricos e indicadores de calidad de energía se encuentran de forma abierta en el prototipo PQA, mientras que el dispositivo comercial estos algoritmos son encapsulados dentro del dispositivo.
- Una de las principales aplicaciones para las que puede servir el presente dispositivo es el de un dispositivo de aprendizaje ya que su elementos de hardware y software están diseñados para ser utilizados de forma intuitiva, pero teniendo una base esencial en los conocimientos sobre electrónica, electricidad y programación.
- El presente prototipo representa además, una base fundamental para futuros proyectos ya que se a demostrado que el prototipo igual y en ciertos puntos mejora las cualidades de un dispositivo comercial.

3.3 Análisis Económico.

En la Tabla 3.29 tenemos una descripción de los costos de compra de los equipos utilizados en la implementación del prototipo PQA, referenciados directamente a la página de National Instruments, para el resto de componentes nos referimos a un valor aproximado de venta al público.

Tabla 3. 29 Costo de materiales para el prototipo PQA.

Cant.	Descripción.	Costo.
1	Compact RIO - 9033.	\$ 5.500.00
1	NI - 9227.	\$ 1.129.00
1	NI - 9244.	\$ 1.648.00
1	NI PS-15	\$ 221.00
4	WC4-400-RA005.	\$ 220.00
	TOTAL.	\$ 8718.00

Fuente: Realizado por el autor.

Al costo total del prototipo debemos sumarle el costo de horas de trabajo por programación del dispositivo, el costo haciende a \$3600.00 por un mes de trabajo, el cual debería amortizarse por la cantidad de unidades del prototipo que se van a realizar.

En la Tabla 3.30 tenemos el costo de compra de un analizador de calidad de energía Fluke 435 referenciado a su página de ventas de Fluke [51].

Tabla 3. 30 Costo del Fluke 435.

Cant.	Descripción.	Costo.
1	Fluke 435.	\$ 12000.00

Fuente: Realizado por el autor.

Comparando el costo de compra de un analizador de calidad de energía comercial con respecto al del prototipo claramente tenemos una gran diferencia de precios, recordando que cada uno tienen sus ventajas y desventajas al momento de entrar en el campo de trabajo, como los constatamos al momento de implementar este proyecto.

CONCLUSIONES.

- La arquitectura hardware del prototipo PQA se compone de los siguientes elementos: pinzas para medición de voltaje, sensor WC4-400-RA005 para la medición de corriente, módulo de acondicionamiento de señales de voltaje NI-9227, módulo de acondicionamiento de señales de corriente NI-9244, dispositivo de procesamiento cRIO-9233 y host de monitoreo.
- La arquitectura software del prototipo PQA consta de tres algoritmos principales que se ejecutan en: el FPGA, el procesador Real-Time y el Host. En el FPGA se implementaron los algoritmos de lectura de las señales adquiridas por los módulos de voltaje y corriente, luego cada variable se almacena temporalmente en una pila FIFO, en el procesador Real-Time se implementaron las funciones de cálculo de los parámetros: voltaje RMS, corriente RMS, frecuencia, variación de voltaje, variación de corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y distorsión armónica total, la etapa inicial de estos cálculos es la lectura continua de las pilas FIFO de las señales de voltaje y corriente, finalmente en el dispositivo Host se desarrollaron indicadores gráficos y numéricos para cada una de las variables determinadas, así también en el host se realiza el almacenamiento de los datos en un archivo de texto plano.
- Para validar el prototipo PQA primeramente se procedió a ejecutar la medición de parámetros eléctricos e indicadores de calidad de energía en el edificio UGTI, ubicado dentro de las instalaciones de la UTPL (Loja, Ecuador), el 1 de Septiembre del 2016 desde las 07h44 hasta las 20h44. Estas mediciones se las efectuaron en paralelo entre el prototipo PQA y el instrumento referencia Fluke 435. El primer experimento se realizó en un intervalo de 7 horas y 50 minutos, se adquirió un vector de 101.082 muestras con un tiempo de muestreo de 250 milisegundos, las variables registradas son los parámetros eléctricos relacionados al voltaje, corriente y frecuencia. El segundo experimento se realizó en un intervalo de 6 horas, se adquirió un vector de 71.827 muestras con un tiempo de muestreo de 250 milisegundos, las variables registradas son los parámetros eléctricos relacionados a la potencia activa, aparente y factor de potencia. En la segunda etapa de la validación del prototipo PQA se analizó la similitud de las mediciones, por medio del test de Wilcoxon entre la señal del instrumento referencia y la señal del prototipo, además se realizó una comparación entre los valores centrales y desviaciones estándar de dichas señales. Los resultados

obtenidos fueron: en los parámetros eléctricos el error porcentual varía desde 0,01% hasta 8,17% y en los indicadores de calidad de energía el error porcentual varía desde 0,27% hasta 0.74%.

RECOMENDACIONES.

- Para trabajos futuros se recomienda realizar una interfaz en la cual se pueda variar el tiempo entre adquisición de muestras, ya que en el presente trabajo, este valor se lo tomó como una constante, con un valor de 250 mili segundos entre muestras, además recomendamos que el tiempo que duro la adquisición de mediciones sea extendido, ya que en el presente trabajo, solo se realizó por un lapso de 7 horas.
- Una recomendación indispensable para futuros proyectos sobre este tema es, que al momento de extraer la información proveniente del Fluke 435 por medio de su software Power Log 430-II, esta no se realice de forma total, es decir, que no se trate de extraer todas las muestras en un solo archivo, ya que exceden la capacidad de respuesta del programa llevándolo a un colapso, se recomienda extraerlo en lapso de 2 horas, esto evita que el programa se sature y se trabaje.

REFERENCIAS.

- [1] J. Lara-Cardoso and R. d. J. Romero-Troncoso, "Low-Cost Power Harmonics Analyzer of Nonlinear Loads Based on FPGA," in *Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2008. IMTC 2008. IEEE*, 2008, pp. 730-735.
- [2] A. Abur, F. L. Alvarado, C. A. Bel, C. Cañizares, J. C. Pidre, A. J. C. Navarro, et al., "Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica.," in *[En línea]: <http://www.fi.unsj.edu.ar/descargas/ingreso/sistemas-electricos.pdf>*, ed: McGraw-Hill, 2002.
- [3] S. Ramírez and E. Cano, "Calidad del servicio de energía eléctrica," *Manizales: Universidad Nacional de Colombia–Sede Manizales*, vol. [En Línea]: https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Cano_Plata/publication/271197778_Calidad_del_servicio_de_energa_elctrica/links/54c04b180cf28eae4a696908.pdf, pp. 6-7, 01/06/2016 2003.
- [4] S. Folea, G. Mois, and L. Miclea, "Power quality measurement system using FPGAs," in *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012 13th International Conference on*, 2012, pp. 1280-1285.
- [5] L. E. Rojo, J. O. Alejos, C. A. F. Hernández, and J. A. S. García, "Medidor monofásico de la calidad de la energía eléctrica, basado en instrumentación virtual," *Pistas Educativas*, vol. 35, [En Línea] <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/339/328> 2016.
- [6] M. Clemente and M. Jonathan, "Desarrollo e implementación de un analizador de calidad de energía con base en FPGA para motores trifásicos," [En línea]: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/984/1/RI000522.pdf>, 2014.
- [7] J. Hernández and A. Medina, "Conexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica: calidad de suministro," *Sumuntán*, vol. 23, pp. 33-44, [En Línea]: http://www.cismamagina.es/app_sumuntan/pdf/23/23-33.pdf 2006.
- [8] E. I. C. E. Brito Vivanco, Eduardo Luis "Implementación de un prototipo analizador de calidad de energía eléctrica para una red trifásica.," [En Línea]: <http://dSPACE.utpl.edu.ec/handle/123456789/10748>, 23 de Mayo del 2015 2015.
- [9] E. Rivel Hernández, "Diseño de un sistema prototipo para Monitorizar la Calidad de Energía en una subestación eléctrica," [En Línea]: http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3094/dise%C3%B1o_sistema_prototipo_monitorizar.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2013.
- [10] M. Lopez-Ramirez, L. M. Ledesma-Carrillo, A. L. Mart, x00Ed, H. nez, E. Cabal-Yepez, et al., "FPGA-based reconfigurable unit for real-time power quality index estimation," in *2014 International Conference on ReConFigurable Computing and FPGAs (ReConFig14)*, 2014, pp. 1-6.
- [11] G. J. B. Oswaldo, "Síntesis y validación de metodologías y algoritmos para la determinación de parámetros de calidad de energía eléctrica," [En Línea]: <http://dSPACE.utpl.edu.ec/handle/123456789/10492>, 2014.
- [12] D. Ortiz, A. Villamarín, and D. Espín, "Diseño e Implementación de un Prototipo de Unidad de Medición Fasorial (PMU-Phasor Measurement Unit) para el Monitoreo, Control y Protección de Sistemas Eléctricos," *Revista Técnica Energía*, [En Línea] <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=10a63514-dbd7-4abc-a2af-caf162e07f9d%40sessionmgr4010&vid=1&hid=4205> 2015.
- [13] R. M. M. Rosas, *Cálculo de líneas y redes eléctricas* vol. 75. [En Línea: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=bRCAY8BufxUC&oi=fnd&pg=PA11&dq=parametros+de+una+electrica&ots=SZYvCqDMWA&sig=fWlqd53jH1MVRk5Vwwrd07VCllc#v=onepage&q=parametros%20de%20una%20electrica&f=false>: Univ. Politèc. de Catalunya, 2010.
- [14] (7 de Junio). *OPEN ENERGY MONITOR*. Available: <http://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/ac-power-advanced-maths>

- [15] V. Mercado, J. Peña, and L. Pacheco, "INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA," *Ingeniería al Día*, vol. 1, 2015.
- [16] J. Balcells, "Calidad de la red eléctrica: ¿cómo medirla?," [En línea]: <http://www.jcee.upc.es/JCEE2001/PDFs>, vol. 202000, 2001.
- [17] E. TECNOLOGIA, "Medición de Parámetros de Calidad de Energía bajo el estándar IEC61000-4-30. Primera parte. Medición de Flicker en redes eléctricas.," [En Línea]: <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotab0409.pdf>, vol. 1, 14 de Junio del 2016 2009.
- [18] G. M. R. Leal, "Calidad de la Energía Eléctrica: Camino a la Normalización," *Chiapas. [En Línea]:* http://mentor.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S5/SM2008-S5B2-1188.pdf, vol. 1, pp. 580,379, 2008.
- [19] I. Usunáriz, "NORMATIVAS APLICABLES A LA CALIDAD ELÉCTRICA," [En Línea]: <http://www.isotest.es/web/Soporte/Formacion/REGLAMENTOS/Normas%20PQ.pdf>, 14 de Junio del 2016.
- [20] C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink, and R. Hansen, "National instruments LabVIEW: a programming environment for laboratory automation and measurement," *Journal of the Association for Laboratory Automation*, vol. 12, pp. 17-24, 2007.
- [21] A. Castillo, J. Vázquez, J. Ortégón, and C. Rodríguez, "Prácticas de laboratorio para estudiantes de ingeniería con FPGA," *IEEE Latin America Transactions [En línea]:* https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Castillo_Atoche/publication/3455209_Laboratory_Projects_for_Engineering_Students_with_FPGA/links/547e053d0cf241bf4b5ba181.pdf, vol. 6, pp. 130-136, 2008.
- [22] D. Ortiz, A. Villamarín, and D. Espín, "Diseño e Implementation de un Prototipo de Unidad de Medición Fasorial (PMU-Phasor Measurement Unit) para el Monitoreo, Control y Protección de Sistemas Eléctricos," *Energía: Revista Técnica*, vol. [En Línea]: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=3b28daa5-fb40-46a6-8447-aaeeb6226011%40sessionmgr120&hid=104>, 2 de Junio del 2016 2015.
- [23] E. M. Lugo Álvarez, "Desarrollo de protocolo Ethernet en FPGA para el procesamiento digital de datos de cámara termográfica," [En Línea]: <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/1229>, 2014.
- [24] J. Phillips and R. Kuhlman, "Haga más con LabVIEW 2009: Programación en paralelo, tecnologías inalámbricas y cálculos matemáticos en RT," *Revista española de electrónica*, vol. [En Línea]: http://www.redeweb.com/_txt/659/64.pdf, pp. 64-66, 2009.
- [25] J. N. Bautista, O. Alvarado-Nava, and F. M. Pérez, "Co-procesador matemático de aritmética entera basado en un FPGA," [En Línea]: <http://taee.euitt.upm.es/actas/2012/papers/2012S2A2.pdf>, 2012.
- [26] F. A. R. Aparicio, "Control por PC Introduccion a Labview," [En Línea]: <http://es.slideshare.net/josse-anlo/curso-labview-2014> 2014.
- [27] N. Instrument, "Numeric Data Types Table.," {En Línea}: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361L-01/lvhowto/numeric_data_types_table/, 2016.
- [28] I. S. O. V, "Adquisición de datos en FPGA," p. 22, 2016.
- [29] M. Moya, G. Guerrón, and A. Montero, "Sistema de Control Embebido en Tiempo Real para una Estación Meteorológica Portátil," *Enfoque UTE*, vol. 6, pp. pp. 106-114, 2015.
- [30] R. Jiménez and N. Felipe, "Diseño e implementación de un sistema embebido para la adquisición y transmisión de señales biomédicas a través de la red celular," [En Línea]: http://www.bdigital.unal.edu.co/4234/2/299696.2011_pte_2.pdf, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [31] N. Instrument, *Embedded Control and Monitoring Using LabVIEW. Course Manual.*, 2015.
- [32] I. A. Llumiquinga Llumiquinga and R. F. Beltrán Sánchez, "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para una plataforma aérea usando sistemas embebidos," [En Línea]: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15152>, Quito, 2016., 2016.

- [33] F. Mrad, N. El-Hassan, S. E. H. Mahmoud, B. Alawieh, and F. Adlouni, "Real-time control of free-standing cart-mounted inverted pendulum using LabVIEW RT," in *Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE*, 2000, pp. 1291-1298 vol.2.
- [34] E. Fernández Padrón, S. Fernández García, and R. Pérez Barrios, "LabVIEW aplicado al diagnóstico de estado en tiempo real de transformadores de potencia," *Ingeniería Energética*, vol. 33, pp. 46-58, [En Línea]: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012012000100006 2012.
- [35] N. Instrument, "Panel Frontal cRIO 9033," [En Línea]: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197D-01/cserieshelp/ni_9033/, 2016.
- [36] N. Instrument, "SPECIFICATIONS NI cRIO-9033," [En Línea]: http://www.ni.com/pdf/manuals/376211a_02.pdf, 20 Junio del 2016 2016.
- [37] N. Instrument, "NI 9227 Manual," [En línea]: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375101e.pdf>, 2016.
- [38] D. D. Engineering, "Imagen de un NI 9227," [En Línea]: <http://www.deskeng.com/de/measure-current-make-power-measurements/>, 2014.
- [39] N. Instrument, "Imagen de un NI-9244.," [En Línea]: http://www.oeshow.net/upload/store/goods/611/1434174315.jpg_max.jpg, 2016.
- [40] N. Instrument, "Manual NI 9244," [En Línea]: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376131d.pdf>, 2016.
- [41] N. Instrument, "Imagen de un NI-PS15," [En Línea]: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207473>, 2016.
- [42] N. Instrument, "Manual de un NI-PS15," [En Línea]: <http://www.ni.com/pdf/manuals/372911b.pdf>, 2016.
- [43] WattCore, "Imagen del sensor WC4-400-RA005," [En Línea]: <http://www.wattcore.com/wc4.htm>, 2016.
- [44] WattCore, "Manual del sensor WC4-400-RA005," [En Línea]: <http://www.wattcore.com/pdf/WC4%20Series%20Datasheet%20Rev04.pdf>, 2016.
- [45] "Pinzas para mediciones electricas.," in [En Línea]: <http://amigosdelmotor.com/cambiar-bateria/>, ed, 2016.
- [46] N. Support. (2015, 8 de Septiembre del 2016.). *Help Electrical Power Suit*. Available: <https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373375F-01/>
- [47] C. K. e. Í. A, "Monitoreo y análisis de variables eléctricas que permiten validar el estado actual para futuras correcciones en el suministro de energía eléctrica de cada uno de los edificios del campus UTPL," [En Línea]: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/6531>, 15 de Septiembre del 2016. 2013.
- [48] Fluke, "Fluke 433/434. Three Phase Power Quality Analyzer. Manual de Uso," [En línea]: <http://www10.ujaen.es/sites/default/files/users/ingele/manualfluke434.pdf>, 4 de Octubre del 2016. 2004.
- [49] W. Hernandez, C. Calderón-Córdova, E. Brito, E. Campoverde, V. González-Posada, and J. G. Zato, "A method of verifying the statistical performance of electronic circuits designed to analyze the power quality," *Measurement*, vol. 93, pp. 21-28, 2016.
- [50] S. Adinsoft, "XLSTAT-software, version 10," *Addinsoft, Paris, France*, 2010.
- [51] Fluke. (2016, 26 de Octubre del 2016). *Fluke 435 Serie II Medidores de calidad de energia* Available: <http://www.fluke.com/Fluke/eces/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>

ANEXOS.

ANEXO A.
HOJA DE DATOS PARA EL SENSOR WC4-400-RA005.

WC4 SERIES Split-Core Current Transformers

WC4 Series is the most popular and accurate among the WC Series. The pivot hinged design allows for tight tolerance during open/close metering & energy management applications and retrofits without dismantling power-line. This CT has WC's trademark ergonomic secure Arc-Latch™ feature along with locking and servicing date tag provisions. Install with confidence from made in America design, quality & assembly!

MECHANICAL

Window Size	1.3" x 1.7" [33.0mm x 43.1mm]
Wire Leads	6ft [1.8m] 16AWG blk/wht twisted UL1015 105°C 600V
Operating Temperature	-15°C to 65°C (90% Rel. Hum.)
Altitude	6,600ft [2012m]
Weight	1.1lbs [0.5Kg]
Keying Hole	Plastic rivet for locking or date tag
Ergonomic	Arc-Latch™ for EZ-Open, no tool

ELECTRICAL

Input (max.)	400A, AC Sine-wave 50/60Hz
Output	5A, full-scale
Accuracy (typical)	0.5%
Linearity	10% to 120%
Polarity	White (X1 - Hi), Black (X2 - Low)
Phase Direction	Arrow points toward Load
Frequency	40 to 400Hz

REGULATORY STANDARDS

Voltage Rating	600VAC, Category III
Construction	UL94V-0 flame retardant, thermoplastic 2X reinforced insulations, PD2 (optional)
Standards	IEEE C57.13 & IEC 60044-1 UL 61010-1 & CAN/CSA C22.2 IEC 61010-2 & ANSI C12.20

INSTALLATION

For indoor use only. Turn off power source before working with CTs. Observe X1X2 polarity and read manufacture's instructions of the equipment you are connecting to CTs for proper installation guide. Professional installations required for safe handling and operation.



WATTCORE LLC | Core Solutions for Energy Management™
1287 Rand Road
Des Plaines, IL 60016 (USA)
571.482.6777 | sales@wattcore.com | www.wattcore.com

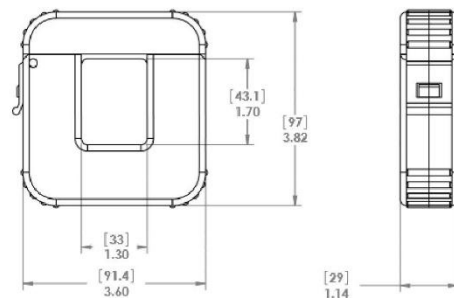


MODELS

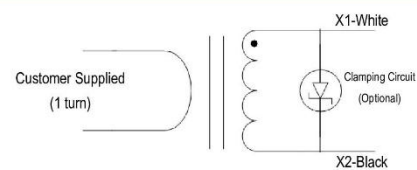
PART-NUMBER	RATIO*	ACCURACY	BURDEN (VA)
WC4-100-RA005	100:5A	1.0	1.5
WC4-200-RA005	200:5A	0.5	2.1
WC4-300-RA005	300:5A	0.5	2.4
WC4-400-RA005	400:5A	0.5	2.8

*Custom ratio output available: XXmA and 1A

DIMENSIONS [mm]



SCHEMATIC



⚠ DANGER

De-energize source before installation! Observe national and local electrical codes for safety and compliant. Licensed electricians required. Use precaution when working with electricity!

ANEXO B.
HOJA DE DATOS cRIO-9033.

SPECIFICATIONS

NI cRIO-9033

Embedded CompactRIO Controller with Real-Time Processor and Reconfigurable FPGA

This document lists the specifications for the National Instruments cRIO-9033. The following specifications are typical for the -40 °C to 70 °C operating temperature range unless otherwise noted.



Caution Do not operate the cRIO-9033 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Processor

CPU	Intel Atom E3825
Number of cores	2
CPU frequency	1.33 GHz
On-die L2 cache	1 MB (shared)

Operating System



Note For minimum software support information, visit ni.com/info and enter the Info Code `swsupport`.

Supported operating system	NI Linux Real-Time (64-bit)
----------------------------	-----------------------------



Software requirements

Application software	
LabVIEW	LabVIEW 2014 or later, LabVIEW Real-Time Module 2014 or later, LabVIEW FPGA Module 2014 or later ¹ ,
C/C++ Development Tools for NI Linux Real-Time ²	Eclipse Edition 2014 or later
Driver software	NI-RIO Device Drivers August 2014 or later

Network/Ethernet Port

Number of ports	2
Network interface	10Base-T, 100Base-TX, and 1000Base-T Ethernet
Compatibility	IEEE 802.3
Communication rates	10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps auto-negotiated
Maximum cabling distance	100 m/segment

RS-232 Serial Port

Maximum baud rate	115,200 bps
Data bits	5, 6, 7, 8
Stop bits	1, 2
Parity	Odd, Even, Mark, Space
Flow control	RTS/CTS, XON/XOFF, DTR/DSR
RI wake maximum low level	0.8 V
RI wake minimum high level	2.4 V
RI overvoltage tolerance	±24 V

¹ LabVIEW FPGA Module is not required when using Scan Interface mode. To program the user-accessible FPGA on the cRIO-9033, LabVIEW FPGA Module is required.

² C/C++ Development Tools for NI Linux Real-Time is an optional interface for C/C++ programming of the cRIO-9033 processor. Visit ni.com/info and enter Info Code RIOcdev for more information about the C/C++ Development Tools for NI Linux Real-Time.

RS-485/422 (DTE) Serial Port

Maximum baud rate	115,200 bps
Data bits	5, 6, 7, 8
Stop bits	1, 2
Parity	Odd, Even, Mark, Space
Flow control	XON/XOFF
Wire mode	4-wire, 2-wire, 2-wire auto
Isolation voltage	60 VDC continuous, port to earth ground



Note The RS-485 serial port ground and shield are not connected to chassis ground. This isolation is intended to prevent ground loops and does not meet UL ratings for safety isolation.

Cable requirement	Unshielded, 30 m maximum length (limited by EMC/surge)
-------------------	--



Note RS-485 is capable of 1.2 km (4,000 ft) length without surge limitation.

USB Ports

Number of ports	
Device ports	1 standard B connector
Host ports	2 standard A connectors



Note The USB device port is intended for use in device configuration, application deployment, debugging, and maintenance.

USB interface	USB 2.0, Hi-Speed
Maximum data rate	480 Mb/s per port
Maximum current (USB host ports)	1 A (aggregate)

Mini DisplayPort

Maximum resolution	2560 × 1600 at 60 Hz
--------------------	----------------------

SD Card Slot

SD card support	SD and SDHC standards
-----------------	-----------------------

Memory

Nonvolatile ³	
SD removable (user supplied)	Up to 32 GB
Solid-state drive	8 GB



Note Visit ni.com/info and enter the Info Code `ssdbp` for information about the life span of the nonvolatile memory and about best practices for using nonvolatile memory.

Volatile	
Processor memory	
Density	2 GB
Type	DDR3L
Maximum theoretical data rate	8.533 GB/s
Data throughput	
System memory to SD removable storage ⁴	10 MB/s
Module slots to system memory	20 MB/s, application- and system-dependent

Reconfigurable FPGA

FPGA type	Xilinx Kintex-7 7K160T
Number of flip-flops	202,800
Number of 6-input LUTs	101,400
Number of DSP slices (18 × 25 multipliers)	600
Available block RAM	11,700 kbits
Number of DMA channels	16
Number of logical interrupts	32

³ 1 MB is equal to 1 million bytes. 1 GB is equal to 1 billion bytes. The actual formatted capacity might be less.

⁴ Consult the manufacturer specifications of your SD removable storage.

Internal Real-Time Clock

Accuracy	200 ppm; 40 ppm at 25 °C
----------	--------------------------

CMOS Battery

Typical battery life with power applied to power connector	10 years
Typical battery life when stored at temperatures up to 25 °C	7.8 years
Typical battery life when stored at temperatures up to 85 °C	5.4 years

Power Requirements



Note Some C Series modules have additional power requirements. For more information about C Series module power requirements, refer to the C Series module(s) documentation.

Voltage input range (measured at the cRIO-9033 power connector)

V1	9 V to 30 V
V2	9 V to 30 V
Maximum power consumption	46 W



Note The maximum power consumption specification is based on a fully populated system running a high-stress application at elevated ambient temperature and with all C Series modules and USB devices consuming the maximum allowed power.

Typical standby power consumption	3.4 W at 24 VDC input
Recommended power supply	100 W, 24 VDC
Typical leakage current from secondary power input (V2) while system is powered from primary power input (V1)	
At 9 V	0.4 mA
At 30 V	1.93 mA



Caution Do not connect V2 to a DC mains supply or to any supply that requires a connecting cable longer than 3 m (10 ft). A DC mains supply is a local DC electricity supply network in the infrastructure of a site or building.

EMC ratings for inputs as described in IEC 61000

V1	Short lines, long lines, and DC distributed networks
V2	Short lines only
Power input connector	4-position, 3.5 mm pitch, pluggable screw terminal with screw locks, Sauro CTF04BV8-AN000A

Physical Characteristics

If you need to clean the cRIO-9033, wipe it with a dry towel.



Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the cRIO-9033, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Weight (unloaded)	1,800 g (3 lbs, 15 oz)
Dimensions (unloaded)	219.5 mm × 88.1 mm × 109.2 mm (8.64 in. × 3.47 in. × 4.30 in.)
Screw-terminal wiring	
Gauge	0.5 mm ² to 2.1 mm ² (20 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	85 °C
Torque for screw terminals	0.20 N · m to 0.25 N · m (1.8 lb · in. to 2.2 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal
Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.20 N · m to 0.25 N · m (1.8 lb · in. to 2.2 lb · in.)

Safety Voltages

Connect only voltages that are below these limits.

V1 terminal to C terminal	30 VDC maximum, Measurement Category I
V2 terminal to C terminal	30 VDC maximum, Measurement Category I
Chassis ground to C terminal	30 VDC maximum, 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 connect the cRIO-9033 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.



Note Measurement Categories CAT I and CAT O 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	-40 °C to 70 °C
Storage	-40 °C to 85 °C



Caution Failure to follow the mounting instructions in the user manual can cause temperature derating. Visit ni.com/info and enter Info Code `criomounting` for more information about mounting configurations and temperature derating.

Ingress protection	IP20
Operating humidity (IEC 60068-2-56)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-56)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree (IEC 60664)	2
Maximum altitude	5,000 m

Indoor use only.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEX)	Ex nA IIC T4 Gc

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must mount the cRIO-9033 system directly on a flat, rigid surface as described in the user manual, affix ferrules to the ends of the terminal wires, install an SD card cover (SD Door Kit, 783660-01), and use retention accessories for the USB host ports (NI Industrial USB Extender Cable, 152166-xx), USB device port (NI Locking USB Cable, 157788-01), and mini DisplayPort connector (NI Retention Accessory for Mini DisplayPort, 156866-01). All cabling should be strain-relieved near input connectors. Take care to not directionally bias cable connectors within input connectors when applying strain relief.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

Safety and Hazardous Locations 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 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 61000-6-2: Immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- EN 55022 (CISPR 22): Class A emissions
- EN 55024 (CISPR 24): Immunity
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 22: Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the [Online Product Certification](#) section.

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)
- 94/9/EC; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

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 *Minimize Our Environmental Impact* 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.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit ni.com/environment/weee.

Battery Replacement and Disposal



Battery Directive This device contains a long-life coin cell battery. If you need to replace it, use the Return Material Authorization (RMA) process or contact an authorized National Instruments service representative. For more information about compliance with the EU Battery Directive 2006/66/EC about Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators, visit ni.com/environment/batterydirective.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Worldwide Support and Services

The National Instruments website is your complete resource for technical support. At ni.com/support, you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

Visit ni.com/services for NI Factory Installation Services, repairs, extended warranty, and other services.

Visit ni.com/register to register your National Instruments product. Product registration facilitates technical support and ensures that you receive important information updates from NI.

A Declaration of Conformity (DoC) is our claim of compliance with the Council of the European Communities using the manufacturer's declaration of conformity. This system affords the user protection for electromagnetic compatibility (EMC) and product safety. You can obtain the DoC for your product by visiting ni.com/certification. If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at ni.com/calibration.

National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. National Instruments also has offices located around the world. For telephone support in the United States, create your service request at ni.com/support or dial 1 866 ASK MYNI (275 6964). For telephone support outside the United States, visit the *Worldwide Offices* section of ni.com/niglobal to access the branch office websites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

Refer to the [m](#) at ni.com/trademarks for information on National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the [patents.txt](#) file on your media, or the [m](#) at ni.com/patents. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the [x](#) [m](#) at ni.com/legal/export-compliance for the National Instruments global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2015 National Instruments. All rights reserved.

376211A-02 Oct15

ANEXO C.
HOJA DE DATOS NI - 9244.

DATASHEET

NI 9244 Datasheet

3 AI/1 Neutral, 400 Vrms L-N/690 Vrms L-L, 24 Bit, 50 kS/s/ch
Simultaneous



- Screw-terminal connectivity for up to 12 AWG cables
- Protective backshell
- 400 Vrms, CAT III, channel-to-earth working voltage

The NI 9244 is a C series analog input module that offers three channels for measurements between the signal and the neutral channel, and the neutral channel provides measurements between the neutral terminal and the chassis ground. With this configuration, you can connect single- or three-phase measurement configurations such as WYE and delta. If you are developing power monitoring, metering, or quality analysis applications, consider the NI LabVIEW Electrical Power Suite, which is compatible with both NI CompactRIO and CompactDAQ systems.

 Kit Contents	• NI 9244 • NI 9244 Getting Started Guide • NI 9968 4-Position Screw-Terminal Connector • NI 9969 Strain Relief and Operator Protection
---	---



C SERIES HIGH VOLTAGE ANALOG INPUT MODULE COMPARISON							
Product Name	Signal Levels	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Input Noise	Connectivity	Isolation/Safety Voltages
NI 9221	± 60 V	8	800 kS/s	No	0.7 LSB RMS	DSUB Screw-Terminal Spring-Terminal	Ch-Earth ground 250 Vrms, CAT II (Screw/Spring Terminal) ± 60 VDC, CAT I (DSUB)
NI 9225	300 Vrms	3	50 kS/s/ch	Yes	2 mVrms	Screw-Terminal	Ch-Ch 600 Vrms, CAT II
NI 9229	± 60 V	4	50 kS/s/ch	Yes	320 µVrms	Screw-Terminal BNC	Ch-Earth ground 250 Vrms, CAT II (Screw-Terminal) ±60 VDC, CAT I (BNC)
NI 9242	250 Vrms L-N 400 Vrms L-L	3 AI 1 Neutral	50 kS/s/ch	Yes	3 mVrms	Screw-Terminal	Ch-Earth ground 250 Vrms, CAT III
NI 9244	400 Vrms L-N 690 Vrms L-L	3 AI 1 Neutral	50 kS/s/ch	Yes	6 mVrms	Screw-Terminal	Ch-Earth ground 400 Vrms, CAT II, or 300 Vrms CATIII at 5,000 m altitude

NI C Series Overview



NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

CompactRIO



CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

CompactDAQ

CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity, data acquisition, and signal conditioning into modular I/O for directly interfacing to any sensor or signal. Using CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, visualize, and manage your measurement data.



Software

LabVIEW Professional Development System for Windows



- Use advanced software tools for large project development
- Generate code automatically using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

NI LabVIEW FPGA Module



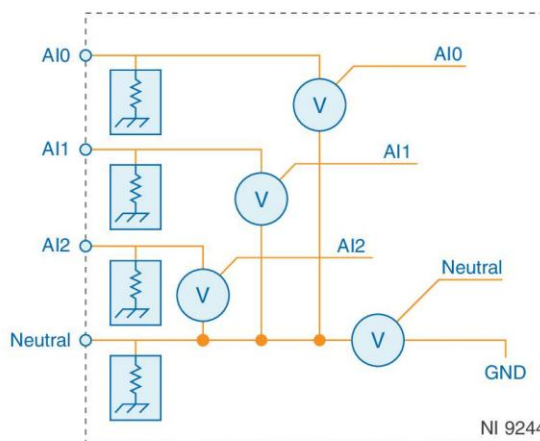
- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

NI LabVIEW Real-Time Module



- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

Input Circuitry



- Each channel on the NI 9244 provides an independent signal path and ADC. Each terminal has the same input impedance to ground.
- The NI 9244 returns the voltage between each AI terminal and the Neutral terminal as well as the voltage between the Neutral terminal and the chassis ground.

Filtering

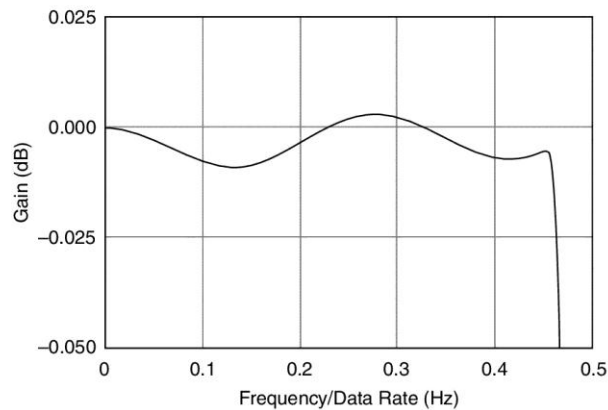
The NI 9244 uses a combination of analog and digital filtering to provide an accurate representation of in-band signals and reject out-of-band signals. The filters discriminate between signals based on the frequency range, or bandwidth, of the signal. The three important bandwidths to consider are the passband, the stopband, and the anti-imaging bandwidth.

The NI 9244 represents signals within the passband, as quantified primarily by passband ripple and phase nonlinearity. All signals that appear in the alias-free bandwidth are either unaliased signals or signals that have been filtered by at least the amount of the stopband rejection.

Passband

The signals within the passband have frequency-dependent gain or attenuation. The small amount of variation in gain with respect to frequency is called the passband flatness. The digital filters of the NI 9244 adjust the frequency range of the passband to match the data rate. Therefore, the amount of gain or attenuation at a given frequency depends on the data rate.

Figure 1. Typical Passband Response for the NI 9244



Stopband

The filter significantly attenuates all signals above the stopband frequency. The primary goal of the filter is to prevent aliasing. Therefore, the stopband frequency scales precisely with the data rate. The stopband rejection is the minimum amount of attenuation applied by the filter to all signals with frequencies within the stopband.

Alias-Free Bandwidth

Any signals that appear in the alias-free bandwidth are not aliased artifacts of signals at a higher frequency. The alias-free bandwidth is defined by the ability of the filter to reject frequencies above the stopband frequency. The alias-free bandwidth is equal to the data rate minus the stopband frequency.

Data Rates

The frequency of a master timebase (f_M) controls the data rate (f_s) of the NI 9244. The NI 9244 includes an internal master timebase with a frequency of 12.8 MHz, but the module also can accept an external master timebase or export its own master timebase. To synchronize the data rate of an NI 9244 with other modules that use master timebases to control sampling, all of the modules must share a single master timebase source.

The following equation provides the available data rates of the NI 9244:

$$f_s = \frac{f_M \div 256}{n}$$

where n is any integer from 1 to 31.

However, the data rate must remain within the appropriate data rate range. When using the internal master timebase of 12.8 MHz, the result is data rates of 50 kS/s, 25 kS/s, 16.667 kS/s, and so on down to 1.613 kS/s depending on the value of n . When using an external timebase with a frequency other than 12.8 MHz, the NI 9244 has a different set of data rates.



Note The NI 9151 R Series Expansion chassis does not support sharing timebases between modules.

NI 9244 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted.



Caution Do not operate the NI 9244 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Input Characteristics

Scaling coefficient	118,911 nV/LSB
Number of channels	4 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	12.8 MHz
Accuracy	±100 ppm maximum
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	1.613 kS/s
Maximum	50 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	390.625 S/s
Maximum	51.2 kS/s

Data rates (f_s) ¹	$\frac{f_M \div 256}{n}$, n = 1, 2, ..., 31
Input voltage range (AIx-to-Ground, Neutral-to-Ground, AIx-to-Neutral)	
Typical	997.5 Vpk
Minimum	992 Vpk
Overvoltage withstand	800 Vrms continuous, 1000 Vrms for 1 s
Surge withstand	8 kV (1.2 μ s/50 μ s)
Input coupling	DC
Input impedance, AIx-to-Ground and Neutral-to-Ground	2 M Ω

Table 1. DC and AC Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range (Offset Error) ²
Calibrated	Maximum, (-40 °C to 70 °C)	0.17%	0.14%
	Typical, (23 °C $\pm$ 5 °C)	0.043%	0.012%



Note Accuracy specifications are valid for L-L, L-N and L-Earth measurements.

Input noise at 50 kS/s ³	
N-Earth and L-Earth	4.22 mVrms
L-N and L-L	6 mVrms



Note When measuring the amplitude of the fundamental frequency over one or several power cycles, the noise of the measurement reduces significantly (theoretically with the square root of the number of samples in the acquisition window).

Nonlinearity (at 25 °C)	24 ppm
Stability	
Gain drift	5 ppm/°C
Offset drift	6 mV/°C

¹ The data rate must remain within the appropriate data rate range.

² Range equals 565.7 V (400 Vrms)

³ The module returns L-N and N-Earth values only.

Post calibration gain match (channel-to-channel, maximum)

Up to 20 kHz	109 mdB
Up to 10 kHz	39 mdB
Up to 3.8 kHz	19 mdB
Phase mismatch (channel-to-channel)	0.202°/ kHz maximum
Phase mismatch (module-to-module, maximum)	0.202°/kHz + 360° * f_{in}/f_M
Phase nonlinearity ($f_s = 50$ kS/s)	
0 kHz to 10 kHz	0.02° maximum
0 kHz to 20 kHz	0.06° maximum
Input delay	$40\frac{5}{512}/f_s + 1.7 \mu s$
Passband Frequency	$0.453 * f_s$
Flatness	
0 kHz to 20 kHz	±100 mdB maximum
0 kHz to 10 kHz	±20 mdB maximum
Negative phase sequence error at 50 Hz and 60 Hz	
At 5% unbalance	
Maximum	0.13%
Typical	0.05%
At 1% unbalance	
Maximum	0.13%
Typical	0.05%
Zero phase sequence error at 50 Hz and 60 Hz	
At 5% unbalance	
Maximum	0.13%
Typical	0.05%
At 1% unbalance	
Maximum	0.13%
Typical	0.05%
Stopband	
Frequency	$0.547 * f_s$
Rejection	-95 dB
Alias-free bandwidth	$0.453 * f_s$

Anti-alias rejection ($f_s = 50$ kS/s)	50 dB
-3 dB bandwidth ($f_s = 50$ kS/s)	$0.49 * f_s$
Crosstalk	
60 Hz	-100 dB
1 kHz	-74 dB
CMRR ($f_{in} = 60$ Hz)	-78 dB
SFDR (1 kHz, -60 dBFS)	-120 dB
Total Harmonic Distortion (THD), up to 1 kHz	-98 dB

Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	332 mW maximum
Sleep mode	50 μ W maximum
Thermal dissipation	
Active mode	652 mW maximum
Sleep mode	320 μ W maximum

Physical Characteristics

Screw-terminal wiring	
Gauge	0.2 mm ² to 3.0 mm ² (24 AWG to 12 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	7 mm (0.28 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.5 N · m to 0.6 N · m (4.4 lb · in. to 5.3 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal
Ferrules	0.25 mm ² to 2.5 mm ²
Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.5 N · m (4.42 lb · in.)

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Maximum working voltage, channel-to-earth ground	
Up to 2,000 m altitude	
Continuous	400 Vrms, Measurement Category III
Up to 5,000 m altitude	
Continuous	400 Vrms, Measurement Category II or 300 Vrms, Measurement Category III
Division 2 and Zone 2 hazardous locations applications	
Channel-to-earth ground	300 Vrms, Measurement Category III

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.

Measurement Category III is for measurements performed in the building installation at the distribution level. This category refers to measurements on hard-wired hardware such as hardware in fixed installations, distribution boards, and circuit breakers. Other examples are wiring, including cables, bus bars, junction boxes, switches, socket outlets in the fixed installation, and stationary motors with permanent connections to fixed installations.



Caution Do not connect the NI 9244 to signals or use for measurements within Measurement Category IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

Safety and Hazardous Locations 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 61010-1
- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4

- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- EN 55022 (CISPR 22): Class A emissions
- EN 55024 (CISPR 24): Immunity
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 22: Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the [Online Product Certification](#) section.

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)
- 94/9/EC; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

Environmental

Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 85 °C
Ingress protection	IP40
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-78)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	5,000 m

Indoor use only.

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 *Minimize Our Environmental Impact* 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.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit ni.com/environment/weee.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

 **中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Calibration

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9244 at ni.com/calibration.

Calibration interval	1 year
----------------------	--------

Refer to the *m* at ni.com/trademarks for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *m* at ni.com/patents. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *x m m* at ni.com/legal/export-compliance for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2016 National Instruments. All rights reserved.

376131A-02 Apr16

ANEXO D.
HOJA DE DATOS NI - 9227.

Ordering Information | Detailed Specifications | Pinouts/Front Panel Connections
For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2014-11-06 07:14:17.0

NI 9227

5 Arms, Simultaneous Current Input, 50 kS/s 4 Ch Module



- 4 differential channels, 50 kS/s/ch sample rate
- 5 Arms (14 A peak) measurement range, 24-bit resolution
- Built-in anti-alias filters
- 250 Vrms channel-to-channel, CAT II isolation
- Screw-terminal connectivity
- -40 °C to 70 °C operating, 5 g vibration, 50 g shock

Overview

The NI 9227 C Series current input module was designed to measure 5 Arms nominal and up to 14 A peak on each channel with channel-to-channel isolation.

When used with the NI 9225, NI 9242, or NI 9244 high-voltage modules, the NI 9227 current module can measure power and energy consumption for applications such as appliance and electronic device test. With up to 50 kS/s per channel simultaneous sampling, you can measure and meter current and power but as well as look at quality factors such as noise, frequency, and harmonics.

Recommended Accessories

-NI 9971 strain relief and operator protection

Box Contents

- 1 NI 9227 C Series module
- 1 NI 9227 Operating Instructions and Specifications manual
- 4 NI 9976 two-position screw-terminal connectors

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Product Name	Signal Ranges	Channels	Sample Rate	Simultaneous	Resolution	Filter	Isolation	Connectivity
NI 9203	±20 mA	8 Single-Ended	200 kS/s	No	16-Bit	None	250 Vrms Ch-Earth	Screw Terminal
NI 9207	±21.5 mA, ±10 V	8 Single-Ended (Current), 8 Single-Ended (Voltage)	500 S/s	No	24-Bit	50/60 Hz	60 VDC Ch-Earth	37-Pin D-SUB
NI 9208	±21.5 mA	16 Single-Ended	500 S/s	No	24-Bit	50/60 Hz	60 VDC Ch-Earth	37-Pin D-SUB
NI 9227	5 Arms	4 Differential	50 kS/s/ch	Yes	24-Bit	Anti-Alias	250 Vrms Ch-Ch	Screw Terminal

[Back to Top](#)

Application and Technology

NI C Series Overview



NI C Series modules are designed to provide high-accuracy measurements to meet the demands of advanced DAQ and control applications. Each module contains measurement-specific signal conditioning to connect to an array of sensors and signals, bank and channel-to-channel isolation options, and support for wide temperature ranges to meet a variety of application and environmental needs all in a single rugged package. You can choose from more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication to connect your applications to any sensor on any bus.

You can use the majority of C Series I/O modules in both the NI CompactDAQ and NI CompactRIO platforms. The modules are identical, and you can move them from one platform to the other with no modification.

NI CompactRIO Platform



Powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture, NI CompactRIO combines an open embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and hot-swappable industrial I/O modules. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of modular I/O to meet any embedded application requirement.

[Configure Your Complete NI CompactRIO System](#)

NI CompactDAQ Platform



NI CompactDAQ is a portable, rugged data acquisition platform that integrates connectivity and signal conditioning into modular I/O to directly interface with any sensor or signal. Using NI CompactDAQ with LabVIEW, you can easily customize how you acquire, analyze, present, and manage your measurement data. From research to development to validation, NI provides programmable software, high-accuracy measurements, and local technical support to help ensure you meet your exact measurement application requirements.

[Configure Your Complete NI CompactDAQ System](#)

[Back to Top](#)

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
No accessories required.			

[Back to Top](#)

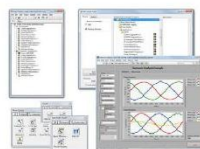
Software Recommendations

LabVIEW Professional Development System for Windows



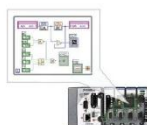
- Advanced software tools for large project development
- Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Tight integration with a wide range of hardware
- Advanced measurement analysis and digital signal processing
- Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

NI LabVIEW Electrical Power Suite



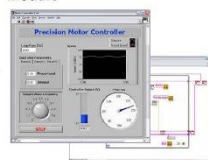
- Measure power quality and energy features to IEC, EN, and IEEE standards
- Harmonics (IEC 61000-4-7) and Flicker (IEC 61000-4-15)
- Phasor measurement unit (C37.118) [Professional Edition Only]
- Sag/swell/interruption with standard or custom levels (IEC 61000-4-30)
- Rapid voltage change with standard or custom levels (IEC 61000-4-30)
- Compatibility with the COMTRADE (IEEE 37.111) file format

NI LabVIEW FPGA Module



- Design FPGA applications for NI reconfigurable I/O (RIO) hardware targets
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx CORE Generator functions
- Included in the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

NI LabVIEW Real-Time Module



- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Includes real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the range – 40 to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AI– signal on each channel unless otherwise noted.

 **Caution** The input terminals of this device are not protected for electromagnetic interference. As a result, this device may experience reduced measurement accuracy or other temporary performance degradation when connected cables are routed in an environment with radiated or conducted radio frequency electromagnetic interference. To limit radiated emissions and to ensure that this device functions within specifications in its operational electromagnetic environment, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables.

Input Characteristics	
Number of channels	4 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	12.8 MHz
Accuracy	±100 ppm max
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	1.613 kS/s
Maximum	50 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	390.6 S/s
Maximum	51.2 kS/s
Data rates ¹ (f_s)	$\frac{f_M \div 256}{n}, n = 1, 2, \dots, 31$
Safe operating input range ^{2, 3}	5 A _{rms}
Overcurrent handling ⁴	10 A _{rms} for 1 s max with 19 s minimum cool down time at 5 A _{rms}
Instantaneous measuring range ⁵	
Minimum	14.051 ADC
Typical	14.977 ADC, at 23 ±5 °C
Typical scaling coefficient	1.785397 µA/LSB
Input coupling	DC

Input impedance (AI+ to AI-)	12 mΩ
Input noise ($f_s = 50$ kS/s)	400 μA_{rms}

Accuracy at safe operating range of 5 A_{rms}		
Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range ⁶ (Offset Error)
Calibrated max (– 40 to 70 °C)	±0.37%	±0.18%
Calibrated typ (23 °C, ±5 °C)	±0.1%	±0.05%
Uncalibrated max (– 40 to 70 °C)	±5.0%	±2.4%
Uncalibrated typ (23 °C, ±5 °C)	±2.5%	±1.0%

Accuracy at operating range of 10 A_{rms}		
Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range ⁷ (Offset Error)
Calibrated max (– 40 to 70 °C)	±0.38%	±0.19%

Stability	
Gain drift	±21 ppm/°C
Offset drift	±51 $\mu A/°C$
Post calibration gain match (ch-to-ch, $f_{in} = 20$ kHz)	±130 mdB max
Crosstalk	
($f_{in} = 1$ kHz)	–90 dB
($f_{in} = 50$ Hz)	–115 dB
Phase match ($f_{in} = 20$ kHz)	
Ch-to-ch, max	0.1°/kHz
Module-to-module, max	0.1°/kHz + 360° · f_{in} / f_M
Phase linearity ($f_s = 50$ kS/s)	0.1° max
Input delay	38.4/fs + 3.2 s
Passband	
Frequency	0.453 · f_s
Flatness ($f_s = 50$ kS/s)	±100 mdB max
Stopband	
Frequency	0.547 · f_s
Rejection	100 dB
Alias-free bandwidth	0.453 · f_s min
–3 dB bandwidth ($f_s = 50$ kS/s)	24.609 kHz
CMRR ($f_{in} = 50$ Hz)	150 dB
SFDR ($f_{in} = 1$ kHz, –60 dB)	110 dB
Total Harmonic Distortion (THD) ($f_{in} = 1$ kHz, –1 dBFS)	–95 dB
MTBF	Contact NI for Bellcore MTBF or MIL-HDBK-217F specifications.

Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode	730 mW max
Sleep mode	50 μW max
Thermal dissipation (at 70 °C) ⁸	
Active mode	1.23 W max

Sleep mode	500 mW max
------------	------------

Physical Characteristics

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

 **Note** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG copper conductor wire with 7 mm (0.28 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals	0.22 to 0.25 N · m (1.95 to 2.21 lb · in.)
Ferrules	0.25 mm ² to 0.5 mm ²
Weight	145 g (5.1 oz)

Safety

Isolation Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-channel	
Continuous	250 V _{rms} , Measurement Category II
Withstand	1,390 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 V _{rms} , Measurement Category II
Withstand	2,300 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test
Zone 2 hazardous locations applications	
Maximum voltage (channel-to-earth ground and channel-to-channel)	60 VDC, 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 connect to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.

 **Caution** Do not connect to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (DEMKO)	Ex nA IIC T4

Safety Standards

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

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

 **Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

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

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions

 **Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

 **Note** For EMC compliance, operate this device with shielded cables.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system and either affix ferrules to the ends of the terminal wires or use the NI 9971 backshell kit to protect the connections.

Operating vibration

Random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations

Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	– 40 to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	– 40 to 100 °C
Ingress protection	IP 40
Operating humidity (IEC 60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree	2

Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* 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.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of their life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/wEEE.htm.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Calibration

You can obtain the calibration certificate for this device at ni.com/calibration.

Calibration interval	1 year
----------------------	--------

¹ The data rate must remain within the appropriate data rate range. Refer to the *Understanding NI 9227 Data Rates* section for more information.

² Refer to the *Safety Guidelines* section for more information about safe operating voltages.

³ The maximum recommended continuous RMS current value applied simultaneously on all 4 channels to keep the power dissipation inside the module within safe operating limits.

⁴ Overcurrent conditions to keep the module operating within specified limits.

⁵ The maximum DC current that produces a non-saturated reading.

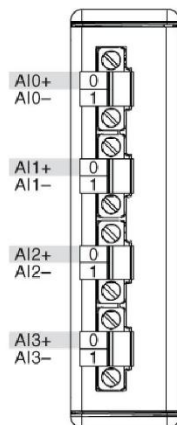
⁶ Range equals 7.07 A peak (5 A_{rms}).

⁷ Range equals 7.07 A peak (5 A_{rms}).

⁸ Measured with 5 A_{rms} on each channel.

[Back to Top](#)

Pinouts/Front Panel Connections



NI 9227 Terminal Assignments

[Back to Top](#)

©2014 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, LabVIEW, NI, ni.com, and NI CompactDAQ are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

ANEXO E.
HOJA DE DATOS NI PS-15.

Power Supply

NI PS-15 Power Supply User Manual

June 2011
372911B-01



Worldwide Technical Support and Product Information

ni.com

Worldwide Offices

Visit ni.com/niglobal to access the branch office Web sites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

National Instruments Corporate Headquarters

11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 512 683 0100

For further support information, refer to the *Technical Support and Professional Services* appendix. To comment on National Instruments documentation, refer to the National Instruments Web site at ni.com/info and enter the Info Code `feedback`.

© 2009–2011 National Instruments Corporation. All rights reserved.

Important Information

Warranty

The NI PS-15 is warranted against defects in materials and workmanship for a period of one year from the date of shipment, as evidenced by receipts or other documentation. National Instruments will, at its option, repair or replace equipment that proves to be defective during the warranty period. This warranty includes parts and labor.

The media on which you receive National Instruments software are warranted not to fail to execute programming instructions, due to defects in materials and workmanship, for a period of 90 days from date of shipment, as evidenced by receipts or other documentation. National Instruments will, at its option, repair or replace software media that do not execute programming instructions if National Instruments receives notice of such defects during the warranty period. National Instruments does not warrant that the operation of the software shall be uninterrupted or error free.

A Return Material Authorization (RMA) number must be obtained from the factory and clearly marked on the outside of the package before any equipment will be accepted for warranty work. National Instruments will pay the shipping costs of returning to the owner parts which are covered by warranty.

National Instruments believes that the information in this document is accurate. The document has been carefully reviewed for technical accuracy. In the event that technical or typographical errors exist, National Instruments reserves the right to make changes to subsequent editions of this document without prior notice to holders of this edition. The reader should consult National Instruments if errors are suspected. In no event shall National Instruments be liable for any damages arising out of or related to this document or the information contained in it.

EXCEPT AS SPECIFIED HEREIN, NATIONAL INSTRUMENTS MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. CUSTOMER'S RIGHT TO RECOVER DAMAGES CAUSED BY FAULT OR NEGLIGENCE ON THE PART OF NATIONAL INSTRUMENTS SHALL BE LIMITED TO THE AMOUNT THEREFORE PAID BY THE CUSTOMER. NATIONAL INSTRUMENTS WILL NOT BE LIABLE FOR DAMAGES RESULTING FROM LOSS OF DATA, PROFITS, USE OF PRODUCTS, OR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF. This limitation of the liability of National Instruments will apply regardless of the form of action, whether in contract or tort, including negligence. Any action against National Instruments must be brought within one year after the cause of action accrues. National Instruments shall not be liable for any delay in performance due to causes beyond its reasonable control. The warranty provided herein does not cover damages, defects, malfunctions, or service failures caused by owner's failure to follow the National Instruments installation, operation, or maintenance instructions; owner's modification of the product; owner's abuse, misuse, or negligent acts; and power failure or surges, fire, flood, accident, actions of third parties, or other events outside reasonable control.

Copyright

Under the copyright laws, this publication may not be reproduced or transmitted in any form, electronic or mechanical, including photocopying, recording, storing in an information retrieval system, or translating, in whole or in part, without the prior written consent of National Instruments Corporation.

National Instruments respects the intellectual property of others, and we ask our users to do the same. NI software is protected by copyright and other intellectual property laws. Where NI software may be used to reproduce software or other materials belonging to others, you may use NI software only to reproduce materials that you may reproduce in accordance with the terms of any applicable license or other legal restriction.

Trademarks

LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, the National Instruments corporate logo, and the Eagle logo are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Trademark Information* at ni.com/trademarks for other National Instruments trademarks.

Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies.

Members of the National Instruments Alliance Partner Program are business entities independent from National Instruments and have no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

Patents

For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents.

Export Compliance Information

Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the National Instruments global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data.

WARNING REGARDING USE OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS

(1) NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE NOT DESIGNED WITH COMPONENTS AND TESTING FOR A LEVEL OF RELIABILITY SUITABLE FOR USE IN OR IN CONNECTION WITH SURGICAL IMPLANTS OR AS CRITICAL COMPONENTS IN ANY LIFE SUPPORT SYSTEMS WHOSE FAILURE TO PERFORM CAN REASONABLY BE EXPECTED TO CAUSE SIGNIFICANT INJURY TO A HUMAN.

(2) IN ANY APPLICATION, INCLUDING THE ABOVE, RELIABILITY OF OPERATION OF THE SOFTWARE PRODUCTS CAN BE IMPAIRED BY ADVERSE FACTORS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO FLUCTUATIONS IN ELECTRICAL POWER SUPPLY, COMPUTER HARDWARE MALFUNCTIONS, COMPUTER OPERATING SYSTEM SOFTWARE FITNESS, FITNESS OF COMPILERS AND DEVELOPMENT SOFTWARE USED TO DEVELOP AN APPLICATION, INSTALLATION ERRORS, SOFTWARE AND HARDWARE COMPATIBILITY PROBLEMS, MALFUNCTIONS OR FAILURES OF ELECTRONIC MONITORING OR CONTROL DEVICES, TRANSIENT FAILURES OF ELECTRONIC SYSTEMS (HARDWARE AND/OR SOFTWARE), UNANTICIPATED USES OR MISUSES, OR ERRORS ON THE PART OF THE USER OR APPLICATIONS DESIGNER (ADVERSE FACTORS SUCH AS THESE ARE HEREAFTER COLLECTIVELY TERMED "SYSTEM FAILURES"). ANY APPLICATION WHERE A SYSTEM FAILURE WOULD CREATE A RISK OF HARM TO PROPERTY OR PERSONS (INCLUDING THE RISK OF BODILY INJURY AND DEATH) SHOULD NOT BE RELIANT SOLELY UPON ONE FORM OF ELECTRONIC SYSTEM DUE TO THE RISK OF SYSTEM FAILURE. TO AVOID DAMAGE, INJURY, OR DEATH, THE USER OR APPLICATION DESIGNER MUST TAKE REASONABLY PRUDENT STEPS TO PROTECT AGAINST SYSTEM FAILURES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO BACK-UP OR SHUT DOWN MECHANISMS. BECAUSE EACH END-USER SYSTEM IS CUSTOMIZED AND DIFFERS FROM NATIONAL INSTRUMENTS' TESTING PLATFORMS AND BECAUSE A USER OR APPLICATION DESIGNER MAY USE NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS IN COMBINATION WITH OTHER PRODUCTS IN A MANNER NOT

EVALUATED OR CONTEMPLATED BY NATIONAL INSTRUMENTS, THE USER OR APPLICATION DESIGNER IS ULTIMATELY RESPONSIBLE FOR VERIFYING AND VALIDATING THE SUITABILITY OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS WHENEVER NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE INCORPORATED IN A SYSTEM OR APPLICATION, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE APPROPRIATE DESIGN, PROCESS AND SAFETY LEVEL OF SUCH SYSTEM OR APPLICATION.

Compliance

Electromagnetic Compatibility Information

This hardware has been tested and found to comply with the applicable regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) as indicated in the hardware's Declaration of Conformity (DoC)¹. These requirements and limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the hardware is operated in the intended electromagnetic environment. In special cases, for example when either highly sensitive or noisy hardware is being used in close proximity, additional mitigation measures may have to be employed to minimize the potential for electromagnetic interference.

While this hardware is compliant with the applicable regulatory EMC requirements, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. To minimize the potential for the hardware to cause interference to radio and television reception or to experience unacceptable performance degradation, install and use this hardware in strict accordance with the instructions in the hardware documentation and the DoC¹.

If this hardware does cause interference with licensed radio communications services or other nearby electronics, which can be determined by turning the hardware off and on, you are encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- Reorient the antenna of the receiver (the device suffering interference).
- Relocate the transmitter (the device generating interference) with respect to the receiver.
- Plug the transmitter into a different outlet so that the transmitter and the receiver are on different branch circuits.

Some hardware may require the use of a metal, shielded enclosure (windowless version) to meet the EMC requirements for special EMC environments such as, for marine use or in heavy industrial areas. Refer to the hardware's user documentation and the DoC¹ for product installation requirements.

When the hardware is connected to a test object or to test leads, the system may become more sensitive to disturbances or may cause interference in the local electromagnetic environment.

Operation of this hardware in a residential area is likely to cause harmful interference. Users are required to correct the interference at their own expense or cease operation of the hardware.

Changes or modifications not expressly approved by National Instruments could void the user's right to operate the hardware under the local regulatory rules.

¹ The Declaration of Conformity (DoC) contains important EMC compliance information and instructions for the user or installer. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Contents

About This Manual

Conventions	viii
Related Documentation	ix

Chapter 1

Getting Started

Unpacking	1-1
What You Need to Get Started	1-1
Key Features	1-1
Power Supply Description	1-2
Output Terminals	1-3
Output Voltage Potentiometer	1-4
DC OK LED	1-4
Input Terminals	1-4
Mounting Equipment	1-5
Side Mounting Kit	1-5
Panel Mounting Kit	1-5

Chapter 2

Installation and Configuration

Mounting Orientation and Installation	2-1
Wiring The Terminals	2-3
Operating the NI PS-15	2-5
Serial Operation	2-5
Parallel Operation	2-6
Two-Phase Power Operation	2-6
External Input Protection	2-7
Operation in a Sealed Enclosure	2-7
Cooling	2-8
Hazardous Risks	2-8
Service Parts	2-8
Peak Current Capability	2-9
Charging Batteries	2-9
Back Feeding Loads	2-10
Output Circuit Breakers	2-10
Inductive and Capacitive Loads	2-12

Appendix A Specifications

Dimensions and Weight	A-1
AC Input	A-3
Input Current Inrush Surge.....	A-5
Hold-up Time	A-6
Output.....	A-7
Peak Current Capability.....	A-8
Efficiency and Power Losses.....	A-8
Reliability	A-9
Dielectric Strength.....	A-10
Used Substances	A-11
Environment	A-12
Protection Features	A-13

Appendix B Technical Support and Professional Services

Index

About This Manual

The *NI PS-15 Power Supply User Manual* describes the features and specifications of the NI PS-15 power supply and contains information about installing the power supply.

Conventions

The following conventions are used in this manual:

»	The » symbol leads you through nested menu items and dialog box options to a final action. The sequence Options»Settings»General directs you to pull down the Options menu, select the Settings item, and select General from the last dialog box.
	This icon denotes a note, which alerts you to important information.
	This icon denotes a caution, which advises you of precautions to take to avoid injury, data loss, or a system crash.
	When this symbol is marked on a product, it denotes a warning advising you to take precautions to avoid electrical shock.
bold	Bold text denotes items that you must select or click in the software, such as menu items and dialog box options. Bold text also denotes parameter names.
<i>italic</i>	Italic text denotes variables, emphasis, a cross-reference, or an introduction to a key concept. Italic text also denotes text that is a placeholder for a word or value that you must supply.
<code>monospace</code>	Text in this font denotes text or characters that you should enter from the keyboard, sections of code, programming examples, and syntax examples. This font is also used for the proper names of disk drives, paths, directories, programs, subprograms, subroutines, device names, functions, operations, variables, filenames, and extensions.

Related Documentation

The following documents contain information that you might find helpful as you read this manual:

- *NI PS-15/16/17 Side Mount Brackets Installation Guide*
- *NI PS-15/16/17 Panel Mount Brackets Installation Guide*
- *NI PS-15/16/17 Instruction Manual*

Getting Started

This chapter describes the key features of the NI PS-15 power supply and lists the kit contents and mounting equipment you can order from National Instruments.

Unpacking

Carefully inspect the shipping container and the power supply for damage. Check for visible damage to the metal work. If damage appears to have been caused during shipment, file a claim with the carrier. Retain the packing material for possible inspection and/or reshipment.

What You Need to Get Started

The NI PS-15 power supply kit contains the following items:

- ☐ NI PS-15 power supply
- ☐ Printed *NI PS-15/16/17 Instruction Manual*

Key Features

The NI PS-15 includes a power reserve of 20%. This extra current may be used continuously at temperatures up to +45 °C. Additionally, the AC 100–120 V/200–240 V Auto-select input makes worldwide installation and usage very simple.

The key features of the NI PS-15 power supply include the following:

- Small size—power supply width of only 32 mm
- High efficiency—efficiency up to 90.2%
- Wide temperature range—full output power between –25 °C and +60 °C
- AC 100–120/200–240 V Auto-select input
- 20% output power reserves
- Minimal inrush current surge



Hazardous Voltages Must be mounted in an enclosure by qualified personnel.

This power supply is designed for installation in an enclosure and is intended for general use, such as in industrial control, office, communication, and instrumentation equipment. Do not use this device in aircraft, trains and nuclear equipment, where malfunctioning of the power supply may cause severe personal injury or threaten human life. For more information, refer to Appendix A, *Specifications*.

Power Supply Description

Figures 1-1 and 1-2 show the functional description and front panel features of the NI PS-15 power supply.

Figure 1-1 provides the functional diagram for the NI PS-15.

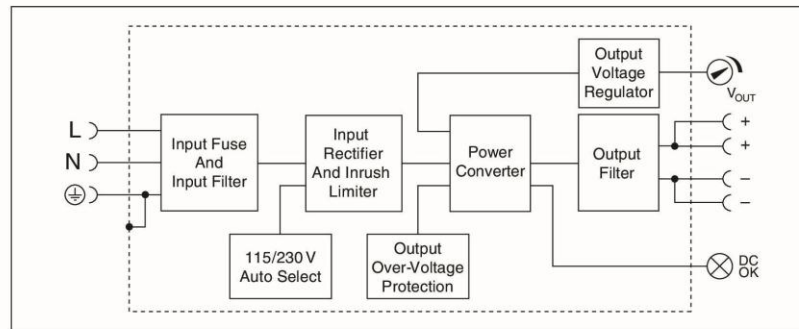


Figure 1-1. Functional Diagram for the NI PS-15 Power Supply

Figure 1-2 provides the front panel features of the NI PS-15.

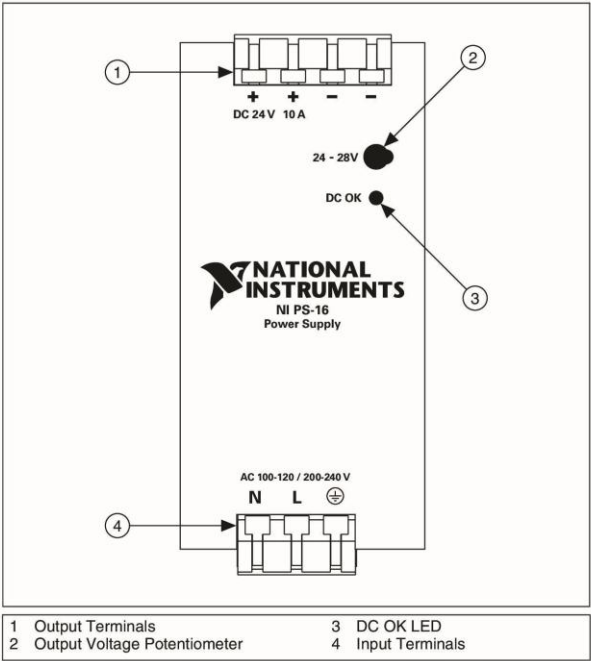


Figure 1-2. Front View of the NI PS-15 Power Supply

Output Terminals

The NI PS-15 has a total of four output terminals, providing two positive (+) output terminals and two negative (–) output terminals. Both positive terminals are wired together internally, and both negative terminals are wired together internally, as shown in Figure 1-1. The output terminals provide 24 V_{DC} with 5 A of current.

Output Voltage Potentiometer



Note You must open the protective flap to turn the potentiometer.

Output voltage from the NI PS-15 is set by the output voltage potentiometer, shown in Figure 1-2. The factory setting output voltage is $24.1\text{ V} \pm 0.2\%$ (at full load when the power supply is cold), and the potentiometer allows the output voltage to be adjusted from 24–28 V on any unit. The output voltage may be adjusted above 28 V by the potentiometer, but voltages beyond 28 V are *not* guaranteed.



Note Output voltages greater than 28 V are not supported on an NI PS-15 unit.

DC OK LED

This green LED indicates the status of available DC power through the output terminals. If the LED is lit, DC output of greater than 21 V is available for use through the output terminals. If the LED is not lit, DC is not currently available. The DC OK LED is wired internally to the power conversion circuitry prior to the output filtering stage, as shown in Figure 1-1.

If the DC OK LED does not light when power is provided through the input terminals, it may indicate a problem with the power supply. Contact National Instruments for more details.

Input Terminals



Caution National Instruments recommends that you wire all three input terminals for proper operation of the NI PS-15.

The NI PS-15 power supply derives power through the input terminals on the front panel, shown in Figure 1-2. There are three terminals corresponding to the Neutral input, the Line (or hot) input, and the Protective Earth (PE) input. The NI PS-15 rectifies both single-phase and two-phase AC input. The Neutral input terminal provides a MAINS return path for the input circuitry. The Line input is the primary power input for the supply. The PE input corresponds to an earth ground. As shown in Figure 1-1, the power supply case itself is grounded to the PE input.

Mounting Equipment

Contact National Instruments to order the following mounting options for the NI PS-15 power supply. Refer to Table 1-1 for part numbers.

Table 1-1. Mounting Equipment

Part Number	Mounting Kit
199429-01	SIDE MOUNTING KIT FOR NI PS-15
199432-01	PANEL MOUNTING KIT FOR NI PS-15/16/17

Side Mounting Kit

The Side Mounting Kit (199429-01) allows you to mount the NI PS-15 on its side to a wall, panel surface, or a DIN-Rail for reduced installation depth. Refer to the *NI PS-15/16/17 Side Mount Brackets Installation Guide* at ni.com for more information.

Panel Mounting Kit

The Panel Mounting Kit (199432-01) allows you to mount the NI PS-15 to a wall or panel surface without using a DIN-Rail. Refer to the *NI PS-15/16/17 Panel Mount Brackets Installation Guide* at ni.com for more information.

Installation and Configuration

This chapter describes how to prepare and operate the NI PS-15 power supply.

Mounting Orientation and Installation

This section describes the different mounting orientations, and the effect that mounting orientation has on power supply performance.

Mounting orientations other than input terminals on the bottom and output on the top require a reduction in continuous output power or a limitation in the maximum allowed ambient temperature. The amount of reduction influences the lifetime expectancy of the power supply. Therefore, two different derating curves for continuous operation are referenced in Figure 2-1:

- **Curve A1**—Recommended output current.
- **Curve A2**—Maximum allowed output current (which results in approximately half the lifetime expectancy for the power supply when following curve A1).



Note National Instruments recommends that the power supply be oriented such that the output terminals are located on top and the input terminals located on bottom. Figure 2-1 refers to this as the *Standard Orientation*.

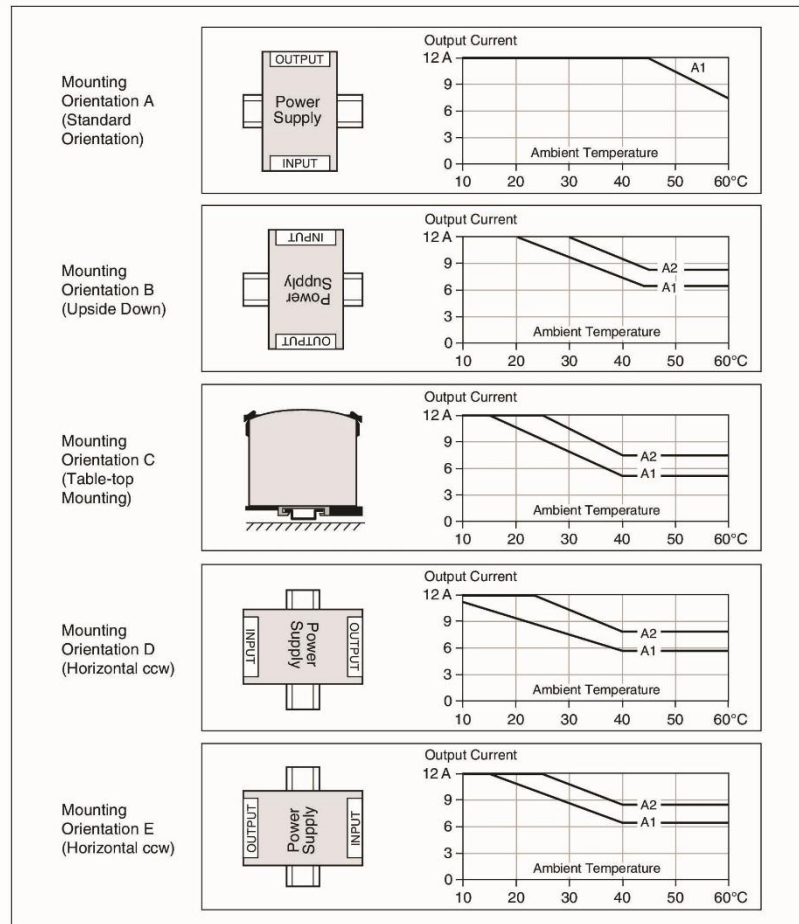


Figure 2-1. NI PS-15 Mounting Orientations

Mount the NI PS-15 power supply according to the installation instructions included with your mounting kit. For details on the mounting options available, refer to the *Mounting Equipment* section of Chapter 1, *Getting Started*.

Wiring The Terminals

This section describes wiring for the NI PS-15 power supply. Table 2-1 provides a list of basic requirements for wiring.

Table 2-1. Wiring Requirements

Type	Spring-Clamp Terminals
Solid wire	0.5–6 mm
Stranded wire	0.5–4 mm
American wire gauge	20–10 AWG
Ferrules	Allowed, but not required
Wire stripping length	7 mm (0.275 in.)

Consider the following when wiring the NI PS-15.

- Use appropriate copper cables that are designed for an operating temperature of:
 - 60 °C for ambient up to 45 °C.
 - 75 °C for ambient up to 60 °C minimum.
- Follow national installation codes and installation regulations.
- Up to two stranded wires with the same cross section are permitted in one connection point (except PE wire).
- Do not use the unit without the PE connection being wired.

Complete the following steps to connect wires to the input and output terminals.

1. Ensure that none of the wires are connected to live power.
2. Strip the ends of the wires according to the recommendations in Table 2-1.

3. Ensure that the terminal lever is in an open position as shown in Figure 2-2.

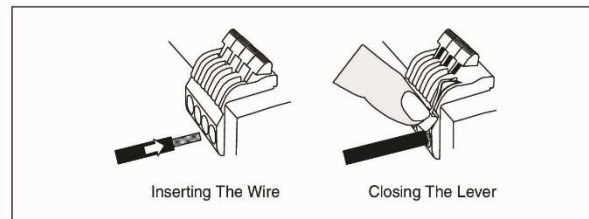


Figure 2-2. Connecting a Wire

4. Insert the end of the wire into the terminal until the exposed portion of the wire is completely inside of the terminal connection as shown in Figure 2-2. If you are using stranded wire, ensure that all strands of the wire enter the terminal connection.
5. Move the lever until the lever snaps into the closed position, as shown in Figure 2-2.
6. Repeat steps 4–5 for each of the other terminals.
7. Ensure that all wires are properly seated and not loose.
8. Ensure that the rest of your equipment is ready to be powered without creating a hazard.
9. Apply MAINS voltage to the NI PS-15 power supply.

Operating the NI PS-15

This section provides general information on the operation of the NI PS-15 power supply.

Serial Operation

The NI PS-15 can operate in series to increase the output voltage. Figure 2-3 shows the NI PS-15 in a serial configuration.

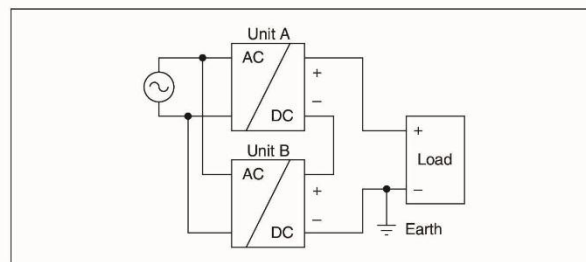


Figure 2-3. NI PS-15 in Serial Operation

Before operating the NI PS-15 in a serial configuration, consider the following:

- It is possible to connect as many units in series as needed, providing the sum of the output voltage does not exceed 150 V_{DC}.
- Voltages with a potential above 60 V_{DC} are not SELV-compliant any more and can be dangerous. Such voltages must be installed with a protection against touching.
- Use power supplies of the same type for serial operation.
- Earthing of the output is required when the sum of the output voltage is above 60 V_{DC}.
- Keep an installation clearance of 15 mm (left/right) between two power supplies and avoid installing the power supplies on top of each other.



Caution Avoid return voltage (for example, from a decelerating motor or battery) which is applied to the output terminals.

Parallel Operation



Caution The power supply must *not* be used in parallel for the purpose of increasing the output power.

Power supplies can be paralleled for 1+1 redundancy to gain a higher system availability. Redundant systems require a certain amount of extra power to support the load in case one power supply unit fails. The simplest way is to put two NI PS-15 power supplies in parallel. If one power supply unit fails, the other one is automatically able to support the load current without any interruption. When using this method of building a redundant system consider the following:

- The faulty power supply can not be recognized. The green LED will still be on since it is reverse-powered from the other power supply.
- It does not cover failures such as an internal short circuit in the secondary side of the power supply. In such a case (nearly impossible), the defective unit becomes a load for the other power supplies and the output voltage can not be maintained.

Recommendations for building redundant power systems:

- Use separate input fuses for each power supply.
- When possible, connect each power supply to different phases or circuits.

Two-Phase Power Operation

The NI PS-15 power supply can operate with two-phase power, as shown in Figure 2-4.

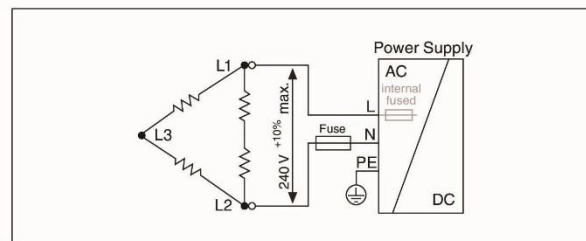


Figure 2-4. NI PS-15 in Two-Phase Operation

Before operating the NI PS-15 in this configuration, consider the following:

- A phase-to-phase connection is allowed as long as the supplying voltage is below 240 V +10%.
- Use a fuse or a circuit breaker to protect the N (Neutral) input. The N input is not protected internally and in two-phase configuration would be connected to a hot wire.

Appropriate fuses and circuit breakers are specified in the *External Input Protection* section.

External Input Protection

The NI PS-15 power supply is tested and approved for branch circuits up to 20 A. External protection is only required if the supplying branch has an ampacity greater than 20 A. In some countries local regulations might apply, so check local codes and local requirements.

If an external fuse is utilized, a minimum value is required to avoid undesired tripping of the fuse, shown in Table 2-2.

Table 2-2. Maximum and Minimum Ampacities for External Fuses

Ampacity	B-Characteristic	C-Characteristic
Minimum	10 A	6 A
Maximum	20 A	20 A

Operation in a Sealed Enclosure

When the power supply is installed in a tightly sealed enclosure, the temperature inside the enclosure will be higher than outside. The inside temperature defines the ambient temperature for the power supply.

The following is the result of such an installation, where the NI PS-15 power supply was placed in the middle of a sealed enclosure, and no other heat producer was present:

Enclosure..... Rittal Type IP66 Box PK 9516
100, plastic, 110 mm × 180 mm ×
165 mm

Load 24 V, 4 A; (= 80%) load is placed
outside the box

Input 230 V_{AC}

Temperature inside the box	44.3 °C (in the middle of the right side of the power supply with a distance of 2 cm)
Temperature outside the box	23.3 °C
Temperature rise	21 °C

Cooling

The NI PS-15 is convection cooled, and direct cooling is not required. However, you must not cover the ventilation grid (for example, with cable conduits) by more than 30%.

Proper installation clearance for the NI PS-15 is 40 mm on top, 20 mm on the bottom, 5 mm on the left and right side when loaded permanently with full power. If the adjacent device is a heat source, 15 mm clearance is recommended between the NI PS-15 and the adjacent device.

Hazardous Risks



Cautions Do not use the unit without the proper earth connection (Protective Earth). Use the PE pin on the front panel terminal block for earth connection instead of one of the screws on the housing.

Turn the power off before working on the power supply. Protect against inadvertent re-powering.

Make sure the wiring is correct by following all local and national codes.

Do not open, modify, or repair the unit.

Use caution to prevent any foreign objects from entering into the housing.

Do not use in wet locations or in areas where moisture or condensation can be expected.

Service Parts

The NI PS-15 power supply does not contain any serviceable parts. If an internal fuse trips, it is caused by an internal defect. If damage or malfunction occurs during operation, immediately turn the power off and send the NI PS-15 to National Instruments for inspection.



Note Attempting to repair or modify the NI PS-15 power supply will void your warranty.

Peak Current Capability

Solenoids, contactors and pneumatic modules often have a steady state coil and a pick-up coil. The inrush current demand of the pick-up coil is several times higher than the steady state current and usually exceeds the nominal output current (including the PowerBoost). The same situation applies when starting a capacitive load.

Branch circuits are often protected with circuit breakers or fuses. In case of a short or an overload in the branch circuit, the fuse needs a certain amount of over-current to trip or to blow. The peak current capability ensures the safe operation of subsequent circuit breakers.

Assuming the input voltage is turned on before such an event, the built-in large sized output capacitors inside the power supply can deliver extra current. Discharging this capacitor causes a voltage dip on the output. Figure 2-5 illustrates two typical voltage dips.

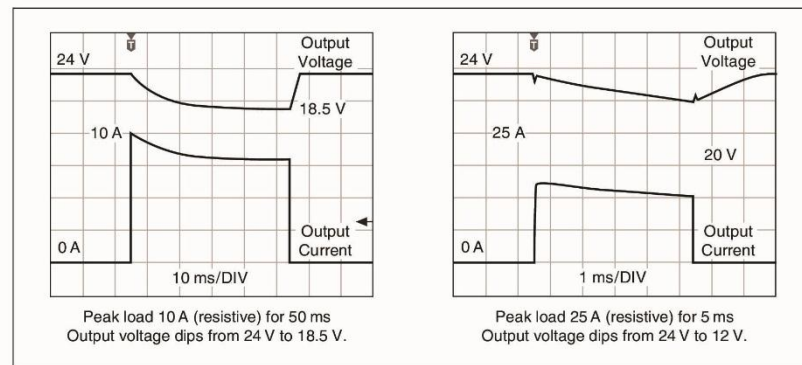


Figure 2-5. Peak Current Capacity Output Voltage Dips

Charging Batteries

The NI PS-15 power supply should *not* be used to charge batteries.

Back Feeding Loads

Loads such as decelerating motors and inductors can feed voltage back to the power supply. This feature is also called return voltage immunity or resistance against back-EMF (Electro Magnetic Force). The NI PS-15 power supply is resistant to this and does not malfunction when a load feeds back voltage to the power supply, regardless of whether the power supply itself is on or off.

The maximum allowed feed back voltage is 35 V_{DC}. The absorbing energy can be calculated according to the built-in large sized output capacitor, which is specified in the *Output* section of Appendix A, *Specifications*.

Output Circuit Breakers

Standard miniature circuit breakers (MCBs) can be used for branch protection. Ensure that the MCB is also rated for DC voltage. The following tests show which circuit breakers the power supply typically trips.



Note Circuit breakers have huge tolerances in their tripping behavior. Therefore, these typical tests can only be used as a recommendation or for comparing two different power supplies. Furthermore, the loop impedance has a major influence on whether a breaker trips or not.

Test 1: Short circuit with S1 on the power supply end of the cable (loop impedance approximately 20 mΩ). The input voltage was 230 V_{AC} and the load current was 0 A.

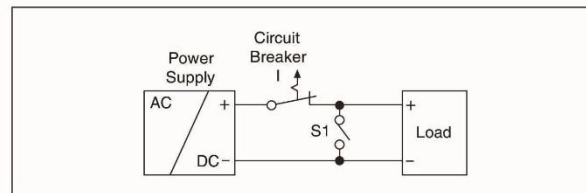


Figure 2-6. Breaker Trip Test 1

The following circuit breaker tripped during the test:

A or Z-Characteristic $\leq 8\text{ A}$

B-Characteristic No tripping $\geq 6\text{ A}$
 No breaker available $< 6\text{ A}$

C-Characteristic $\leq 4\text{ A}$

Test 2: Short circuit with S1 on the load end (additional impedance is included in the form of longer load wire length). The input voltage was 230 V_{AC} and the load current was 0 A .

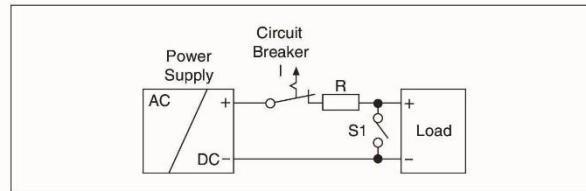


Figure 2-7. Breaker Trip Test 2

The following circuit breaker tripped during the test:

A or Z-Characteristic $\leq 6\text{ A}$ and $R = 180\text{ m}\Omega$

B-Characteristic No tripping $\geq 6\text{ A}$
 No breaker available $< 6\text{ A}$

C-Characteristic $\leq 3\text{ A}$ and $R = 270\text{ m}\Omega$

Table 2-3 provides a comparison of resistances in terms of wire gauge and length.

Table 2-3. Resistances for Wire Gauges and Lengths

Resistance	0.5 mm ²	0.7 mm ²	1.0 mm ²	1.5 mm ²	2.5 mm ²	4.0 mm ²
180 m Ω	5.0 m	7.0 m	10 m	15 m	25 m	40 m
270 m Ω	7.5 m	10.5 m	15 m	23 m	38 m	60 m

For example: Which wire gauge must be used to trip a C-Characteristic circuit breaker with a rating of 3 A? The load wire length is 21 m.

Answer: A 3 A C-Characteristic circuit breaker requires a loop impedance of less than 270 m Ω (test results). Table 2-3 shows that up to 23 m of wire with a cross section of 1.5 mm² is below 270 m Ω . You should not use a wire smaller than 1.5 mm².

Inductive and Capacitive Loads

The NI PS-15 is designed to supply any kind of load, including unlimited capacitive and inductive loads.

Specifications

This appendix contains specifications for the NI PS-15 power supply.



Note Specifications are subject to change without notice.



Hazardous Voltages Must be mounted in an enclosure by qualified personnel. Refer to Figure A-1 for more information.

This power supply is designed for installation in an enclosure and is intended for general use, such as in industrial control, office, communication, and instrumentation equipment. Do not use this device in aircraft, trains and nuclear equipment, where malfunctioning of the power supply may cause severe personal injury or threaten human life.

Dimensions and Weight

Dimensions

Width	32 mm
Height.....	124 mm
Depth.....	117 mm
Weight.....	500 g (1.1 lb)

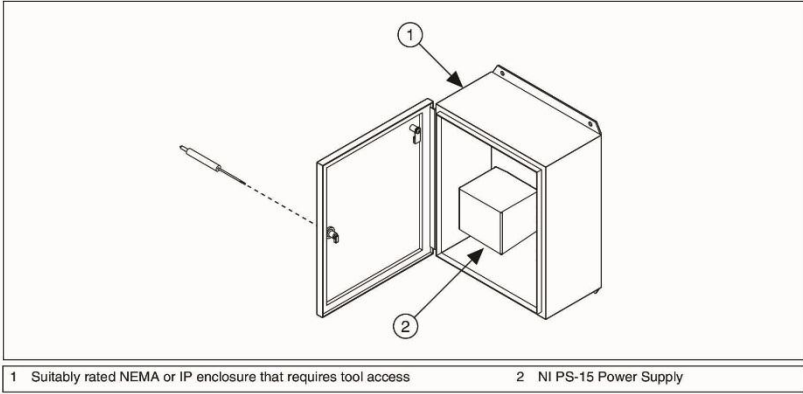


Figure A-1. NI PS-15 Power Supply

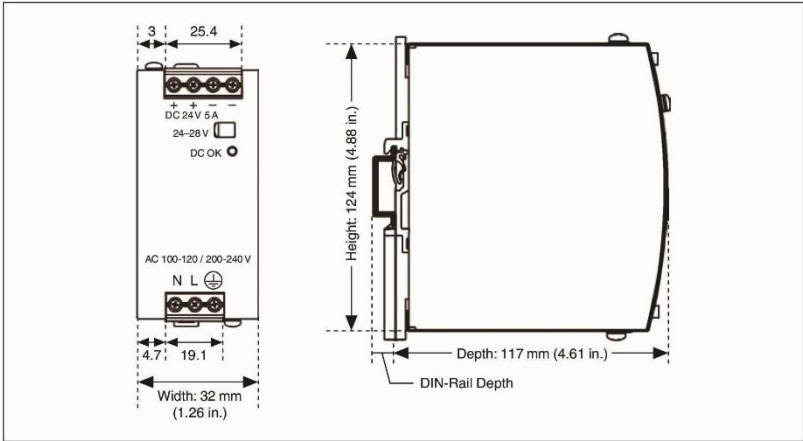


Figure A-2. NI PS-15 Dimensions

AC Input

AC input	Nominal AC 100–120 V/200–240 V	Auto-select input, TN-, TT-, IT-Mains, refer to Figure A-3
AC input range	90–132 V _{AC} 180–264 V _{AC} 85–90 V _{AC} 264–300 V _{AC}	100–120 V range, continuous operation 200–240 V range, continuous operation Short term or with output derating <0.5 s
Input frequency	Nominal 50–60 Hz	±6%
DC input	Not allowed	—

	Typical/ Maximum	AC 100 V	AC 120 V	AC 230 V	
Input current	Typical	2.34 A	2.05 A	1.23 A	At 24 V, 5 A refer to Figure A-3
Power factor*	Typical	0.58	0.56	0.47	At 24 V, 5 A refer to Figure A-3
Crest factor**	Typical	2.9	3.1	3.7	At 24 V, 5 A
Start-up delay	Typical	740 ms	900 ms	720 ms	Refer to Figure A-4
Rise time	Typical	8 ms	8 ms	8 ms	0 mF, 24 V, 5 A, refer to Figure A-4
	Typical	25 ms	25 ms	25 ms	5 mF, 24 V, 5 A, refer to Figure A-4
Turn-on overshoot	Maximum	400 mV	400 mV	400 mV	Refer to Figure A-4
Turn-on voltage	Typical	75 V _{AC}	75 V _{AC}	—	Steady-state value, refer to Figure A-3
Shut-down voltage	Typical	55 V _{AC}	55 V _{AC}	—	Steady-state value, refer to Figure A-3

* The power factor is the ratio of the true (or real) power to the apparent power in an AC circuit.

** The crest factor is the mathematical ratio of the peak value to the RMS value of the input current waveform.

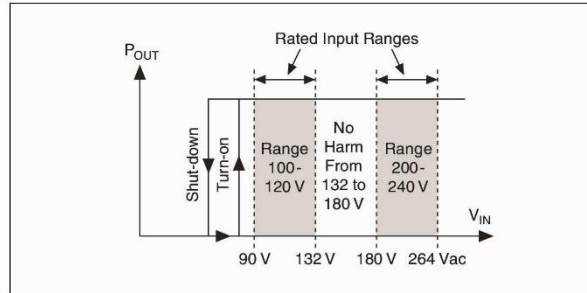


Figure A-3. Input Voltage Range

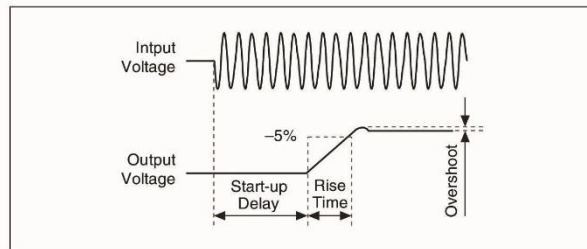


Figure A-4. Turn On Behavior, Definitions

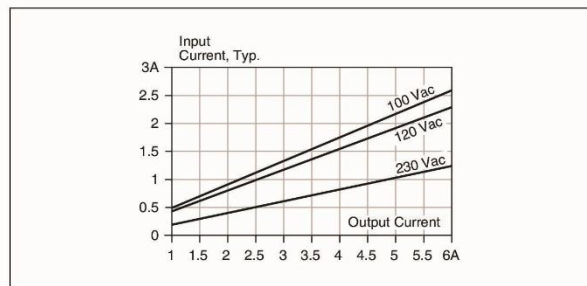


Figure A-5. Input Current Vs. Output Load

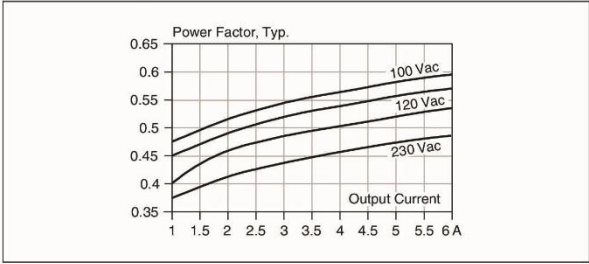


Figure A-6. Power Factor Vs. Output Load

Input Current Inrush Surge

An active inrush limitation circuit limits the input inrush current after input voltage is applied. The charging current into EMI suppression capacitors is disregarded in the first milliseconds after power up.

	Typical/ Maximum	AC 100 V	AC 120 V	AC 230 V	
Inrush current	Maximum Typical	10 A _{peak} 3 A _{peak}	10 A _{peak} 3 A _{peak}	10 A _{peak} 3 A _{peak}	-25 °C to +70 °C -25 °C to +70 °C
Inrush energy	Typical	1 A ² s	1 A ² s	1 A ² s	-25 °C to +70 °C

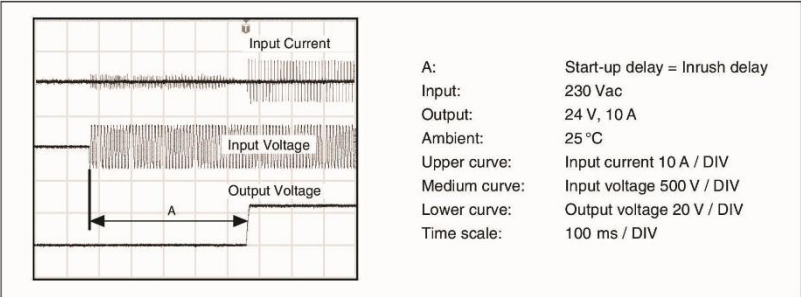


Figure A-7. Input Inrush Current, Typical Behavior

Hold-up Time

	Typical/ Maximum	AC 100V	AC 120V	AC 230V	
Hold-up Time	Typical	109 ms	165 ms	161 ms	2.5 A, 24 V, refer to Figure A-8
	Typical	50 ms	80 ms	78 ms	5 A, 24 V, refer to Figure A-8
	Typical	37 ms	62 ms	63 ms	6 A, 24 V, refer to Figure A-8

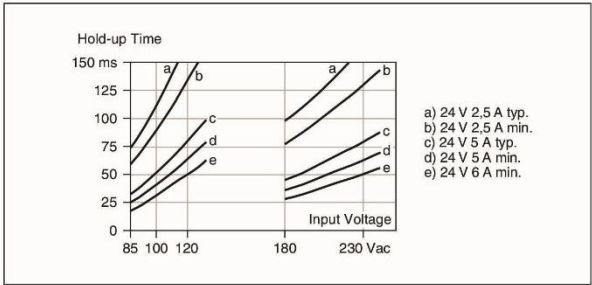


Figure A-8. Hold-Up Time Vs. Input Voltage

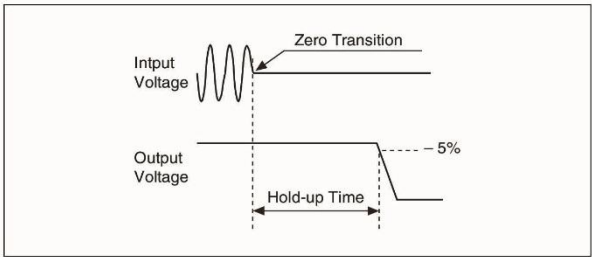


Figure A-9. Shutdown Behavior, Definitions

 **Note** At no load, the hold-up time can be up to several seconds. The green DC OK LED is lit during this time.

Output

Output voltage	Nominal	24 V	—
Adjustment range	Minimum Maximum	24–28 V 30 V	Guaranteed At clockwise end position of potentiometer
Factory setting	—	24.1 V	±0.2%, at full load, cold unit
Line regulation	Maximum	70 mV	90 V _{AC} to 132 V _{AC} or 180 V _{AC} to 264 V _{AC}
Load regulation	Maximum	100 mV	Static value, 0 A → 5 A → 0 A
Ripple and noise voltage	Maximum	50 mVpp	20 Hz to 20 MHz, 50 Ω
Output capacitance	Typical	1,800 µF	—
Output current	Nominal Nominal Nominal Nominal	6 A* 5 A 5.1 A* 4.3 A	At 24 V, ambient < 45 °C, refer to Figure A-10 At 24 V, ambient < 60 °C, refer to Figure A-10 At 28 V, ambient < 45 °C, refer to Figure A-10 At 28 V, ambient < 60 °C, refer to Figure A-10
Output power	Nominal Nominal	144 W* 120 W	Ambient < 45 °C Ambient < 60 °C
Short-circuit current	Minimum Maximum	10 A 14 A	Load impedance 200 mΩ, refer to Figure A-10 Load impedance 200 mΩ, refer to Figure A-10

* The NI PS-15 may respond with a thermal shut-down when continuously loaded with more than 120 W and operated with a MAINS voltage of 100 V or below.

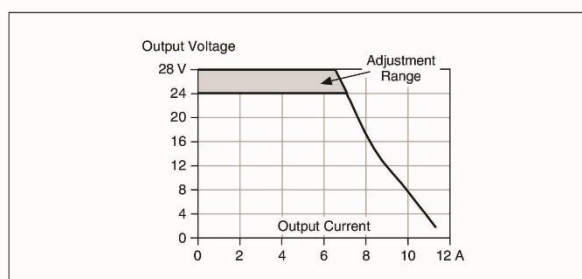


Figure A-10. Output Voltage Vs. Output Current, Typical

Peak Current Capability

The power supply can deliver a peak current which is higher than the specified short term current. This helps to start current-demanding loads or to safely operate subsequent circuit breakers.

The extra current is supplied by the output capacitors inside the power supply. During this event, the capacitors will be discharged and cause a voltage dip on the output. Detailed curves can be found in the *Peak Current Capability* section of Chapter 2, *Installation and Configuration*.

Peak current voltage dips	Typical	From 24 V to 18.5 V	At 10 A for 50 ms, resistive load
	Typical	From 24 V to 22 V	At 25 A for 2 ms, resistive load
	Typical	From 24 V to 20 V	At 25 A for 5 ms, resistive load

Efficiency and Power Losses

		AC 100V	AC 120V	AC 230V	
Efficiency	Typical	88.8%	89.4%	90.2%	5 A, 24 V
Power losses	Typical	1.9 W	2.0 W	1.7 W	0 A
	Typical	9.1 W	8.8 W	8.2 W	2.5 A, 24 V
	Typical	15.3 W	14.5 W	13.2 W	5 A, 24 V
	Typical	19.4 W	18.2 W	16.1 W	6 A, 24 V

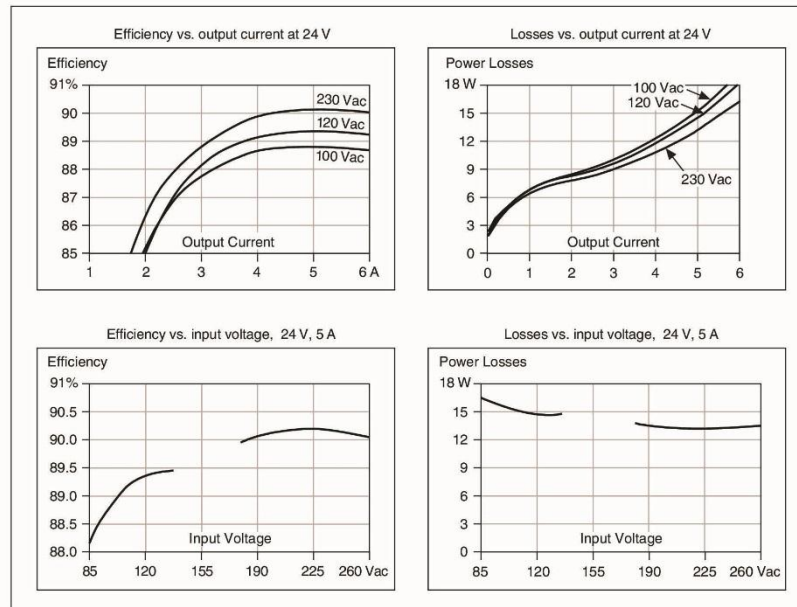


Figure A-11. NI PS-15 Efficiency and Losses

Reliability

The lifetime expectancy shown in Table A-1 indicates the service life of the NI PS-15, and is determined by the lifetime expectancy of the built-in electrolytic capacitors. Lifetime expectancy is specified in operational hours. Lifetime expectancy is calculated according to the capacitor's manufacturer specification. The prediction model allows a calculation of up to 15 years from the date of shipment.

MTBF (Mean Time Between Failure) is calculated according to statistical device failures and indicates reliability of a device. It is the statistical representation of the likelihood of a unit to fail and does not necessarily represent the life of a product.

Table A-1. Reliability Specifications

	Minimum/ Maximum	AC 100V	AC 120V	AC 230V	
Lifetime expectancy	Minimum	52,000 hours	58,000 hours	72,000 hours	40 °C, 24 V, 5 A
	Minimum	27,000 hours	34,000 hours	42,000 hours	40 °C, 24 V, 6 A
	Minimum	135,000 hours	128,000 hours	144,000 hours	40 °C, 24 V, 2.5A
	Minimum	142,000 hours	15 years	15 years	25 °C, 24 V, 5 A
MTBF SN 29500, IEC 61709	—	638,000 hours	661,000 hours	869,000 hours	40 °C, 24 V, 5 A
		542,000 hours	562,000 hours	739,000 hours	40 °C, 24 V, 6 A
		1,077,000 hours	1,111,000 hours	1,495,000 hours	25 °C, 24 V, 5 A
MTBF MIL HDBK 217F	—	552,000 hours	546,000 hours	574,000 hours	40 °C, 24 V, 5 A, Ground Benign GB40
		497,000 hours	491,000 hours	517,000 hours	40 °C, 24 V, 6 A, Ground Benign GB40
		788,000 hours	775,000 hours	800,000 hours	25 °C, 24 V, 5 A, Ground Benign GB25

Dielectric Strength



Notes The output voltage is floating and has no ohmic connection to ground.

To fulfill the PELV requirements according to EN60204-1 § 6.4.1, we recommend that either the + pole, the – pole or any other part of the output circuit should be connected to the protective earth system. This helps to avoid situations in which a load starts unexpectedly or can not be switched off when unnoticed earth faults occur.

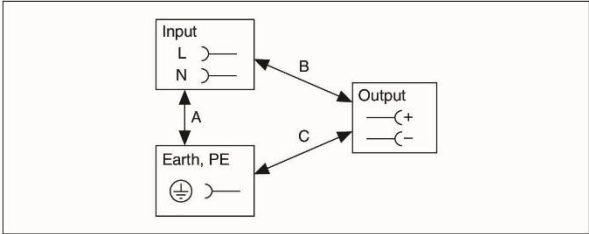


Figure A-12. Dielectric Strength

Table A-2 lists the tests that have been run to determine the NI PS-15 dielectric strength, and the results of each test.

Table A-2. Dielectric Strength Test Results

Test	Duration	A	B	C
Type test	60 s	2500 V _{AC}	3000 V _{AC}	500 V _{AC}
Factory test	5 s	2500 V _{AC}	2500 V _{AC}	500 V _{AC}
Field test	5 s	2000 V _{AC}	2000 V _{AC}	500 V _{AC}

Type tests and factory tests
Conducted by the manufacturer. Do *not* repeat test in field.

Rules for field test
Use appropriate test equipment which applies the voltage with a slow ramp.
Connect L and N together as well as all output poles.

Used Substances

- The unit does not release any silicone and is suitable for the use in paint shops.
- Electrolytic capacitors included in this unit do not use electrolytes such as Quaternary Ammonium Salt Systems.
- Plastic housings and other molded plastic materials are free of halogens, wires and cables are not PVC insulated.

- The production material within our production does not include following toxic chemicals: Polychlorized Biphenyl (PCB), Polychlorized Terphenyl (PCT), Pentachlorophenol (PCP), Polychlorinated naphthalene (PCN), Polybrom Biphenyl (PBB), Polybrom Bipheny-oxyd (PBO), Polybrominated Diphenylether (PBDE), Polychlorinated Diphenylether (PCDE), Polydibromophenyl Oxyd (PBDO), Cadmium, Asbest, Mercury, Silicia.

Environment

Operational temperature	–25 °C to +70 °C (–13 °F to 158 °F)	Reduce output power according to Figure A-13
Output de-rating	1.6 W/°C	45–60 °C (113 °F to 140 °F)
	3 W/°C	60–70 °C (140 °F to 158 °F)
Storage temperature	–40 to +85 °C (–40 °F to 185 °F)	Storage and transportation
Humidity	5 to 95% r.H.	IEC 60068-2-30 Do not energize while condensation is present
Vibration sinusoidal	2–17.8 Hz: ±1.6 mm; 17.8–500 Hz: 2 g 2 hours / axis	IEC 60068-2-6
Shock	30 g 6 ms, 20 g 11 ms 3 bumps/direction, 18 bumps total	IEC 60068-2-27
Altitude	0 to 6000 m (0 to 20,000 ft)	Reduce output power or ambient temperature above 2000 m sea level
Output de-rating (for altitude)	7.5 W/1000 m or 5 °C/1000 m	Above 2000 m (6500 ft), refer to Figure A-14
Over-voltage category	III	EN 50178, altitudes up to 2000 m
	II	Altitudes from 2000 m to 6000 m
Degree of pollution	2	EN 50178, not conductive

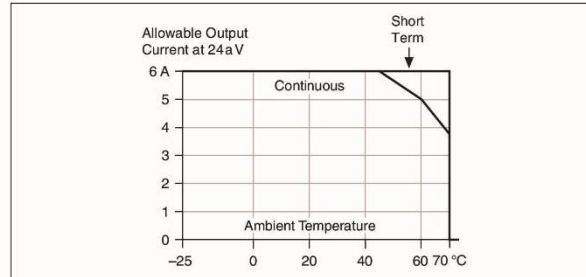


Figure A-13. Output Current Vs. Ambient Temperature

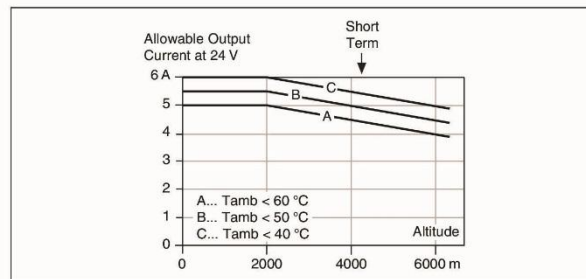


Figure A-14. Output Current Vs. Altitude



Note The ambient temperature is defined as the temperature 2 cm below the NI PS-15.

Protection Features

Output protection	Electronically protected against overload, no-load and short-circuits	
Output over-voltage protection	Typical 35 V _{DC} Maximum 39 V _{DC}	In case of an internal power supply defect, a redundant circuitry limits the maximum output voltage. The output shuts down and automatically attempts to restart.
Output over-current protection	Electronically limited	Refer to Figure A-10.
Degree of protection	IP 20	EN/IEC 60529
Penetration protection	>3.5 mm	From screws, small parts, and so on

Over-temperature protection	Yes	Output shut-down with automatic restart
Input transient protection	MOV	Metal Oxide Varistor
Internal input fuse	T4A H.B.C.	Not user replaceable



Note In case of a protection event, audible noise may occur.

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for industrial control and information technology equipment:

- IEC/EN 60950-1, UL 508



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for industrial control and information technology equipment:

EMC Immunity	EN 61000-6-2 EN 61000-6-1	Generic standards		
Electrostatic discharge	EN 61000-4-2	Contact discharge Air discharge	8 kV 15 kV	Criterion A Criterion A
Electromagnetic RF field	EN 61000-4-3	80 MHz–1 GHz	10 V/m	Criterion A
Fast transients (Burst)	EN 61000-4-4	Input lines Output lines	4 kV 2 kV	Criterion A Criterion A
Surge voltage on input	EN 61000-4-5	L → N N/L → PE	2 kV 4 kV	Criterion A Criterion A
Surge voltage on output	EN 61000-4-5	+ → – +/- → PE	500 V 500 V	Criterion A Criterion A
Conducted disturbance	EN 61000-4-6	0.15–80 MHz	10 V	Criterion A

Mains voltage dips	EN 61000-4-11	0% of 100 V _{AC}	0 V _{AC} , 20 ms	Criterion A
		40% of 100 V _{AC}	40 V _{AC} , 200 ms	Criterion C
		70% of 100 V _{AC}	70 V _{AC} , 500 ms	Criterion A
		0% of 200 V _{AC}	0 V _{AC} , 20 ms	Criterion A
		40% of 200 V _{AC}	80 V _{AC} , 200 ms	Criterion C
		70% of 200 V _{AC}	140 V _{AC} , 500 ms	Criterion A
Voltage interruptions	EN 61000-4-11		0 V _{AC} , 5000 ms	Criterion C
Powerful transients	VDE 0160	Over entire load range	750 V, 1.3 ms	Criterion A
Criteria: A: Power supply shows normal operation behavior within the defined limits. C: Temporary loss of function is possible. Power supply might shut-down and restarts by itself. No damages or hazards for the power supply occur.				

Switching Frequency

175 kHz to 225 kHz input voltage dependent 24 V,
2.5 A

100 kHz to 130 kHz input voltage dependent 24 V, 5 A

EMC Emission	EN 61000-6-4	Generic standards
Conducted emission	EN 55011, EN 55022, FCC Part 15, CISPR 11, CISPR 22	Class B, input lines
	EN 55022	Class A, output lines
Radiated emission	EN 55011, EN 55022	Class B
Harmonic input current	EN 61000-3-2	>2.7 A output current not fulfilled
Voltage fluctuations, flicker	EN 61000-3-3	fulfilled



Notes This device complies with FCC Part 15 rules.

Operation is subjected to following two conditions: (1) this device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

Above an average output current of 2.7 A, the harmonic current standard EN 61000-3-2 is not fulfilled.

A power supply has to comply with EN 61000-3-2 (Standard for harmonic input current) when:

- the end-device is used within the European Union and
- the end-device is connected to a public mains supply with a nominal voltage greater than or equal to 220 V_{AC} and
- the power supply is:
 - fitted in an end-device with an average input power in excess of 75 W
 - or
 - fitted in an end-device with a continuous input power in excess of 75 W
 - or
 - part of a lighting system.

Exceptions

End-devices for professional applications with an input power > 1000 W do not need to fulfill EN 61000-3-2.

Comments

- The average input power must be determined in accordance with EN 61000-3-2.
- Industrial MAINS supplies with their own transformer are considered to be *non-public*.
- Where individual self-contained items of equipment are installed in a rack or case (for example, devices connected in parallel), they are regarded as being individually connected to the MAINS supply. The rack or case need not be tested as a whole. Alternatively, it is also permitted to assess the whole rack or case. This is recommended for devices used in professional applications with an input power greater than 1000 W.



Notes For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

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

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Certifications

 18WAM LISTED IND. CONT. EQ.	LISTED as Industrial Control Equipment (UL 508)
	RECOGNIZED as Information Technology Equipment (UL 60950-1)
	GL (Germanischer Lloyd) classified for marine and offshore applications. Environmental category: C, EMC2

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

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 *NI and the Environment* 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.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste and Electronic Equipment, visit ni.com/environment/weee.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息, 请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Technical Support and Professional Services

Visit the following sections of the award-winning National Instruments Web site at ni.com for technical support and professional services:

- **Support**—Technical support at ni.com/support includes the following resources:
 - **Self-Help Technical Resources**—For answers and solutions, visit ni.com/support for software drivers and updates, a searchable KnowledgeBase, product manuals, step-by-step troubleshooting wizards, thousands of example programs, tutorials, application notes, instrument drivers, and so on. Registered users also receive access to the NI Discussion Forums at ni.com/forums. NI Applications Engineers make sure every question submitted online receives an answer.
 - **Standard Service Program Membership**—This program entitles members to direct access to NI Applications Engineers via phone and email for one-to-one technical support as well as exclusive access to on demand training modules via the Services Resource Center. NI offers complementary membership for a full year after purchase, after which you may renew to continue your benefits.

For information about other technical support options in your area, visit ni.com/services, or contact your local office at ni.com/contact.
- **Training and Certification**—Visit ni.com/training for self-paced training, eLearning virtual classrooms, interactive CDs, and Certification program information. You also can register for instructor-led, hands-on courses at locations around the world.
- **System Integration**—If you have time constraints, limited in-house technical resources, or other project challenges, National Instruments Alliance Partner members can help. To learn more, call your local NI office or visit ni.com/alliance.

- **Declaration of Conformity (DoC)**—A DoC is our claim of compliance with the Council of the European Communities using the manufacturer's declaration of conformity. This system affords the user protection for electromagnetic compatibility (EMC) and product safety. You can obtain the DoC for your product by visiting ni.com/certification.
- **Calibration Certificate**—If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at ni.com/calibration.

You also can visit the Worldwide Offices section of ni.com/niglobal to access the branch office Web sites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

Index

A

AC input specifications, A-3

B

back feeding loads, 2-10

C

calibration certificate (NI resources), B-2

capacitive loads, 2-12

CE compliance, specifications, A-16

certification specifications, A-17

charging batteries, use, 2-9

circuit breakers, output, 2-10

conventions used in the manual, *viii*

cooling the NI PS-15, 2-8

current capability, peak, 2-9
figure, 2-9

D

Declaration of Conformity (NI resources), B-2

diagnostic tools (NI resources), B-1

dielectric strength specifications, A-10

dimension specifications, A-1

documentation

conventions used in manual, *viii*

NI resources, B-1

related documentation, *ix*

drivers (NI resources), B-1

E

efficiency specifications, A-8

electromagnetic compatibility, A-14

enclosure, sealed operation, 2-7

environment specifications, A-12

environmental management,
specifications, A-17

examples (NI resources), B-1

external input protection, 2-7

H

hazardous risks, 2-8

help, technical support, B-1

hold-up time specifications, A-6

I

inductive loads, 2-12

input current inrush surge, A-5

input protection, 2-7

installation, configuration, and operation

mounting the NI PS-15, 2-1

unpacking the NI PS-15, 1-1

wiring the NI PS-15, 2-3

instrument drivers (NI resources), B-1

K

key features, 1-1

kit contents, 1-1

KnowledgeBase, B-1

L

loads

back feeding, 2-10

inductive, capacitive, 2-12

M

- mounting equipment, 1-5
 - panel kit, 1-5
 - side brackets, 1-5
- mounting orientation, 2-1

N

- National Instruments support and services, B-1
- NI PS-15
 - cooling, 2-8
 - external input protection, 2-7
 - hazardous risks, 2-8
 - key features, 1-1
 - mounting equipment, 1-5
 - panel brackets, 1-5
 - side brackets, 1-5
 - operation, 2-5
 - parallel, 2-6
 - serial, 2-5
 - figure, 2-5
 - two-phase, 2-6
 - peak current capability, 2-9
 - service parts, 2-8
 - specifications, A-1
 - unpacking, 1-1
 - wiring terminals, 2-3
- NI support and services, B-1

O

- operating in a sealed enclosure, 2-7
- operation
 - parallel, 2-6
 - serial, 2-5
 - figure, 2-5
 - two phase, 2-6
 - figure, 2-6
- output circuit breakers, 2-10
- output specifications, A-7

P

- panel mounting kit, 1-5
- parallel operation, 2-6
- parts, service, 2-8
- peak current capability, 2-9
 - figure, 2-9
 - specifications, A-8
- power loss specifications, A-8
- programming examples (NI resources), B-1
- protection features specifications, A-13
- PS-15, orientation, 2-1
 - figure, 2-2

R

- related documentation, ix
- reliability specifications, A-9
- risks, 2-8

S

- safety, specifications, A-14
- sealed enclosure, operation, 2-7
- serial operation, 2-5
- service parts, 2-8
- side mounting kit, 1-5
- software (NI resources), B-1
- specifications
 - AC input, A-3
 - CE compliance, A-16
 - certifications, A-17
 - current inrush surge, A-5
 - dielectric strength, A-10
 - dimensions, A-1
 - efficiency, A-8
 - electromagnetic compatibility, A-14
 - environment, A-12
 - environmental management, A-17
 - hold-up time, A-6
 - online product certification, A-17

- output, A-7
- peak current capability, A-8
- power loss, A-8
- protection features, A-13
- reliability, A-9
- safety, A-14
- substances used, A-11
- weight, A-1

support, technical, B-1

surge, input current inrush, A-5

T

technical support, B-1

terminal wiring, 2-3

- requirements (table), 2-3

training and certification (NI resources), B-1

troubleshooting (NI resources), B-1

two-phase operation, 2-6

- figure, 2-6

U

unpacking the NI PS-15 power supply, 1-1

use for charging batteries, 2-9

used substances specifications, A-11

W

Web resources, B-1

weight specifications, A-1

wiring the terminals, 2-3

- requirements (table), 2-3

ANEXO F.
MANUAL DE ESPECIFICACIONES TECNICAS FLUKE-435.

DATOS TÉCNICOS

Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía 430 Serie II de Fluke


MEDIDAS CLAVE

Medidas de calidad eléctrica, detalles sobre formas de onda de potencia, captura y registro de eventos, cálculos de pérdida de energía y eficiencia

COMPATIBLE CON FLUKE CONNECT®*

Vea los datos directamente en el dispositivo mediante la aplicación móvil Fluke Connect y el software para equipos de sobremesa PowerLog 430-II

CATEGORÍA DE SEGURIDAD PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

CAT IV 600 V y CAT III 1000 V para su uso desde la acometida de servicio en adelante

*No todos los modelos están disponibles en todos los países. Póngase en contacto con Fluke.

Capacidad de análisis más detallada de la calidad eléctrica y nueva función patentada de Fluke para la cuantificación económica de la energía

Los nuevos analizadores de calidad eléctrica y energía 430 Serie II ofrecen lo mejor en análisis de calidad eléctrica y presentan por primera vez la capacidad de cuantificar económicamente las pérdidas de energía.

Los nuevos modelos 434, 435 y 437 Serie II de Fluke ayudan a localizar, predecir, evitar y solucionar problemas de calidad eléctrica en sistemas de distribución eléctrica trifásicos y monofásicos. Además, el algoritmo patentado de Fluke para la pérdida de energía, denominado UPM (Unified Power Measurement, Medida de Potencia Unificada) mide y cuantifica las pérdidas de energía debidas a problemas de armónicos y desequilibrios, lo que permite al usuario localizar el origen de las pérdidas de energía de un sistema.

- **Calculadora de pérdida de energía:** se cuantifican las medidas clásicas de la potencia activa y reactiva, así como las potencias asociadas a los desequilibrios y a los armónicos, con el fin de mostrar las pérdidas de energía reales desde un punto de vista económico.
- **Eficiencia de inversores:** mide simultáneamente la potencia de salida de CA y la entrada de CC en sistemas electrónicos de potencia con una sonda opcional de CC.
- **Captura de datos PowerWave:** los analizadores 435 y 437 Serie II capturan datos RMS rápidos, muestran medios ciclos y formas de onda para caracterizar la dinámica de los sistemas eléctricos (arranque de generadores, conmutaciones en SAI, etc.).
- **Captura de formas de onda:** los modelos 435 y 437 Serie II capturan 50/60 ciclos (50/60 Hz) de cada evento detectado en todos los modos, sin necesidad de configuración.
- **Modo de transitorio automático:** los analizadores 435 y 437 Serie II capturan datos de forma de onda de 200 kHz en todas sus fases simultáneamente hasta 6 kV.
- **Totalmente compatible con la clase A:** los analizadores 435 y 437 Serie II realizan comprobaciones de acuerdo con la exigente norma internacional IEC 61000-4-30 Clase A.
- **Señalización del cableado eléctrico:** los analizadores 435 y 437 Serie II miden interferencias provocadas por señales de control fluctuantes a determinadas frecuencias.
- **Medida a 400 Hz:** el analizador 437 Serie II captura medidas de calidad eléctrica en sistemas de alimentación en aviones y aplicaciones militares.
- **Solución de problemas:** analice las tendencias mediante las herramientas de cursor y zoom.

- **La más alta clasificación de seguridad del sector:** CAT IV a 600 V y CAT III a 1000 V para su uso en la entrada de servicio.
- **Mida las tres fases y el neutro:** con sus cuatro sondas de corriente flexibles incluidas y un diseño mejorado, más delgado y flexible para adaptarse a los lugares de difícil acceso.
- **Tendencia automática:** todas las medidas se registran siempre de forma automática, sin necesidad de configuración.
- **System-Monitor:** diez parámetros de calidad eléctrica en una sola pantalla, de acuerdo con el estándar de calidad ENS0160.
- **Función de registrador:** configure cualquier condición de prueba con memoria para hasta 600 parámetros en intervalos definidos por el usuario.
- **Visualización de gráficos y generación de informes:** Con software de análisis incluido.
- **Autonomía de la batería:** hasta 8 horas de tiempo de funcionamiento por carga en un paquete de baterías de ión-litio.
- **Descarga inalámbrica de datos:** descargue los datos en el PC de forma inalámbrica y capture pantallas con la app Fluke Connect.

Medida de potencia unificada

El sistema patentado de medida de potencia unificada (UPM) de Fluke proporciona la visión más completa de la potencia disponible y mide:

- Parámetros clásicos de potencia (Steinmetz 1897) y potencia IEEE 1459-2000
- Análisis detallado de pérdidas
- Análisis de desequilibrios

Estos cálculos UPM se utilizan para cuantificar el coste económico de las pérdidas de energía causadas por problemas de calidad eléctrica. Los cálculos se realizan utilizando la información de cada instalación mediante la Calculadora de Pérdida de Energía, que determina cuánto dinero se pierde debido a la pérdida de energía.

Ahorro de energía

Tradicionalmente el ahorro de energía se conseguía controlando y fijando objetivos o, en otras palabras, localizando las mayores cargas en una instalación y optimizando su funcionamiento. El coste de la calidad eléctrica solo se podría cuantificar en términos de tiempo de inactividad provocado por la pérdida de producción y el daño en los equipos eléctricos. El método UPM (Unified Power Measurement, Medida de Potencia Unificada) ahora va más allá para lograr el ahorro energético mediante la detección de la pérdida de energía causada por problemas de calidad eléctrica. Con la Medida de Potencia Unificada, la calculadora de pérdidas energéticas de Fluke determinará el dinero que una instalación malgasta debido al desperdicio de energía.

Calculadora de pérdida de energía

Kilovatios (potencia) útiles disponibles
Potencia reactiva (inutilizable)
Kilovatios inutilizados debido a desequilibrios
Kilovatios inutilizados debido a armónicos
Corriente del neutro
Coste total de kilovatios hora malgastados

ENERGY LOSS CALCULATOR									
⏱ 0:04:25					🔋				
		Total	Loss	Cost					
Effective	kW	16.3	U 44	\$ 0.00 /hr					
Reactive	kvar	- 4.7	U 4	\$ 0.00 /hr					
Unbalance	kVA	15.5	U 92	\$ 0.01 /hr					
Distortion	kVA	29.2	U 422	\$ 0.04 /hr					
Neutral	A	118	U 539	\$ 0.05 /hr					
Total				\$ 964 /y					
05/17/12 13:59:42 277V 60Hz 3Ø WVE ENS0160									
LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD					
100 ft	4 AWG		0.10 /kWh	RUN					

Desequilibrios

La tecnología UPM proporciona un desglose más completo de la energía consumida en una instalación. Además de medir la potencia reactiva (causada por un pobre factor de potencia), con UPM también se mide el desperdicio de energía causado por los desequilibrios, es decir, el efecto de un reparto de cargas no uniforme en los sistemas trifásicos. Los desequilibrios se pueden corregir a menudo volviendo a conectar cargas en diferentes fases para asegurar que se igualen lo máximo posible las corrientes consumidas en cada fase. Los desequilibrios también se pueden corregir instalando un dispositivo de reactancia para desequilibrios (o filtro) que minimizará los efectos. La corrección de los desequilibrios debería ser una tarea fundamental dentro del mantenimiento de la instalación ya que los problemas de desequilibrio pueden provocar la avería del motor o acortar la vida útil del equipo. Los desequilibrios también malgastan energía. El uso de UPM puede minimizar o eliminar dicho desperdicio energético, ofreciendo así un ahorro económico.

Armónicos

Gracias a UPM también se proporcionan detalles sobre la energía malgastada en la instalación debido a la presencia de armónicos. La presencia de armónicos en sus instalaciones se puede deber a cargas internas o a cargas de instalaciones adyacentes. La presencia de armónicos en sus instalaciones puede llevar a:

- Sobrecalentamiento de transformadores y conductores
- Disparo inesperado de los interruptores automáticos
- Averías prematuras en los equipos eléctricos

La cuantificación del coste de la energía malgastada debido a la presencia de armónicos simplifica el cálculo del rendimiento de la inversión necesario para justificar la adquisición de filtros de armónicos. Al instalar un filtro de armónicos se pueden reducir los efectos nocivos de los armónicos y eliminar la energía malgastada, obteniendo así unos costes operativos más bajos y un funcionamiento más fiable.

Tabla de selección del analizador de calidad eléctrica y energía 430 Serie II

Modelo	Fluke 434-II	Fluke 435-II	Fluke 437-II
Cumplimiento de la normativa	IEC 61000-4-30 Clase S	IEC 61000-4-30 Clase A	IEC 61000-4-30 Clase A
V A Hz	•	•	•
Fluctuaciones	•	•	•
Armónicos	•	•	•
Potencia y energía	•	•	•
Calculadora de pérdida de energía	•	•	•
Desequilibrios	•	•	•
Monitor	•	•	•
Corriente de arranque "inrush"	•	•	•
Captura de formas de onda del evento		•	•
Parpadeo de tensión		•	•
Transitorios		•	•
Transmisión de señales		•	•
Onda de potencia		•	•
Eficiencia de inversores	•	•	•
400 Hz			•
Maletín flexible C1740	•	•	
Maletín de transporte rígido con ruedas C437-II			•
Tarjeta SD FC WiFi (máx. 32 GB)*	8 GB	8 GB	8 GB

Todos los modelos incluyen los siguientes accesorios: juego de sondas de prueba TL430, 4 sondas flexibles de corriente I430, batería BP290, adaptador de red BC430 con juego de adaptadores para enchufes internacionales, cable USB A-B mini y CD PowerLog.

* Tarjeta SD de 8GB estándar incluida con las versiones del instrumento /DNTL.

Especificaciones

Las especificaciones son válidas para los modelos Fluke 434-II, Fluke 435-II y Fluke 437-II a menos que se indique lo contrario.

Las especificaciones de amperios y vatios se basan en las sondas de prueba i430-Flexi-TF a menos que se indique lo contrario.

Entrada	
Entradas de tensión	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en CC
Tensión máxima de entrada	1000 Vrms
Rango de la tensión nominal	Seleccionable de 1 V a 1000 V
Máxima tensión pico de medida	6 kV (solo modo de transitorios)
Impedancia de entrada	4 M Ω /5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para modo de transitorios
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas en CC o CA
Tipo	Sonda o transformador de corriente con salida de mV o i430flex-TF
Rango	De 0,5 Arms a 600 Arms con la sonda i430flex-TF incluida (con sensibilidad de 10x). De 5 Arms a 6000 Arms con la sonda i430flex-TF incluida (con sensibilidad de 1x). De 0,1 mV/A a 1 V/A y personalizado para su uso con sondas opcionales de CA o CC.
Impedancia de entrada	1 M Ω
Ancho de banda	> 10 kHz
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Sistema de muestreo	
Resolución	Convertidor A/D de 16 bits en 8 canales
Velocidad máxima de muestreo	200 kS/s en cada canal simultáneamente
Muestreo RMS	5000 muestras en 10/12 ciclos según IEC61000-4-30
Sincronización de PLL	4096 muestras en 10/12 ciclos según IEC61000-4-7
Frecuencia nominal	434-II y 435-II: 50 Hz y 60 Hz. 437-II: 50 Hz, 60 Hz y 400 Hz
Modos de visualización	
Visualización de formas de onda	Disponible en todos los modos con la tecla SCOPE 435-II y 437-II: Modo de visualización por defecto para función de transitorios Velocidad de actualización de 5x por segundo Visualiza 4 ciclos de datos de formas de onda en pantalla, hasta 4 formas de onda simultáneamente
Diagrama fasorial	Disponible en todos los modos mediante la función SCOPE Vista predeterminada para modo de desequilibrios
Lecturas de multímetro	Disponible en todos los modos excepto Monitor y Transitorios, proporciona una vista tabular de todas las lecturas disponibles Completamente personalizable hasta 150 lecturas para el modo de Registrador
Gráfico de tendencia	Disponible en todos los modos excepto Transitorios Cursor vertical simple con lectura mín, máx y media en la posición del cursor
Gráfico de barras	Disponible en los modos de Monitor y Armónicos
Lista de eventos	Disponible en todos los modos Proporciona formas de onda solo en los modelos 435II y 437II

Modos de medida	
Osciloscopio	4 formas de onda de tensión, 4 formas de onda de corriente, Vrms, Vfund. Arms, A fund, V @ cursor, A @ cursor, ángulos de fase
V/A/Hz	Vrms fase a fase, Vrms fase a neutro, pico de tensión, factor de cresta de tensión, pico de amperios de Arms, factor de cresta de amperios, hercios
Fluctuaciones	Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, umbrales programables para la detección de eventos
Armónicos de CC, 1 a 50, hasta 9º armónico para 400 Hz	Tensión de armónicos, THD, amperios de armónicos, K factor amperios, vatios de armónicos, vatios THD, K factor vatios, tensión interarmónica, amperios interarmónicos, Vrms, Arms (relativos fundamental o a rms total)
Potencia y energía	Vrms, Arms, Wfull, Wfund., Vfull, Vfund., VAarmónicos, VAdesequilibrio, VA, PF, DPF, CosQ, Factor de eficiencia, Wavance, Wretroceso
Calculadora de pérdida de energía	Wfund, VAarmónicos, VAdesequilibrio, VA, A, pérdidas en activa, pérdida en reactiva, pérdidas en armónicos, pérdidas en desequilibrios, pérdidas en el neutro, costo de las pérdidas (basado en coste definido por el usuario / kWh)
Eficiencia de inversores (se necesita sonda opcional de corriente CC)	Wfull, Wfund, Wdc, Eficiencia, Vdc, Adc, Vrms, Arms, Hz
Desequilibrio	Vneg%, Vcero%, Aneg%, Acero%, Vfund, Afund, ángulos de fase V, ángulos de fase A
Corrientes de arranque "inrush"	Corriente inrush, duración inrush, Arms $\frac{1}{2}$, Vrms $\frac{1}{2}$
Monitor	Vrms, Arms, tensión de armónicos, THD de tensión, PLT, Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Hz, fluctuaciones, interrupciones, cambios rápidos de tensión, desequilibrio y señales de la red. Todos los parámetros se miden de forma simultánea de acuerdo con ENS0160. La opción "flagging" se aplica de acuerdo con la norma IEC61000-4-30 para evidenciar lecturas no fiables debidas a fluctuaciones.
Parpadeo de tensión (solo 435-II y 437-II)	Pst (1 min.), Pst, Plt, Pinst, Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Hz
Transitorios (solo 435-II y 437-II)	Formas de onda de transitorios 4x tensión 4x amperios, disparos: Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$, Pinst
Transmisión de señales (solo 435-II y 437-II)	Tensión de señal relativa y absoluta promediadas durante tres segundos hasta dos frecuencias de señal seleccionables
Onda de potencia (solo 435-II y 437-II)	Vrms $\frac{1}{2}$, Arms $\frac{1}{2}$ W, Hz y formas de onda de osciloscopio para tensión, amperios y vatios
Registrador	Selección personalizada de hasta 150 parámetros de calidad eléctrica simultáneamente en las 4 fases

Especificaciones

	Modelo	Rango de medida	Resolución	Precisión
Voltios				
Vrms (CA+CC)	434 II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % de la tensión nominal****
	435-II y 437-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,01 V	± 0,1 % de la tensión nominal****
Pico de tensión		1 V pico de tensión a 1400 V pico de tensión	1 V	5 % de la tensión nominal
Factor de cresta de tensión		1,0 > 2,8	0,01	± 5 %
Vrms $\frac{1}{2}$	434 II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 1 % de la tensión nominal
	434-II y 435-II		0,1 V	± 0,2 % de la tensión nominal
Vfund	434 II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,1 V	± 0,5 % de la tensión nominal
	435-II y 437-II		0,1 V	± 0,1 % de la tensión nominal

Amperios (precisión sin incluir precisión de sonda)				
Amperios (CA+CC)	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (solo CA)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Pico de corriente	i430-Flex	8400 A pico de corriente	1 Arms	± 5 %
	1 mV/A	5500 A pico de corriente	1 Arms	± 5 %
Factor de cresta de amperios		1 a 10	0,01	± 5 %
Amps ^{1/2}	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (solo CA)	0,1 A	± 1 % ± 10 cuentas
Afund	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
	1 mV/A 10x	0,5 A a 200 A (solo CA)	0,1 A	± 0,5 % ± 5 cuentas
Hz				
Hz	Fluke 434 a 50 Hz nominal	42,50 Hz a 57,50 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 434 a 60 Hz nominal	51,00 Hz a 69,00 Hz	0,01 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 50 Hz nominal	42,500 Hz a 57,500 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435/7 a 60 Hz nominal	51,000 Hz a 69,000 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 437 a 400 Hz nominal	340,0 Hz a 460,0 Hz	0,1 Hz	± 0,1 Hz
Alimentación				
Vatios (VA, var)	i430-Flex	máx. 6000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1 % ± 10 cuentas
	1 mV/A	máx. 2000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1 % ± 10 cuentas
Factor de potencia (Cos ϕ /DPF)		0 a 1	0,001	± 0,1 % con condiciones de carga nominal
Energía				
kWh (kVAh, kvarh)	i430-Flex 10x	Según escala de la sonda de corriente y tensión nominal		± 1 % ± 10 cuentas
Pérdidas de energía	i430-Flex 10x	Según escala de la sonda de corriente y tensión nominal		± 1 % ± 10 cuentas No incluye la precisión de la resistencia de línea

Armónicos				
Orden de armónicos (n)		CC, grupos de 1 a 50: Grupos de armónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Orden de interarmónicos (n)		Desactivado, grupos de 1 a 50: subgrupos de armónicos e interarmónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Tensión	%f	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm 0,1 \% \pm n \times 0,1 \%$
	%r	0,0 % a 100 %	0,1 %	$0,1 \% \pm n \times 0,4 \%$
	Absoluto	0,0 a 1000 V	0,1 V	$\pm 5 \% *$
	THD	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm 2,5 \%$
Amperios	%f	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm 0,1 \% \pm n \times 0,1 \%$
	%r	0,0 % a 100 %	0,1 %	$0,1 \% \pm n \times 0,4 \%$
	Absoluto	0,0 a 600 A	0,1 A	$\pm 5 \% \pm 5 \text{ cuentas}$
	THD	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm 2,5 \%$
Vatios	%f o %r	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm n \times 2 \%$
	Absoluto	Según escala de la sonda de corriente y tensión nominal	—	$\pm 5 \% \pm n \times 2 \%$ $\pm 10 \text{ cuentas}$
	THD	0,0 % a 100 %	0,1 %	$\pm 5 \%$
Ángulo de fase		-360° a +0°	1°	$\pm n \times 1^\circ$
Parpadeo de tensión				
Plt, Pst, Pst (1 min) Pinst		0,00 a 20,00	0,01	$\pm 5 \%$
Desequilibrios				
Tensión	%	0,0 % a 20,0 %	0,1 %	$\pm 0,1 \%$
Amperios	%	0,0 % a 20,0 %	0,1 %	$\pm 1 \%$
Trasmisión de señales				
Niveles de umbral		Los umbrales, límites y duración de la transmisión son programables para dos frecuencias de transmisión	—	—
Frecuencia de transmisión		60 Hz a 3000 Hz	0,1 Hz	
V% relativo		0 % a 100 %	0,10 %	$\pm 0,4 \%$
V3s absoluto (promedio de 3 segundos)		0,0 V a 1000 V	0,1 V	$\pm 5 \% \text{ de la tensión nominal}$

Registro de tendencias	
Método	Registra automáticamente los valores mínimo, máximo y promedio a lo largo del tiempo para todas las lecturas visualizadas simultáneamente para las tres fases y el neutro
Muestreo	Muestreo continuo de 5 lecturas/s por canal, 100/120** lecturas/s para valores de 1/2 ciclo y Pinst
Tiempo de grabación	De 1 h a 1 año, seleccionable por el usuario (configuración predeterminada 7 días)
Tiempo de promediado	Mínimo 1 segundo
Memoria	Los datos se almacenan en una tarjeta SDcard (8 GB incluida, 32 GB máx.)
Eventos	434-II: Tabulados en la lista de eventos 435-II y 437-II: Tabulados en la lista de eventos, incluidos ciclos de formas de onda de 50/60** y tendencias de tensión y amperios rms de 1/2 ciclo y 7,5 s
Método de medida	
Vrms, Arms	Intervalos de 10/12 ciclos no superpuestos y contiguos utilizando 500/4162 muestras por ciclo de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
V pico de tensión, A pico de corriente	Muestra de valor máximo dentro del intervalo de 10/12 ciclos con una resolución de la muestra de 40 µs
Factor de cresta de tensión	Mide la relación entre el valor del pico de tensión y Vrms
Factor de cresta de amperios	Mide la relación entre el valor del pico de corriente y Arms
Hz	Medido cada 10 s de acuerdo con la norma IEC61000-4-30. Los valores de Vrms ^{1/2} , Arms ^{1/2} se miden a lo largo de 1 ciclo, comenzando en un cruce de cero de la fundamental, y se actualiza cada medio ciclo. Esta técnica es independiente para cada canal de acuerdo con IEC 61000-4-30.
Armónicos	Calculados a partir de medidas de grupos de armónicos sin separación de 10/12 ciclos, para tensión y corriente, de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7
Vatios	Visualización de la potencia real total y fundamental. Calcula el valor medio de la potencia instantánea a lo largo de periodos de 10/12 ciclos para cada fase. Potencia activa total PT = P1 + P2 + P3.
VA	Visualización de la potencia aparente total y fundamental. Calcula la potencia aparente utilizando el valor de Vrms x Arms a lo largo de un período de 10/12 ciclos.
var	Visualización de la potencia reactiva total y fundamental. Calcula la potencia reactiva en componentes de secuencia positiva de la fundamental. La carga capacitiva e inductiva se indica con los iconos de condensador e inductor.
Armónicos VA	Potencia total de perturbación debida a armónicos. Calculada para cada fase y para el sistema total basada en la potencia aparente total y la potencia real de la fundamental.
Desequilibrios de VA	Potencia de desequilibrios para el sistema total. Calculada usando el método de componentes simétricos para potencia aparente de la fundamental y potencia aparente total.
Factor de potencia	Vatios/VA totales calculados
Cos φ	Coseno del ángulo entre la tensión y la corriente de la fundamental
DPF	Cálculo de vatios/VA de la fundamental
Energía/coste energético	Los valores de potencia se acumulan a lo largo del tiempo para valores de kWh. El costo de la energía se calcula con la variable de coste /kWh definida por el usuario
Desequilibrios	Los desequilibrios de la tensión de suministro se evalúan utilizando el método de componentes simétricos de acuerdo con la norma IEC61000-4-30
Parpadeo de tensión	De acuerdo con la norma IEC 61000-4-15 de medida de parpadeo de tensión; especificación funcional y de diseño. Incluye modelos de lámparas de 230 V 50 Hz y de lámparas de 120 V 60 Hz.
Captura de transitorios	Captura la forma de onda activada en la envolvente de la señal. Además, se activa con fluctuaciones de tensiones, interrupciones y nivel de amperios
Corriente de arranque "inrush"	La corriente de arranque "inrush" comienza cuando el medio ciclo de Arms supera el umbral de arranque y finaliza cuando el valor rms del medio ciclo de Arms es igual o inferior al umbral de arranque menos un valor de histéresis seleccionado por el usuario. La medida es la raíz cuadrada de la media de los valores de medio ciclo de Arms al cuadrado medidos durante el período de arranque. Cada intervalo de medio ciclo es contiguo y no superpuesto siguiendo las recomendaciones de la norma IEC 61000-4-30. Las marcas indican la duración del arranque. Los cursores permiten medir el medio ciclo del pico de Arms.
Transmisión de señales	Las medidas se basan en el valor eficaz de 10/12 ciclos interarmónicos correspondiente o el verdadero valor eficaz de los cuatro valores rms de 10/12 ciclos interarmónicos correspondiente, según la norma IEC 61000-4-30. La configuración de los límites para el modo Monitor sigue los límites de la norma EN50160.
Sincronización	El módulo opcional de sincronización GPS430-II proporciona una incertidumbre temporal de ≤ 20 ms o ≤ 16,7 ms en función del tiempo asignado a los eventos y de las medidas de tiempo agregadas. Cuando la sincronización no está disponible, la tolerancia temporal es de ≤ 1 s/24h

Configuraciones de cableado

1Ø + NEUTRO	Una fase con neutro
1Ø FASE DIVIDIDA	Fase dividida
1Ø IT SIN NEUTRO	Sistema monofásico con tensiones bifásicas sin neutro
3Ø EN ESTRELLA	ESTRELLA en sistema trifásico de cuatro hilos
3Ø EN TRIÁNGULO	Triángulo en sistema trifásico de tres hilos
3Ø IT	Sistema trifásico sin ESTRELLA para el neutro
3Ø DERIVACIÓN ALTA	Sistema en triángulo trifásico de cuatro hilos, con derivación alta central
3Ø TERMINAL ABIERTA	Sistema en triángulo abierto de tres hilos, con 2 devanados de transformador
2 ELEMENTOS	Sistema trifásico de tres hilos sin sensor de corriente en la fase L2/B (método de medidor de 2 vatios)
2½ ELEMENTOS	Sistema trifásico de cuatro hilos sin sensor de tensión en la fase L2/B
EFICIENCIA DE INVERSORES	Entrada de corriente y tensión CC con potencia de salida CA (se muestra y selecciona automáticamente en el modo de eficiencia del inversor)

Especificaciones

Carcasa	Resistente y a prueba de impactos con funda protectora integrada IP51 contra el polvo y las salpicaduras de acuerdo con la norma IEC 60529 cuando se utiliza en posición de soporte inclinado Impactos y vibraciones. Impactos: 30 g, vibraciones: 3 g sinusoidal, aleatorio 0,03 g ² /Hz de acuerdo con MIL-PRF-28800F Clase 2
Pantalla	Brillo: 200 cd/m ² típ. utilizando adaptador de red, 90 cd/m ² típico con batería Tamaño: LCD de 127 mm x 88 mm (153 mm/6,0 pulgadas de diagonal) Resolución: 320 x 240 píxeles Contraste y brillo: ajustable por el usuario, compensado por temperatura
Memoria	Tarjeta SD de 8 GB (compatible con SDHC, formato FAT32) estándar, hasta 32 GB opcionales Almacena pantallas y varias memorias de datos para almacenar incluso registros (en función del tamaño de la memoria)
Reloj de tiempo real	Indicación de fecha y hora para modo de Tendencia, pantalla de visualización de Transitorios, monitor del sistema y captura de eventos

Condiciones ambientales

Temperatura de funcionamiento	0 °C ~ +40 °C; +40 °C ~ +50 °C sin batería
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ~ +60 °C
Humedad	+10 °C ~ +30 °C: 95% de humedad relativa sin condensación +30 °C ~ +40 °C: 75% de humedad relativa sin condensación +40 °C ~ +50 °C: 45% de humedad relativa sin condensación
Altitud máxima de funcionamiento	Hasta 2000 m (6666 pies) para CAT IV 600 V, CAT III 1000 V Hasta 3.000 m (10.000 pies) para CAT III 600 V, CAT II 1000 V Altitud máxima de almacenamiento: 12 km (40.000 pies)
Compatibilidad electromagnética (EMC)	EN 61326 (2005-12) para emisión e inmunidad
Interfases	mini-USB-B, puerto USB aislado para conectividad a PC Ranura para tarjeta SD accesible detrás de la batería del instrumento
Garantía	3 años (piezas y mano de obra) para el instrumento principal, 1 año para los accesorios

Accesorios incluidos

Opciones de alimentación	Adaptador de red BC430 Juego de adaptadores para enchufes internacionales BP290 (batería de ión-litio de capacidad normal) 28Wh (hasta 8 horas)
Cables de prueba	Juego de sondas de prueba TL430
Códigos de color	Clips con codificación de colores WC100
Sondas de corriente flexibles	i430flex-TF, 61 cm (24 pulgadas) de longitud, 4 sondas
Memoria, software y conexión a PC	Tarjeta SD WiFi de 8GB PowerLog en CD (incluye manuales de instrucciones en formato PDF) Cable USB A-B mini
Maletín de transporte	Maletín flexible C1740 para 434-II y 435-II Maletín de transporte rígido con ruedas C437 para el 437-II

* ± 5% si ≥ 1% de la tensión nominal ± 0,05% de la tensión nominal si < 1% de la tensión nominal
 ** 50 Hz/60 Hz de la frecuencia nominal de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30
 *** No se admiten medidas de 400 Hz para modos Parpadeo de tensión, Transmisión y Monitor.
 **** para una tensión nominal de 50 V a 500 V
 *****Tarjeta SD de 8GB estándar incluida con las versiones de instrumento /INTL.

Especificación de la sonda de prueba de corriente i430 Flexi-TT
Especificaciones generales

Material de la sonda y del cable	Alcryn 2070NC, aislamiento reforzado, UL94 V0, Color: Rojo
Material de los acoplamientos	Lati Latamid 6H-V0 de nylon
Longitud del cable de la sonda	610 mm (24 pulg.)
Diámetro del cable de la sonda	12,4 mm (0,49 pulgadas)
Radio de curvatura del cable de la sonda de prueba	38,1 mm (1,5 pulgadas)
Longitud del cable de salida	2,5 metros de cable RG58
Conector de salida	Conector BNC de seguridad
Rango de funcionamiento	-20 °C a +90 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a +105°C
Humedad de funcionamiento	15 % a 85 % (sin condensación)
Grado de protección (sonda)	IP41

Especificaciones

Rango de corriente	6000 A CA RMS
Salida de tensión (a 1000 ARMS, 50 Hz)	86,6 mV
Precisión	± 1 % de lectura (a 25 °C, 50 Hz)
Linealidad (10% al 100% del rango)	± 0,2 % de lectura
Ruido (10 Hz – 7 kHz)	1,0 mV CA RMS
Impedancia de salida	82 Ω mín.
Impedancia de carga	50 MΩ
Resistencia interna por cada 100 mm de longitud de sonda	10,5 Ω ± 5 %
Ancho de banda (-3 dB)	10 Hz a 7 kHz
Error de fase (45 Hz – 65 Hz)	± 1°
Sensibilidad de la posición	± 2 % de lectura máx.
Coefficiente de temperatura	± 0,08 % máx. de lectura por °C
Tensión de servicio (consulte el apartado de normas de seguridad)	1000 V CA RMS o CC (cabezal) 30 V máx. (salida)

Ya disponible: Analizador trifásico de calidad eléctrica y motores Fluke 438-II
Compruebe de manera rápida y fácil el rendimiento de motores eléctricos, y evalúe la calidad eléctrica con un solo instrumento

El nuevo analizador de calidad eléctrica y motores Fluke 438-II incorpora funciones de medidas mecánicas fundamentales para los motores eléctricos y las funciones de análisis de los analizadores de calidad eléctrica Fluke 430 Serie II. Mida y analice de manera rápida y fácil parámetros clave de rendimiento mecánico y eléctrico, como potencia, armónicos, desequilibrios, velocidad del motor y potencia mecánica sin necesidad de emplear sensores mecánicos.

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de Fluke o visite nuestro sitio web.



Información para pedidos

Fluke-434-II Analizador trifásico de energía

Fluke-435-II Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía

Fluke-437-II Analizador trifásico de calidad eléctrica y energía de 400 Hz

FLUKE-434-II/INTL Analizador internacional de calidad eléctrica y energía*

FLUKE-435-II/INTL Analizador internacional de calidad eléctrica y energía*

FLUKE-437-II/INTL Analizador internacional de calidad eléctrica y energía de 400 Hz*

FLUKE-438-II Analizador de calidad eléctrica y motores

* Los modelos /INTL incluyen una tarjeta SD estándar de 8GB SD, otras versiones incluyen una tarjeta SD inalámbrica Fluke FC-SD.

Accesorios opcionales de recambio

Fluke-430-II/M Kit de actualización de analizador de motores

Fluke FC-SD Tarjeta SD inalámbrica de Fluke Connect

I430-FLEXI-TF-II-4PK Juego de 4 sondas flexibles planas Fluke 430 de 6000 A, 61 cm (24 pulgadas)

C437-II Maletín de transporte con ruedas para 430 Serie II

C1740 Maletín flexible para analizadores PQ 174X y 43X-II

i5sPQ3 Sondas de corriente i5sPQ3 para 5 A de CA, 3 unidades

i400s Sonda de corriente de CA i400s

WC100 Clips con codificación de colores WC100 horaria GPS430

BP291 Batería de ión-litio de doble capacidad (hasta 16 h)

HH290 Gancho para colgar el instrumento



Mantenimiento preventivo simplificado. Eliminación de la revisión de las unidades.

Ahorre tiempo y aumente la fiabilidad de los datos de mantenimiento sincronizando de forma inalámbrica las medidas mediante Fluke Connect®.

- Elimine los errores por la introducción de datos al guardar las medidas directamente en la herramienta y asociándolas con el pedido, informe o registro del trabajo.
- Maximice el tiempo de actividad y tome decisiones de mantenimiento con confianza basándose en datos en los que puede confiar y que puede rastrear.
- Acceda a medidas básicas, históricas y de corriente por activo.
- Deje de usar el portapapeles, hojas de cálculo o cuadernos y aproveche un sencillo sistema de transmisión inalámbrica.
- Comparta los datos de sus medidas con videollamadas ShareLive y correos electrónicos™.
- El 430 Serie II forma parte de un sistema en expansión de instrumentos de medida conectados y software de mantenimiento de equipos. Visite el sitio web para obtener más información acerca del sistema Fluke Connect®.

Obtenga más información en flukeconnect.es



*Todas las marcas registradas pertenecen a sus respectivos propietarios. Para compartir datos se necesita WiFi o cobertura de móvil. Smartphone, servicio inalámbrico y plan de datos no incluidos con la compra. Los primeros 5 GB de almacenamiento son gratuitos. Encontrará la información de teléfonos compatibles en fluke.es/phones.

Smartphone, servicio inalámbrico y plan de datos no incluidos con la compra.
Fluke Connect no está disponible en todos los países.

Fluke. Manteniendo su mundo en marcha.

Fluke Ibérica, S.L.

Pol. Ind. Valportillo
C/ Valgrande, 8
Ed. Thanworth II - Nave B1A
28108 Alcobendas
Madrid
Tel: 91 4140100
Fax: 91 4140101
E-mail: info.es@fluke.com
Acceso a Internet: www.fluke.es

©2016 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos.
Información sujeta a modificación sin previo aviso.
04/2016 2643006f-spa

No se permite ninguna modificación de este documento sin permiso escrito de Fluke Corporation.