

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Automatización de la calibración de los patrones portátiles monofásicos de calidad de energía**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Luis Javier Solano Mora**

**Cartago, noviembre de 2018**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

**Defensa de Proyecto de Graduación**  
**Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica**  
**Grado Académico de Licenciatura**  
**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado Automatización de la calibración de los patrones portátiles monofásicos de calidad de energía, realizado por el señor Luis Javier Solano Mora y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

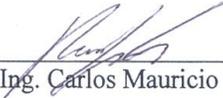
Miembros del Tribunal Evaluador

  
Ing. Carlos Meza Benavides

  
Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor lector

Profesor lector

  
Ing. Carlos Mauricio Segura Quirós

Profesor asesor

Cartago, 12 de noviembre, 2018

## **Declaratoria de autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 12 noviembre 2018

Luis Solano Mora

Luis Javier Solano Mora

Cédula: 1 1583 0201

## **Resumen**

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) posee al Laboratorio de Medidores que, en conjunto con el Laboratorio de Eficiencia Energética (LEE) han contribuido al fortalecimiento de la gestión del país en materia de evaluación de la conformidad para los equipos consumidores de energía eléctrica. El LEE, el cual se caracteriza por su especialización en ensayos de eficiencia energética debe generar informes con gran exactitud, lo más cercana al 100%, debido a que este laboratorio es el encargado de brindar reportes de eficiencia de equipos domésticos, comerciales e industriales.

El Laboratorio de Eficiencia Energética fue acreditado por parte del Ente Costarricense de acreditación (ECA) en el año 2008, esta acreditación se otorgó para gran variedad de ensayos de los que realiza el LEE, por lo que reafirma al laboratorio con su objetivo de proveer al país de capacidad de medición y de su necesidad de generar informes confiables.

La calibración de equipos es una de las tareas realizadas en conjunto por parte de los laboratorios, específicamente la calibración de medidores, la cual es de gran importancia para garantizar que la energía suministrada que es medida por ellos sea la adecuada.

La gran demanda de medidores a lo largo del país provoca la adquisición de diversos patrones, por lo que es fundamental mantener calibrados los equipos patrones con los que se calibran los medidores para obtener datos correctos en la medición. Por esta razón, se propone un sistema que permita calibrar los patrones de forma más rápida y automatizada, así mismo, que mejore el manejo de la información mediante la generación de informes automáticos para la calibración de cada patrón.

Palabras clave: Ensayos, calibración, equipos patrón, automatizada.

## **Abstract**

The Costa Rican Electricity Institute (ICE) owns the Metering Laboratory, which, together with the Energy Efficiency Laboratory (LEE), has contributed to strengthen the country's management in terms of conformity assessment for electric power consumers. The LEE, which is characterized by its specialization in energy efficiency tests, must generate great accuracy reports, the closest to 100%, because this laboratory is responsible for providing efficiency reports of domestic, commercial, and industrial equipment.

The Energy Efficiency Laboratory was accredited by the Costa Rican Accreditation Body (ECA) in 2008, this accreditation was granted for a wide variety of tests carried out by the LEE, reaffirming the laboratory's objective of providing the country with measurement capacity and its need to generate reliable reports.

The equipment calibration is one of the tasks performed jointly by laboratories, specifically the calibration of meters, something of great importance to ensure that energy supplied is adequate.

The great demand of meters across the country causes the acquisition of different patterns, so it is essential to keep calibrated the standard equipment with which the meters are calibrated to obtain correct data in the measurement. For this reason, a system is proposed that allows calibration patterns in a faster and automated way, likewise, to improve management of information by generating automatic reports for calibration of each pattern.

**Keywords:** Tests, calibration, standard equipment, automatization

## **Dedicatoria**

*“A mis padres Ronald y Floribeth, por su apoyo incondicional en todo momento y por llenarme de fuerza y motivación para superarme cada día.*

*También a mi hermano Oscar y a mi hermana Nadia quienes me han brindado su apoyo en todo momento y a mi sobrina Angie quien me motiva siempre para seguir luchando.*

*Y a todas las personas quienes me brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.”*

## **Agradecimiento**

Primeramente, le agradezco a dios por convertirme en la persona que ahora soy y por ayudarme a superar todos los obstáculos.

A mi familia quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y motivación incondicional.

A todos los profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica por compartir conmigo su conocimiento y amistad.

A todos los ingenieros del Laboratorio de Eficiencia Energética en especial a Heyleen y a Marvin por darme la oportunidad de vivir una experiencia inolvidable al lado de ellos, y a los señores del laboratorio de medidores por recibirme de tan buena manera.

Y a todos los amigos, compañeros y familiares que me brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera.

# ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo 1 Introducción</b> .....	1
<b>1.1. Entorno del proyecto</b> .....	1
<b>1.2. Definición del problema</b> .....	2
<b>1.2.1 Generalidades</b> .....	2
<b>1.2.2 Síntesis del problema</b> .....	2
<b>1.3. Enfoque de la solución</b> .....	3
<b>Capítulo 2 Meta y Objetivos</b> .....	6
<b>2.1. Meta</b> .....	6
<b>2.2. Objetivo general</b> .....	6
<b>2.3. Objetivos específicos</b> .....	6
<b>Capítulo 3 Marco teórico</b> .....	7
<b>3.1. Descripción de los instrumentos de medición</b> .....	7
<b>3.1.1 Fuente California Instruments modelo 10001 ix</b> .....	7
<b>3.1.2 Patrón de variables eléctricas Radian RD-23</b> .....	8
<b>3.1.3 Patrón portátil Enetics LM-1312</b> .....	10
<b>3.1.4 Socket universal</b> .....	12
<b>3.2. Protocolo de comunicación serial</b> .....	13
<b>3.2.1 Interfaz RS-232</b> .....	14
<b>3.2.2 Protocolo USB</b> .....	16
<b>3.3. LabVIEW: Plataforma y entorno de desarrollo.</b> .....	17
<b>3.4. Interfaz</b> .....	20
<b>3.5. Plantillas</b> .....	20
<b>Capítulo 4 Procedimiento Metodológico</b> .....	24

4.1.	Investigación bibliográfica .....	24
4.2.	Uso de equipos .....	24
4.3.	Preparación en LabVIEW .....	25
4.4.	Adquisición de datos .....	25
4.5.	Desarrollo en LabVIEW .....	26
<b>Capítulo 5 Descripción detallada de la solución .....</b>		<b>27</b>
5.1.	Comunicación .....	27
5.1.1	Comunicación Fuente California Instruments 10001 ix .....	28
5.1.2	Comunicación Radian RD-23 .....	30
5.1.3	Comunicación Enetics LM-1312 .....	33
5.2.	Diseño y programación interfaz .....	34
5.2.1	Interfaz .....	34
5.2.2	Estructura de programación .....	35
5.2.3	Registro de datos .....	39
5.2.4	Manipulación de los datos .....	42
5.3.	Generación del informe .....	45
<b>Capítulo 6 Resultados y Análisis .....</b>		<b>47</b>
6.1.	<b>Objetivo específico 1: Establecer una comunicación entre la fuente programable y el patrón de variables eléctricas para obtener la información de los equipos a la vez, la cual es requerida para la calibración. ....</b>	<b>47</b>
6.2.	<b>Objetivo específico 2: Diseñar una interfaz gráfica en la plataforma de LabVIEW que permita la programación de las rutinas de calibración en los puntos requeridos. ....</b>	<b>50</b>
6.3.	<b>Objetivo específico 3: Implementar la automatización del informe de calibración para mejorar la manipulación de los datos. ....</b>	<b>53</b>

<b>6.4. Objetivo General: Desarrollar la automatización en la calibración de los patrones portátiles monofásicos mediante el uso de una fuente programable y un patrón de variables eléctricas que permitan mejorar la metodología de calibración y la generación de informes para un mejor manejo de los datos.....</b>	<b>55</b>
<b>Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>64</b>
<b>7.1. Conclusiones .....</b>	<b>64</b>
<b>7.2. Recomendaciones .....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>66</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>68</b>
<b>A.1 Información de la empresa.....</b>	<b>68</b>
<b>A.1.1 Descripción de la empresa .....</b>	<b>68</b>
<b>A.1.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto ....</b>	<b>69</b>
<b>A.2 Plantillas.....</b>	<b>69</b>
<b>A.2.1 Resultados de cálculo de incertidumbres .....</b>	<b>69</b>
<b>A.2.2 Resultados de informe de calibración.....</b>	<b>73</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>76</b>
<b>B.1 Plantillas para la calibración de patrones portátiles monofásicos.....</b>	<b>76</b>
<b>B.1.1 Calculo de incertidumbres.....</b>	<b>76</b>
<b>B.1.2 Informe de calibración .....</b>	<b>80</b>
<b>B.2 Ley ARESEP.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Diagrama de bloques solución propuesta.....	5
<b>Figura 3.1.</b> California Instruments modelo 10001 ix. [5].....	7
<b>Figura 3.2.</b> Conexión módulos 10001 ix. [5] .....	8
<b>Figura 3.3.</b> Radian RD-23. [6].....	9
<b>Figura 3.4.</b> Enetics LM-1312. [8].....	11
<b>Figura 3.5.</b> Socket universal. ....	12
<b>Figura 3.6.</b> Conexión Socket Universal.....	13
<b>Figura 3.7.</b> Conector DB-9. ....	15
<b>Figura 3.8.</b> Conector USB tipo A. ....	16
<b>Figura 3.9.</b> Pantalla de inicio de LabVIEW. ....	17
<b>Figura 3.10.</b> Panel Frontal y Diagrama de Bloques. ....	18
<b>Figura 3.11.</b> Paleta de herramientas de LabVIEW. ....	19
<b>Figura 3.12.</b> Estructuras de programación de LabVIEW. ....	20
<b>Figura 3.13.</b> Plantilla para cálculo de incertidumbres. ....	21
<b>Figura 3.14.</b> Plantilla informe de calibración 1. ....	23
<b>Figura 5.1.</b> Diagrama de bloques para fuentes con modelos ix/Mx. ....	29
<b>Figura 5.2.</b> Diagrama de Bloques fuente 10001ix.....	29
<b>Figura 5.3.</b> Convertidor Ethernet a RS-232.....	30
<b>Figura 5.4.</b> Escritura de comandos para el RD-23 .....	31
<b>Figura 5.5.</b> Lectura de voltaje instantáneo Radian RD-23. ....	32
<b>Figura 5.6.</b> Configuración del software PowerScape. ....	33
<b>Figura 5.7.</b> Interfaz de calibración.....	35
<b>Figura 5.8.</b> Estructura de eventos. ....	36
<b>Figura 5.9.</b> Botón Nueva Prueba. ....	37
<b>Figura 5.10.</b> Ventana emergente de Nueva Prueba. ....	38
<b>Figura 5.11.</b> Diagrama de bloques ventana emergente.....	39
<b>Figura 5.12.</b> Extracción archivo de Excel del Enetics.....	40
<b>Figura 5.13.</b> Corrección de tiempos lectura Radian. ....	41
<b>Figura 5.14.</b> Sincronización de tiempos entre patrones.....	41

<b>Figura 5.15.</b> Adquisición de datos.....	42
<b>Figura 5.16.</b> Portada plantilla de Excel. ....	43
<b>Figura 5.17.</b> Formato plantilla en Excel.....	43
<b>Figura 5.18.</b> Manipulación de datos con plantilla de Excel. ....	44
<b>Figura 5.19.</b> Escritura y lectura para 120V fase A. ....	45
<b>Figura 5.20.</b> Escritura en la plantilla de Word. ....	46
<b>Figura 6.1.</b> Lectura de la programación en LabVIEW.....	49
<b>Figura 6.2.</b> Interfaz de calibración.....	50
<b>Figura 6.3.</b> Solicitud de condiciones ambientales .....	51
<b>Figura 6.4.</b> Datos obtenidos durante la calibración. ....	52
<b>Figura 6.5.</b> Datos exportados a la plantilla de Excel .....	52
<b>Figura 6.6.</b> Informe con los resultados de la calibración.....	54
<b>Figura 6.7.</b> Lectura de los diferentes voltajes.....	56
<b>Figura 6.8.</b> Indicación para el proceso manual.....	57
<b>Figura 6.9.</b> Datos de Excel importados a LabVIEW.....	58
<b>Figura 6.10.</b> Excel generado mediante LabVIEW para 120 V.....	59
<b>Figura 6.11.</b> Excel generado mediante LabVIEW para 208 V.....	59
<b>Figura 6.12.</b> Excel generado mediante LabVIEW para 240 V.....	60
<b>Figura 6.13.</b> Informe de calibración página 1.....	61
<b>Figura 6.14.</b> Informe de calibración página 2.....	62
<b>Figura 6.15.</b> Informe de calibración página 3.....	63
<b>Figura A.1.</b> Hoja 1 resultado cálculo de incertidumbres. ....	69
<b>Figura A.2.</b> Hoja 2 resultado cálculo de incertidumbres. ....	70
<b>Figura A.3.</b> Hoja 3 resultado cálculo de incertidumbres. ....	70
<b>Figura A.4.</b> Hoja 4 resultado cálculo de incertidumbres. ....	71
<b>Figura A.5.</b> Hoja 5 resultado cálculo de incertidumbres. ....	71
<b>Figura A.6.</b> Hoja 6 resultado cálculo de incertidumbres. ....	72
<b>Figura A.7.</b> Hoja 7 resultado cálculo de incertidumbres. ....	72
<b>Figura A.8.</b> Página 1 resultados informe de calibración. ....	73
<b>Figura A.9.</b> Página 2 resultados informe de calibración. ....	74
<b>Figura A.10.</b> Página 3 resultados informe de calibración. ....	75

<b>Figura B.1.</b> Plantilla hoja1 cálculo de incertidumbres. ....	76
<b>Figura B.2.</b> Plantilla hoja 2 cálculo de incertidumbres. ....	77
<b>Figura B.3.</b> Plantilla hoja 3 cálculo de incertidumbres. ....	77
<b>Figura B.4.</b> Plantilla hoja 4 cálculo de incertidumbres. ....	78
<b>Figura B.5.</b> Plantilla hoja 5 cálculo de incertidumbres. ....	78
<b>Figura B.6.</b> Plantilla hoja 6 cálculo de incertidumbres. ....	79
<b>Figura B.7.</b> Plantilla hoja 7 cálculo de incertidumbres. ....	79
<b>Figura B.8.</b> Plantilla pagina 1 informe de calibración.....	80
<b>Figura B.9.</b> Plantilla pagina 2 informe de calibración.....	81
<b>Figura B.10.</b> Plantilla pagina 3 informe de calibración.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Rangos de medición RD-23. [6] .....	9
<b>Tabla 3.2.</b> Rangos de medición LM-1312. [8] .....	11
<b>Tabla 3.3.</b> Asignación de pines conector DB-9. ....	15
<b>Tabla 5.1.</b> Caída de tensión mesa de trabajo .....	27
<b>Tabla 5.2.</b> Características Comunicación Serial Radian RD-23.....	30
<b>Tabla 5.3.</b> Comandos de acceso voltaje instantáneo. ....	32
<b>Tabla 5.4.</b> Descripción de los eventos. ....	37
<b>Tabla 6.1.</b> Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 120 V. ....	48
<b>Tabla 6.2.</b> Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 208 V. ....	48
<b>Tabla 6.3.</b> Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 240 V. ....	48

# Capítulo 1 Introducción

## 1.1. Entorno del proyecto

El Instituto Costarricense de Electricidad en su función de suministrar energía hacia las personas o empresas que lo requieran, cuenta con equipos llamados patrones portátiles de la marca Enetics modelo LM-1312, estos equipos son adaptadores grabadores que son colocados a la base de los medidores residenciales, comerciales e industriales para registrar la información de los mismos y realizar una calibración con el objetivo de medir el estado y la calidad del servicio que se les brinda a los usuarios.

Debido a las normativas de nivel nacional como lo son el Programa de Evaluación de la Calidad de la Electricidad, la Ley N.º 7593 de ARESEP, el convenio de Cooperación Institucional ARESEP-UCR-FUNDEVI y la Unidad de Verificación de la Calidad del Suministro Eléctrico UVECASE, se les exige a las empresas que brindan servicios de suministro de energía eléctrica que posean todos los equipos involucrados en estas tareas de forma calibrada.

Presentada esta situación surge la necesidad por parte del Instituto Costarricense de Electricidad de cumplir con este requisito impuesto en la verificación de la calidad de energía y para ello es necesario la calibración de todos los patrones portátiles con los que cuenta el ICE en esta labor. Es de gran importancia medir la calidad de la electricidad debido a que si esta no cumple con los estándares establecidos se provocan daños a los equipos, afectando el desempeño en procesos productivos y aumentando el consumo de energía, lo cual no es correcto para los usuarios.

El desarrollo del proyecto se realiza en el laboratorio de medidores ubicado en Colima, Tibás que en conjunto con el laboratorio de Eficiencia Energética son los encargados de llevar a cabo los proyectos de mediciones de variables eléctricas que le surgen como necesidad al Instituto Costarricense de Electricidad. Con la realización del proyecto se pretende contribuir en el cumplimiento de los requisitos impuestos por ARESEP hacia el Instituto Costarricense de Electricidad y ayudar en la labor de la verificación de la calidad de la energía que beneficia a todas y todos los costarricenses.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1 Generalidades**

Los patrones portátiles con los que cuenta el Instituto Costarricense de Electricidad poseen una calibración manual muy lenta y una metodología deficiente en el manejo de los datos obtenidos y con las exigencias presentadas por la ARESEP en la ley 7593 con reformas 8660 y el convenio de Cooperación Institucional ARESEP-UCR-FUNDEVI a través de Unidad de Verificación de la Calidad del Suministro Eléctrico UVECASA, más la publicación en el Alcance Digital N° 75 a La Gaceta N° 189 del 2015, se les obliga a tener todos estos equipos calibrados, por ello surge la necesidad de acelerar el proceso de calibración debido a que manualmente no se puede calibrar todo el equipo, además de que conlleva gran cantidad de tiempo el manejo de la información obtenida para ser presentada en un informe por lo que resulta difícil cumplir con la normativa impuesta. [1]-[4]

Actualmente el ICE cuenta con cuatrocientos patrones portátiles de los cuales todos deben ser calibrados y para esta calibración se necesita de una fuente programable de 10 kVA marca California Instruments modelo 10001ix que es la encargada de proporcionar las tensiones necesarias durante el proceso y también se necesita de un patrón de variables eléctricas marca Radian modelo RD-23 que es el patrón con el cual se comparan los datos, estos equipos son de un costo elevado por lo que no se pueden tener varios de ellos a disposición. Además de que el proceso de la calibración manual para cada patrón portátil tarda alrededor de una hora y debe repetirse cada doce meses y al no haber suficiente personal para realizarlo constantemente el tiempo no es lo suficiente para calibrar todos los patrones portátiles cuando ya se debe iniciar nuevamente el proceso de calibración en ellos.

### **1.2.2 Síntesis del problema**

La metodología de la calibración de los patrones portátiles monofásicos es muy lenta y el proceso de generación de informes es manual.

### **1.3. Enfoque de la solución**

Con el desarrollo de este proyecto se pretende mejorar la metodología en la calibración de los patrones portátiles, tomando en cuenta que los proveedores de estos equipos se reservan a compartir información propia de la elaboración del mismo, por lo que se cuenta con poca información para establecer una comunicación directa desde programas ajenos a los propiciados por ellos. Existen dos alternativas que permiten mejorar la metodología de calibración, como lo es corregir el tiempo de calibración de cada patrón portátil mediante una automatización total hasta realizar todo el proceso en tiempos de milisegundos y como segunda alternativa se pretende realizar la calibración de los patrones portátiles disminuyendo el tiempo de calibración de la forma más automatizada posible.

Al automatizar por completo el proceso se debe tomar en cuenta la realización de la comunicación directa de los equipos, donde también se logre mejorar el tiempo de calibración de los patrones portátiles a tiempos prácticamente reales, esta parece ser una buena solución, debido a que se puede lograr la calibración de muchos patrones al día. Si bien es cierto de esta manera se le estaría dando solución al problema, pero esta alternativa implica realizar un estudio a fondo a ver si es viable la construcción de la solución propuesta, debido a que comunicación directa de los equipos puede resultar complicada, además, de que la calibración debe realizarse siguiendo una serie de instrucciones y tiempos de estabilización que deben corregirse para lograr realizarla a tiempo real. Todo el proceso de calibración resulta difícil lograrlo en tiempos tan cortos por lo que, si se podría mejorar estos tiempos en la extracción de datos y el manejo que se les da, pero aun así no se alcanzarían los tiempos requeridos, esto debido a que se deben de realizar mejoras antes en la automatización de procesos para reducir los tiempos a los deseados.

Dada la situación expuesta anteriormente de la primera alternativa se analiza la segunda para conocer su viabilidad y proceder a la escogencia de alguna de ellas para realizar su implementación. La automatización de la calibración de los patrones portátiles disminuyendo el tiempo con respecto a la calibración actual es una alternativa en la que no se requiere más personal, si no, más bien al realizarse esta opción se le quitará carga de trabajo a la persona encargada aunque esta deba extraer los datos de cada patrón, debido a que la mayoría de las indicaciones del proceso funciona en forma automatizada, además, de

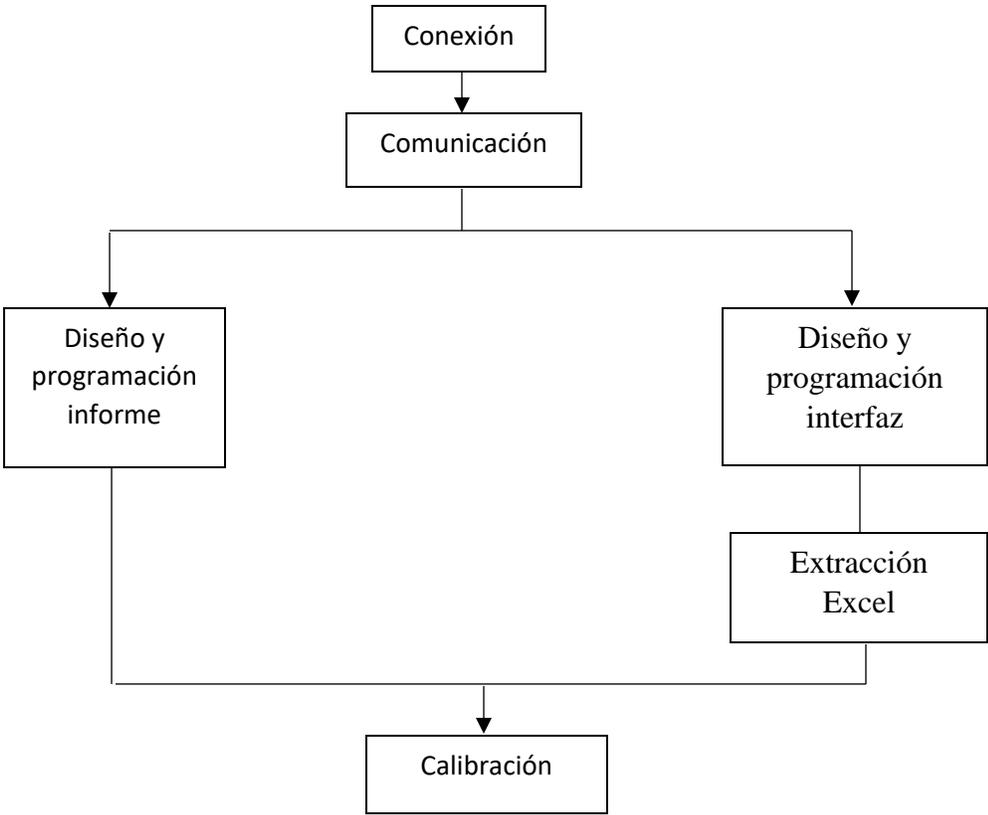
que con esta alternativa también se puede lograr la calibración de grandes cantidades de patrones en solo un día, esto debido a que su tiempo de calibración disminuirá considerablemente al tiempo establecido en el proceso manual. Esta solución pretende automatizar el proceso de calibración y con solo algunas indicaciones por parte del operador se calibre cada patrón portátil, con la salvedad de que no se pretende disminuir el tiempo de duración del proceso a términos de segundos debido a que la calibración lleva un procedimiento establecido, el cual tarda un tiempo determinado, esta opción de mejorar los tiempos de duración a segundos podría ser una solución a futuro, pero no está presente como un requerimiento de la misma.

Adicionalmente para ambas soluciones se debe automatizar el proceso de la generación de informes, por lo que se debe de realizar mediante una programación en LabVIEW que toma los datos generados de la calibración en una tabla de Excel y los envía hacia una plantilla de Word que cuenta con un texto estandarizado para que sean presentados en un informe final. Como se explicó anteriormente ambas soluciones son viables para la realización de ellas, pero al concluir que la primera alternativa tarda más tiempo de lo esperado, se considera como no viable para darle una solución temprana y acorde con lo esperado del proyecto, lo que motivo a elegir la segunda solución como la más apta y empezar a conocerla un poco más a fondo. Para implementar la solución escogida de calibrar cada patrón portátil donde se disminuye el tiempo de la calibración, se debe crear una conexión de un bastidor de posiciones que es donde se conectará cada patrón portátil a calibrar con los demás equipos involucrados en el proceso, además, se establecerá una comunicación entre la fuente programable y el patrón de variables eléctricas directamente desde LabVIEW para obtener los datos requeridos de los equipos a la vez.

**Tabla 1.** Forma de las etapas de la solución propuesta.

<b>Comunicación</b>	Automatizada
<b>Interfaz</b>	Automatizada
<b>Rutinas de calibración</b>	Automatizada
<b>Extracción Excel</b>	Manual
<b>Generación informe</b>	Automatizada

En la tabla 1 se muestra la forma en la que se van a realizar la etapas para la solución propuesta, donde una vez creada la conexión de los equipos y la comunicación de ellos se realizará la automatización del proceso mediante el diseño de una interfaz gráfica en LabVIEW que permita la programación de las rutinas de calibración y seguidamente se procederá a la extracción del archivo de Excel con los datos producidos por el patrón portátil mediante su software propietario y desde la programación creada se importará este archivo para contar con toda la información desde LabVIEW y continuar con la generación automática del informe final que contiene todos los datos necesarios de la calibración. Una forma más explícita la podemos observar en la figura 1 donde se muestra el diagrama de bloques de la solución propuesta.



**Figura 1.1.** Diagrama de bloques solución propuesta.

## **Capítulo 2 Meta y Objetivos**

### **2.1. Meta**

Mejorar la metodología de calibración donde se realice un proceso en forma simultánea para todos los patrones portátiles monofásicos que permita la mesa de trabajo, donde se mejore la eficiencia en el tiempo de calibración llevando este proceso a tiempo real y se permita obtener los datos de la calibración en forma automática para presentarlos en un informe final para cada patrón portátil.

### **2.2. Objetivo general**

Desarrollar la automatización en la calibración de los patrones portátiles monofásicos mediante el uso de una fuente programable y un patrón de variables eléctricas que permitan mejorar la metodología de calibración y la generación de informes para un mejor manejo de los datos.

### **2.3. Objetivos específicos**

1. Establecer una comunicación entre la fuente programable y el patrón de variables eléctricas para obtener la información de los equipos a la vez, la cual es requerida para la calibración.
2. Diseñar una interfaz gráfica en la plataforma de LabVIEW que permita la programación de las rutinas de calibración en los puntos requeridos.
3. Implementar la automatización del informe de calibración para mejorar la manipulación de los datos.

## Capítulo 3 Marco teórico

### 3.1. Descripción de los instrumentos de medición

En este capítulo se dan a conocer los fundamentos físicos, teóricos y matemáticos utilizados en este proyecto, es importante conocer a fondo los equipos de medición y las herramientas con las que se va a trabajar para lograr obtener el máximo provecho de ellos. Por esta razón se mencionarán datos importantes de los equipos utilizados, además, de una explicación del funcionamiento básico de la herramienta de programación LabVIEW.

#### 3.1.1 Fuente California Instruments modelo 10001 ix

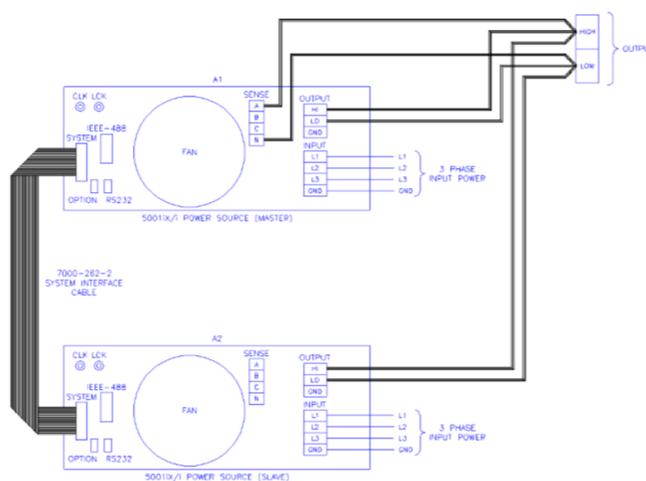
Es una fuente programable de fácil acceso, al combinar una fuente de alimentación de CA y CC es muy flexible y de gran rendimiento debido a sus altos valores voltaje y corriente que puede suministrar, utiliza un procesador de señales digitales de última generación en conjunto con convertidores A/D lo que proporciona mayor precisión y resolución en el análisis de armónicas. La figura 3.1 muestra una imagen de la fuente California Instruments modelo 10001 ix utilizada. [5]



**Figura 3.1.** California Instruments modelo 10001 ix. [5]

Esta fuente posee la alternativa de exportar los datos medidos por medio distintas interfaces de comunicación, como lo son IEEE-488 (GPIB) y RS-232. Con el lenguaje de programación SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) es posible programar todas las funciones de la fuente desde una computadora externa.

Posee una potencia de 10k VA dividida en dos módulos de 5k VA cada uno, lo cuales trabajan en conjunto mediante una conexión de simple aplicación como se observa en la figura 3.2, las cuales suministran voltajes de 0 – 300V y corrientes de 0 – 120A. [5]



**Figura 3.2.** Conexión módulos 10001 ix. [5]

### 3.1.2 Patrón de variables eléctricas Radian RD-23

El modelo RD-23 es un estándar de referencia monofásico ideal para pruebas en el campo debido a su portabilidad y simplicidad en su aplicación. Este equipo cumple funciones como actuador principal en las mediciones, pero también es utilizado principalmente como referencia ante otros patrones, esto se debe a que cuenta con una precisión de 0.01% en todas sus funciones lo que permite una gran exactitud y confiabilidad en sus resultados. En la figura 3.3 se muestra una imagen de patrón de variables eléctricas utilizado. [6]



**Figura 3.3.** Radian RD-23. [6]

En la tabla 3.1 se puede observar los diferentes rangos de medición que el patrón de variables eléctricas RD-23 puede suministrar, tanto para sus valores mínimos como para los máximos para no exceder al equipo a funcionar en valores fuera de rango.

**Tabla 3.1.** Rangos de medición RD-23. [6]

<b>Rangos de medición</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Corriente (opción de tres entradas).	0.02 A	67 A
Corriente (opción de rango extendido de tres entradas).	0.02 A	75 A
Corriente (una opción de entrada)	0.02 A	120 A
Voltaje	30 V	630 V
Alimentación auxiliar	60 V	630 V
Frecuencia	45 Hz	75 Hz
Ángulo de fase	0°	360°
Factor de potencia	-1	1

El RD-23 tiene integrado un convertidor de señales analógicas a digitales y fue diseñado específicamente para medición de potencia y energía, por lo que cuenta con la capacidad de realizar una medición simultánea monofásica en cuatro cuadrantes de energía, potencia, tensión, corriente, factor de potencia, ángulo de fase y armónicos. [6]

Con el Radian se pueden realizar comunicaciones externas por medio de una salida Ethernet, para llevar a cabo este proceso se debe de seguir un protocolo de comunicaciones basado en comandos, lo cuales permiten al equipo identificar los datos medidos que se requieren obtener y la forma en la que se desean mostrar. [7]

### **3.1.3 Patrón portátil Enetics LM-1312**

El LM-1312 es un adaptador de medidor que registra la información simultáneamente de más de 30 parámetros de energía, su manipulación es simple y de fácil acceso a sus datos, debido a que cuenta con una tarjeta de memoria SD donde se guardan todas sus mediciones. Este equipo también cuenta con su software para registrar todas las mediciones en tiempo real, además de que permite la programación de rutinas de mediciones a distintos tiempos y por el tiempo que se requiera. La figura 3.4 muestra la imagen de patrón portátil utilizado. [8]



**Figura 3.4.** Enetics LM-1312. [8]

En la tabla 3.2 se observan los principales rangos de medición que el patrón portátil LM-1312 puede funcionar, tanto para sus valores mínimos como para los máximos y así no exceder al equipo a funcionar en valores fuera de rango.

**Tabla 3.2.** Rangos de medición LM-1312. [8]

<b>Rangos de medición</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Potencia	85 VAC	265 VAC
Voltaje	120 V	240 V
Corriente	0 A	200A
Frecuencia	47 Hz	63 Hz

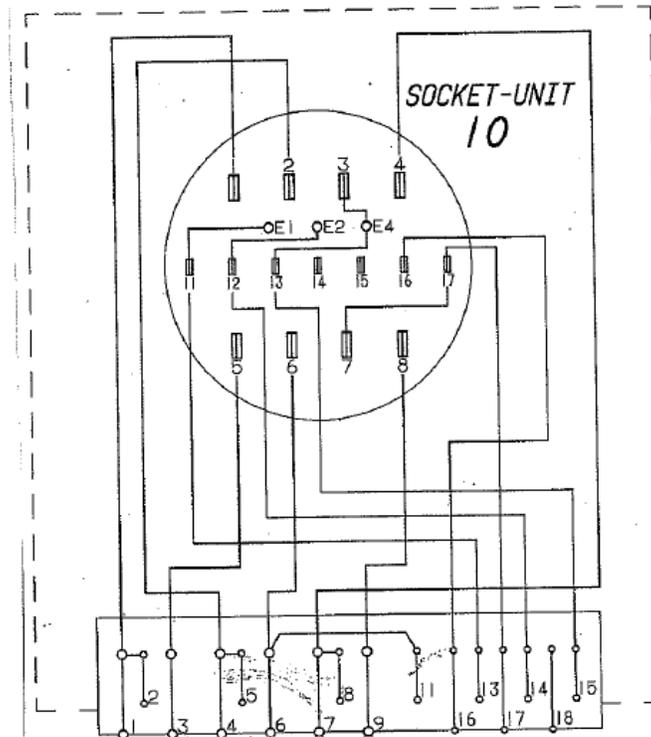
Este equipo cuenta con dos fases en cuales sus mediciones son simultaneas para corriente y voltaje en cada una de ellas, además de que tiene un puerto serial USB el cual permite una comunicación local para registrar la información medida en tiempo real. [8]

### 3.1.4 Socket universal

La base para medidor universal conocida como “socket”, posee una manipulación muy sencilla y de fácil acceso, como se observa en la figura 3.5, esta consta de una palanca encargada de abrir o cerrar las ventanas internas para sujetar el equipo que se encuentre conectado a la base. En la figura 3.6 se observa el diagrama de conexión interna, donde se indican sus puntos de entrada y salida para su correcto cableado. [9]



**Figura 3.5.** Socket universal.



**Figura 3.6.** Conexión Socket Universal.

### 3.2. Protocolo de comunicación serial

El protocolo de comunicación serial es un método muy sencillo que puede alcanzar grandes distancias sin perder la información, su función consiste en enviar y recibir bytes de información con un bit a la vez, para que esta comunicación sea posible se necesita de tres líneas de transmisión como lo son:

- Tierra o referencia (GND)
- Transmitir (Tx)
- Recibir (Rx)

Este protocolo permite enviar datos por la línea Tx mientras se reciben datos por la otra línea Rx, debido a que la transmisión no está sincronizada, a este tipo de comunicación se le conoce como Full-Dúplex. Es importante mencionar que para establecer una comunicación entre dos puertos se necesita de las principales características de la

comunicación serial como son la velocidad de transmisión, bits de datos, bits de parada y la paridad sean iguales. [10]

### **Velocidad de transmisión (baud rate)**

La velocidad de transmisión indica la cantidad de bits que se transfieren por segundo, su unidad de medida es el baudío, de ahí su nombre baud rate que permite conocer la velocidad a la que se envía o recibe un dato. [10]

### **Bits de datos**

Son la cantidad de bits que serán transferidos, comúnmente se transfiere un byte completo (8 bits) pero los paquetes de datos más utilizados son 8, 7 y 5 bits. Este número de bits que se envían dependen del tipo de información que se desea transferir. [10]

### **Bits de parada**

El bit de parada es usado para indicar el final de la comunicación de un solo paquete de datos, los valores de bits de parada más comunes son 1, 1.5 o 2 bits. [10]

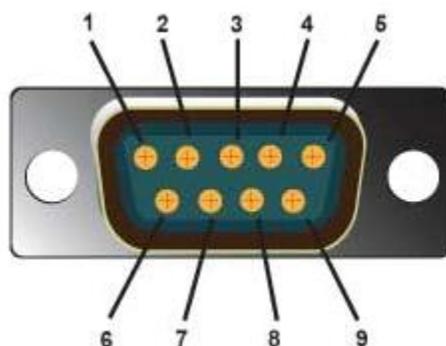
### **Paridad**

El bit de paridad es una forma sencilla de verificar si existen errores en la transmisión y comprobar si el dato se envió de forma correcta, existen la paridad nula, par, impar, marcada y espaciada. [10]

## **3.2.1 Interfaz RS-232**

La interfaz RS-232 es un puerto de comunicación serial que realiza conexiones punto a punto entre los puertos seriales de computadoras u otros equipos. Esta interfaz utiliza valores de rangos específicos para un cero lógico o un uno lógico, el cero lógico comprende valores de tensión de entre 3V a 15V y el uno lógico comprende tensión negativa de -3V a -15V.

Para la implementación de la interfaz RS-232 se utiliza comúnmente el conector DB-9, el cual está compuesto por nueve pines como se observa en la figura 3.7. [10]



**Figura 3.7.** Conector DB-9.

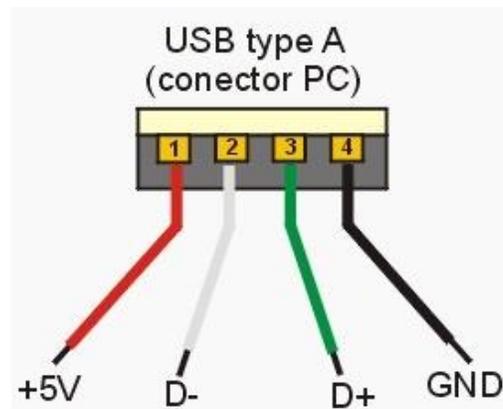
Para la comunicación serial se necesitan principalmente los pines 5, 3, 2, los cuales representan las señales de tierra, transmisión y recepción, en la tabla 3.3 se puede observar la asignación completa de pines para el conector DB-9.

**Tabla 3.3.** Asignación de pines conector DB-9.

<b>Pin</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
1	CD	Detección de portadora
2	RxD	Recepción de datos
3	TxD	Transmisión de datos
4	DTR	Terminal de datos
5	GND	Referencia
6	DSR	Set de datos
7	RTS	Petición para enviar
8	CTS	Listo para enviar
9	RI	Indicador de llamada

### 3.2.2 Protocolo USB

El protocolo USB (Universal serial bus) nace de la idea de remplazar la gran cantidad de conectores disponibles en las computadoras simplificando su conexión y su configuración de dispositivos al lograr anchos de bandas más grandes, este es un puerto de comunicación serial punto a punto, debido a que su conexión inicia en una computadora y su destino es un periférico. Para la implementación del protocolo USB se utiliza comúnmente el conector tipo A, el cual está compuesto por cuatro pines de los cuales dos son para datos y dos para la alimentación como se observa en la figura 3.8. [11]



**Figura 3.8.** Conector USB tipo A.

Características protocolo USB:

- Banda de paso.
- Transferencia síncrona y asíncrona en el mismo bus.
- Varios tipos de periféricos en un mismo bus.
- Conexión de 127 periféricos.
- Flexibilidad.
- Fiabilidad.
- Control de errores.
- Velocidad de 1.5 Mbits/s.
- Bus expansible.

### 3.3. LabVIEW: Plataforma y entorno de desarrollo.

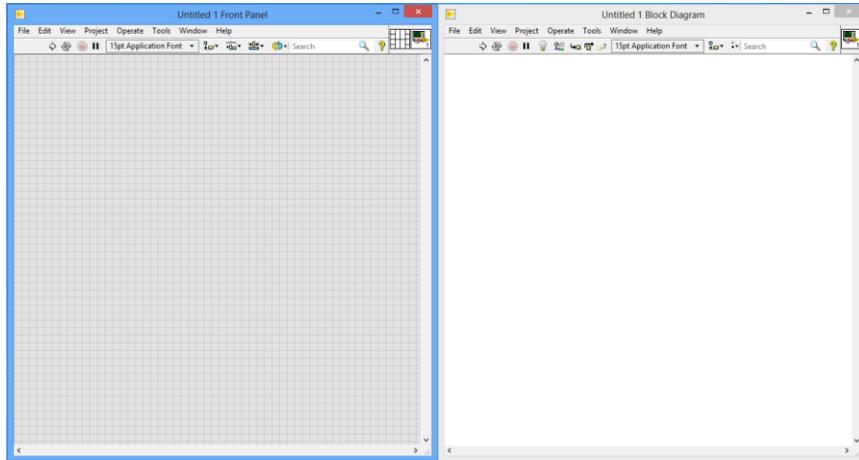
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un entorno de programación grafica que permite la creación de aplicaciones de forma más rápida y sencilla. Este software se trabaja por medio del lenguaje de programación G y posee diversas funciones integradas que realizan el control de instrumentos, el análisis de mediciones, la adquisición de datos y presentación de los datos. En la figura 3.9 se muestra la ventana de inicio de la plataforma de desarrollo de LabVIEW. [12]



**Figura 3.9.** Pantalla de inicio de LabVIEW.

Los programas creados en LabVIEW son llamados VI (Virtual Instruments), debido a que se comportan como una copia de los instrumentos físicos. Una vez iniciado el programa, este se muestra por medio de dos ventanas donde se van realizar todos los trabajos y procesos del software. [12]

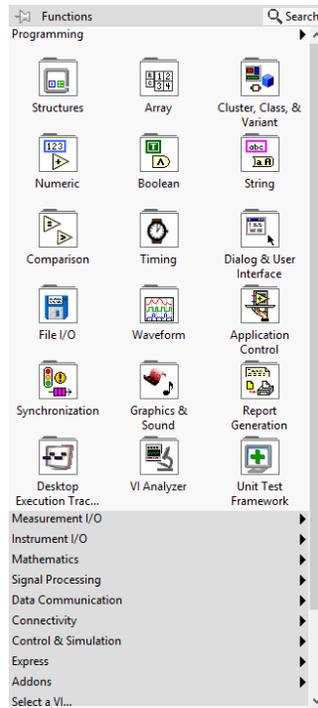
En la figura 3.10 se observa el área de trabajo de LabVIEW, en la posición izquierda se encuentra el panel frontal en donde se manipulan, controlan y monitorean los datos, mientras que en la derecha se encuentra el diagrama de bloques que es donde se localiza el código gráfico. [12]



**Figura 3.10.** Panel Frontal y Diagrama de Bloques.

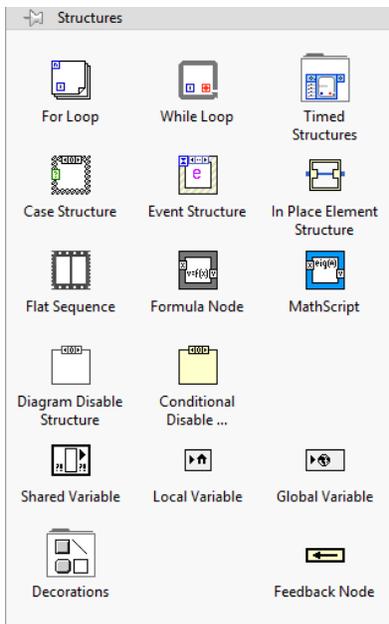
Como se mencionó anteriormente LabVIEW permite la creación de aplicaciones de manera fácil y sencilla, por lo que para ello contiene gran cantidad de herramientas donde se colocan objetos ya construidos que no poseen líneas de texto de código, lo que acelera el desarrollo en él.

Existen diversas herramientas para la elaboración de programas en LabVIEW, en la figura 3.11 podemos observar la paleta de funciones en donde se encuentran todas las herramientas disponibles del software. [12]



**Figura 3.11.** Paleta de herramientas de LabVIEW.

Como se observó en la figura 3.11 existen diferentes paletas que se pueden utilizar, en la sección de “Programming” se observa la paleta de “Structures” la cual es una de las más importantes y utilizadas en la creación de programas, debido a que contiene las estructuras de programación y en ellas como lo muestra la figura 3.12 se encuentran el ciclo while, el ciclo for, la estructura de casos y demás funciones ya creadas que son de vital importancia en la programación. [12]



**Figura 3.12.** Estructuras de programación de LabVIEW.

### 3.4. Interfaz

Para la creación de la interfaz se debe de realizar según los métodos establecidos en las normas ISO de Interfaz e Interacción, donde se mencionan diferentes normas como lo son: las norma ISO 9126, ISO 9241, ISO 11064, ISO 14915, la cuales se encargan de medir la calidad del producto en la evaluación de software, la ergonomía de la interacción entre el usuario y la computadora, la ergonomía del software para la interfaz multimedia y las guías de interfaz de usuario en equipos multimedia para uso general. [13]

### 3.5. Plantillas

Como se mencionó anteriormente el Laboratorio de Eficiencia Energética se encuentra acreditado por lo que debe de cumplir con ciertas condiciones para elaboración de sus ensayos, dentro de ellas se debe de seguir la norma ISO 17025 donde se establecen los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayos y calibración. [14]

Para realizar este ensayo se debe seguir con el procedimiento de calibración EL-010 de metrología donde se indica principalmente el método de cálculo de incertidumbres a realizar. Este proceso ya fue elaborado previamente por el laboratorio, el cual posee una plantilla en formato de Excel con los cálculos de incertidumbre ya establecidos, en la figura 3.13 se muestra dicha plantilla en la que nada más se deben de agregar los datos obtenidos en la medición y esta se encarga de realizar los cálculos para mostrar el resultado final de la incertidumbre. [15]

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS				Código ICE-LEE-F11-2-F02			
Versión: 04				Página 1/1			
Rige a partir de: 2018-06-05				Actualizado: 2018-09-04			
Solicitud: OBP		Calibración Enetics Enetics LM-12-12		Activo ICE: aaaa		Especificaciones del Patrón	
Metrólogo: CANAL A		esactitud %: 0.01		Calibración del Patrón, %: 0.0092		Error del Patrón %: -0.0015	
Frecuencia de calibración: 60 Hz		Variable a calibrar: Tensión en AC		Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%): 0.30		Fecha de calibración: 23/10/2018	
Punto de medición: 120.000 V		Resol: 0.01		Valor generado (P <sup>1</sup> ): 120.002 V		Patrón	
No de Medida: P L		% error sin corrección		Valor medido (L): 120.000 V		Radian RD-23 896702	
1 120.000 V 120.000 V 0.00000				Componente Argumento Valor estima		Certificado ICE-LEE-C-13-2018	
2 120.000 V 120.000 V 0.00000				Resolución OBP Resolución de escala ...		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
3 120.000 V 120.000 V 0.00000				Valor medido OBP Repetibilidad 0.000 V		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
4 120.000 V 120.000 V 0.00000				Calibración del patrón Calibración ...		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
5 120.000 V 120.000 V 0.00000				Especificaciones del patrón Especificaciones ...		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
Promedio 120.000 V 120.000 V 0.00000				Resolución del Patrón Resolución de escala ...		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
desviación estándar 0.000 V 0.000 V 0.00000				Incertidumbre combinada 0.0072		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
n 5				grados efectivos de libertad 488.3568		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
temperatura ambiental [C] 24.1				valor k [95%] 1.96		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	
Humedad relativa [%] 56.3				Incertidumbre en unidades SI		Escala auto Tensión en AC 120.0 V	

Figura 3.13. Plantilla para cálculo de incertidumbres.

Los resultados obtenidos se deben de mostrar en un informe según la evaluación de datos de medición con la guía para la expresión de la incertidumbre de medida. De la misma manera que el cálculo de incertidumbres, el laboratorio estableció con anterioridad una plantilla en formato de Word, la cual cuenta con portada, encabezados, tablas y demás elementos para cumplir con los requisitos de la generación de informes. [16]

En la figura 3.14 y se observa la plantilla, donde se le deben de agregar los datos solicitados en cuanto a la información propia al momento de la calibración y a los resultados de mediciones e incertidumbres.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
INFORME DE CALIBRACIÓN



ICE-LEE-P11-2-F02

Pág. 1 de 3

---

Fecha de calibración	(Fecha de realización de la calibración)
----------------------	--

Objeto bajo prueba	Marca: Enetics Modelo: LM-1312 Número de activo: Número de serie:
Ámbito de Medición	Tensión eléctrica en corriente alterna
Método de Medición	Comparación directa
Patrones y Trazabilidad Metrológica	Marca: Radian Modelo: RD-23 Número de activo: 896702 Número de serie: 208858 Informe de calibración: Vence:

---

Heyleen Villalta Maietta  
Coordinador Técnico

---

(nombre completo)  
Metrólogo

**Resultados de la calibración**

$P^1 = P$  corregido **Tensión Eléctrica Alterna @ 60 Hz**

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

En esta calibración el mesurando es el error relativo del instrumento bajo calibración y el proceso de medición está formalizado con base en la siguiente expresión:  $Er = \left[ \left( \frac{L-P}{P} \right) \right] \times 100$ . Dónde: L es el valor del instrumento bajo calibración, P es el valor del patrón y la incertidumbre reportada es la incertidumbre de medida asociada al error relativo.

$P^1$ : Valor corregido con respecto al certificado de calibración del patrón.

**Figura 3.14.** Plantilla informe de calibración.

## **Capítulo 4 Procedimiento Metodológico**

### **4.1. Investigación bibliográfica**

Primeramente, lo que se realizó para el desarrollo del proyecto fue una investigación bibliográfica a fondo para todos los equipos involucrados, donde se lograra extraer toda la información posible para entender su modo de operación y su funcionamiento aplicado al proyecto. También se estudió su comportamiento para conocer las medidas de seguridad que se deben de tomar para no sufrir daño por el uso inadecuado de alguno de ellos y para no dañar los equipos o los componentes internos, debido a que son equipos de un precio muy elevado, por lo que una nueva adquisición no es sencilla.

Durante la investigación se recopiló la información encontrada, donde se contaba con las especificaciones técnicas, diagramas de bloques, configuraciones y rangos de medición de cada uno de los equipos. Se contaba también con los manuales de usuario, los cuales fueron indispensables para realizar las conexiones físicas, de alimentación y en general de su funcionamiento.

Una vez comprendido su funcionamiento, se procedió a investigar la forma en la que cada uno de los equipos exporta los datos y de esta forma estudiar su protocolo de comunicación para entender el formato con el que se puedan extraer.

### **4.2. Uso de equipos**

En esta etapa se realizó la experimentación con los diferentes equipos poniendo en práctica el estudio efectuado, para cada equipo se realizó su conexión y se tomaron pruebas en el caso de los patrones con respecto a sus mediciones de voltaje y con la fuente de alimentación se manipularon sus funciones para suministrar el voltaje en la salida.

Seguidamente se procedió a conectar todos los equipos con la mesa de trabajo donde se le estableció un voltaje a la fuente para medirlo con cada patrón. Cabe destacar que estas mediciones de los patrones se realizaron con sus respectivos programas de fábrica.

### **4.3. Preparación en LabVIEW**

La mayoría del proyecto consiste en la utilización de la plataforma de LabVIEW, como se mencionó en el apartado 3.3 este programa se desarrolla en lenguaje G que es muy similar a los más conocidos lenguajes de programación, pero si bien es cierto que durante el proceso de estudio universitario se utiliza, esto no es suficiente para abordar todas las especificaciones en el proyecto. Por esta razón en esta etapa se realiza una preparación en LabVIEW para reforzar los conocimientos y comprender de una forma más clara la manera en que se va a desarrollar el programa que permita la automatización de los patrones portátiles monofásicos.

La preparación en LabVIEW se desarrolló tomando como guía la información proporcionada por la página de National Instruments, además, de que se les dio seguimiento a los ejemplos para una mejor comprensión y manejo de la información.

Gracias a esta preparación se crea una mejor idea para la realización de la interfaz gráfica, en donde también se genera un panorama más claro para abordar el ordenamiento de las rutinas de calibración y la manera de cómo se debe desarrollar el programa.

### **4.4. Adquisición de datos**

La conexión de los equipos involucrados en el proyecto se realiza mediante los conectores USB y RS-232, por lo que se procede a estudiar los protocolos de comunicación serial que permiten establecer una comunicación directa con la plataforma de desarrollo de LabVIEW.

Al concluir este estudio se presentaron alternativas para realizar la adquisición de datos, las cuales eran por medio de Modbus y NI-VISA. Se utilizó la segunda opción debido a que es la más utilizada para realizar este proceso de adquisición y por lo tanto posee más información para su elaboración, además, de que el comportamiento de los equipos lo permitía.

#### **4.5. Desarrollo en LabVIEW**

En esta etapa se unificaron los conocimientos adquiridos con anterioridad y se procedió a realizar el diseño de la interfaz gráfica, en donde se agregaron los botones principales y los valores que se deben de mostrar en pantalla para tener un panorama claro de la rutina de calibración que permite el funcionamiento total del proyecto.

Para el desarrollo de las rutinas de calibración se implementó una máquina de estados la cual es la encargada de llevar a cabo el proceso mediante secuencias, debido a que este proyecto implica el uso de diferentes equipos al mismo tiempo y por lo tanto las funciones actúan de forma simultánea. Se realizó la máquina de estados con encolamiento de datos para evitar problemas principalmente en los tiempos de ejecución.

Gracias a la interfaz creada y a toda la estructura de programación establecida se procedió a incluir los códigos de adquisición de datos y la realización de todos los eventos de forma consecutiva para obtener la calibración completa de los patrones portátiles.

## Capítulo 5 Descripción detallada de la solución

### 5.1. Comunicación

Para iniciar la comunicación de los equipos se procede a realizar la conexión de la mesa de trabajo con los equipos requeridos, para ello se realiza el cableado correspondiente con cada uno de los equipos, además, se verifican las conexiones internas punto a punto de la mesa de trabajo para confirmar su funcionamiento.

Con la mesa ya en funcionamiento se mide la caída de tensión en los puntos donde se van a alimentar los patrones portátiles, debido a que la conexión de la mesa no es independiente para cada uno de sus puntos se realiza esta medición con el fin de analizar si se debe de realizar una corrección por pérdidas de voltaje.

**Tabla 5.1.** Caída de tensión mesa de trabajo

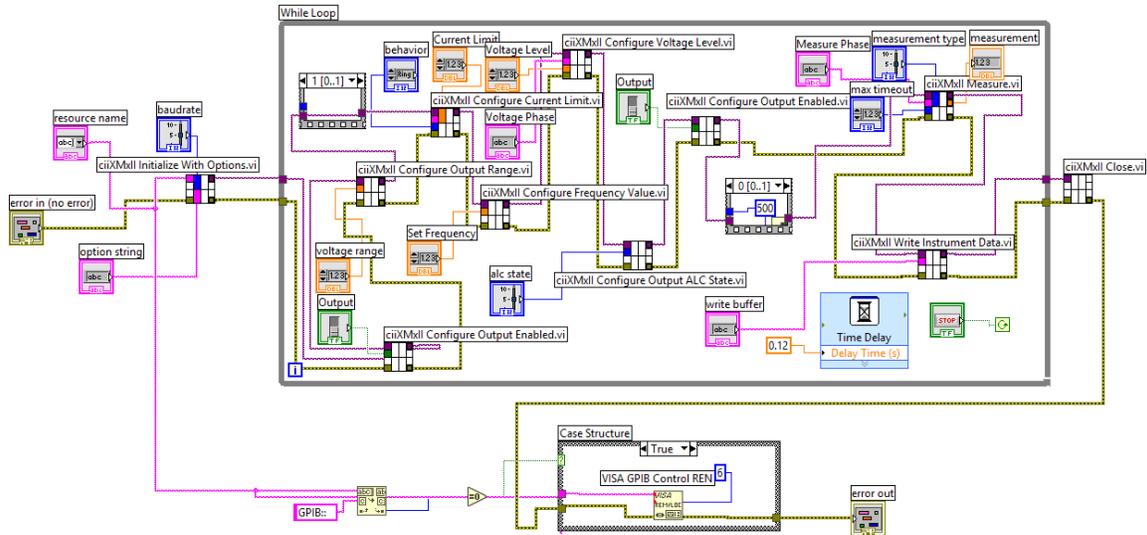
-	-	240 V	120 V
<b>Puesto 10</b>	Max	240.477	120.234
	Min	240.432	120.201
<b>Puesto 9</b>	Max	240.471	120.233
	Min	240.427	120.201
<b>Puesto 8</b>	Max	240.477	120.230
	Min	240.432	120.199
<b>Puesto 7</b>	Max	240.475	120.235
	Min	240.437	120.201
<b>Puesto 6</b>	Max	240.474	120.229
	Min	240.429	120.201
<b>Puesto 5</b>	Max	240.477	120.232
	Min	240.438	120.206
<b>Puesto 4</b>	Max	240.471	120.231
	Min	240.435	120.199
<b>Puesto 3</b>	Max	240.474	120.237
	Min	240.433	120.205
<b>Puesto 2</b>	Max	240.479	120.230
	Min	240.434	120.202
<b>Puesto 1</b>	Max	240.484	120.237
	Min	240.439	120.207

La tabla 5.1 muestra la caída de tensión medida por el patrón Radian RD-23 para el voltaje máximo y mínimo que se va a utilizar en la calibración, esta medición se realizó para los diez puestos de conexión de la mesa, donde se tomaron los valores mínimos y máximos detectados durante un minuto en cada puesto.

Con esta información se analizó que no era necesario realizar una corrección en alguno de los puestos, debido a que todos los valores se encuentran en rangos parecidos y no existe un cambio brusco en ninguno de ellos.

### **5.1.1 Comunicación Fuente California Instruments 10001 ix**

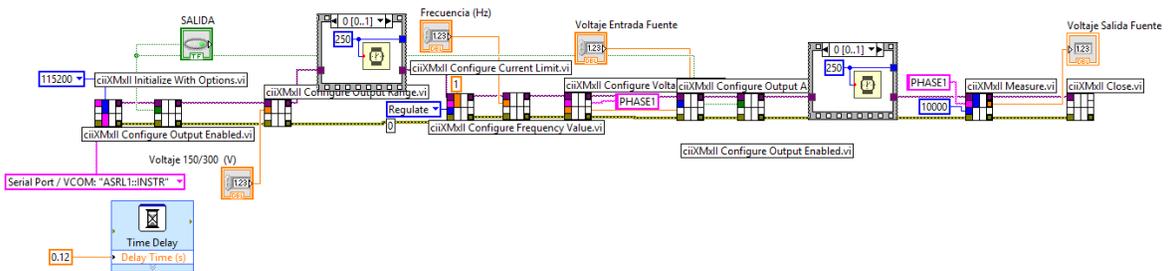
Para establecer la comunicación de la fuente por medio de LabVIEW se realiza la conexión vía USB, en donde se instalan los drivers que permiten la identificación del equipo con la computadora. Es importante mencionar que la empresa AMETEK encargada de la fuente California Instruments proporciona drivers para LabVIEW, este controlador se encuentra creado para la manipulación de todas las funciones generales para las fuentes modelos ix/Mx. En la figura 5.1 se observa el diagrama de bloques del controlador proporcionado por AMETEK.



**Figura 5.1.** Diagrama de bloques para fuentes con modelos ix/Mx.

Con el controlador proporcionado se realiza la modificación del mismo para adaptarlo hacia las necesidades del proyecto, para el cual se toma la conexión por medio del NI-VISA debido a que la conexión del equipo se realizó vía USB, donde se crea un puerto virtual COM y se configura la velocidad de transmisión a 115200 baudios para la comunicación adecuada con la fuente.

Como se observa en la figura 5.2, se utilizan solo los controles e indicadores principales y se resume eliminando varios bloques encargados de otras funciones para establecer un código que cumpla solo con lo necesario para configurar diferentes medidas de voltaje.



**Figura 5.2.** Diagrama de Bloques fuente 10001ix.

### 5.1.2 Comunicación Radian RD-23

La comunicación con el Radian RD-23 se realiza por medio de un cable Ethernet que va conectado a un conversor de Ethernet a RS-232, en la figura 5.3 se observa este convertidor el cual convierte los paquetes de datos recibidos a través del cable red en señales de datos en serie.



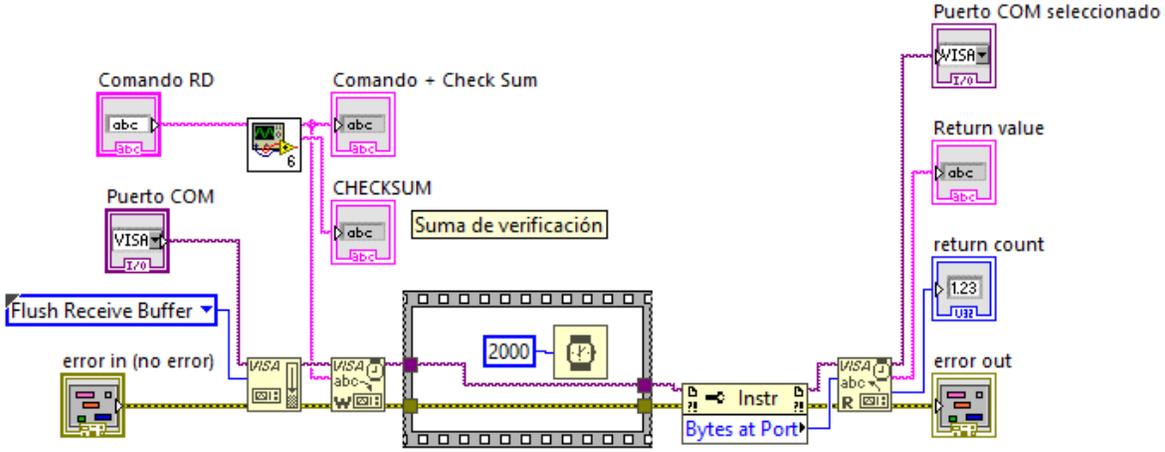
**Figura 5.3.** Convertidor Ethernet a RS-232.

Como se mencionó anteriormente el Radian RD-23 se comunica mediante el protocolo RS-232 por lo que se deben de configurar las características principales de la comunicación serial. En la tabla 5.2 se muestran los valores configurados para establecer la comunicación adecuada con este equipo.

**Tabla 5.2.** Características Comunicación Serial Radian RD-23.

<b>Bits por segundo</b>	57 600
<b>Bits de datos</b>	8
<b>Paridad</b>	Ninguno
<b>Bits de parada</b>	1
<b>Control de flujo</b>	Ninguno

Una vez comunicado el equipo con la computadora se procede a crear un módulo que realice la escritura de comandos para leer el dato deseado, en la figura 5.4 se observa donde la comunicación se realiza con el bloque NI-VISA y se crea una variable “Write” que es la encargada de recibir el comando específico de lo que se quiere leer, luego se crea la variable “Read” que es la encargada de tomar esa lectura y mostrarla a través de una cadena de caracteres.



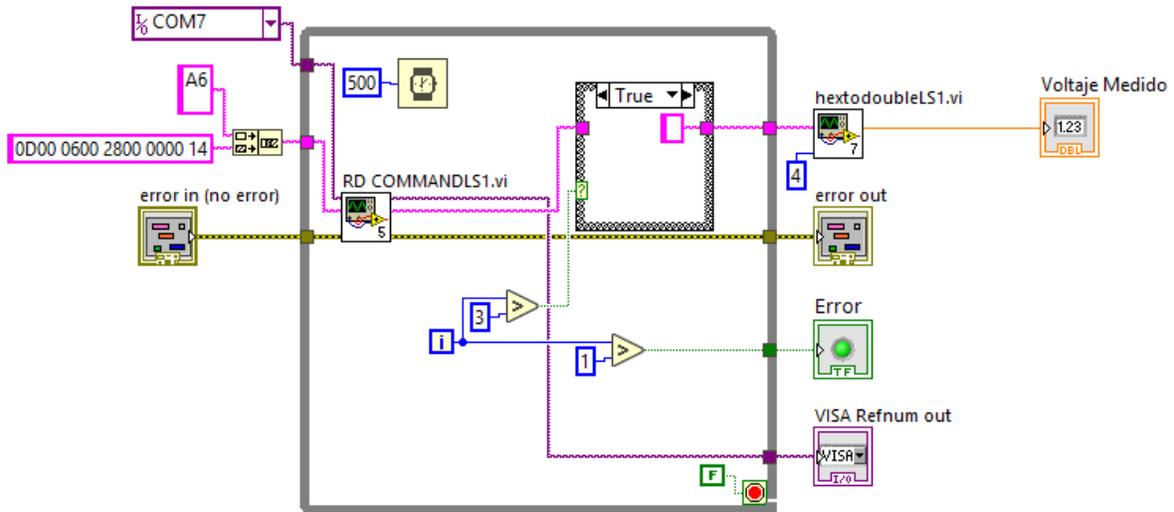
**Figura 5.4.** Escritura de comandos para el RD-23

Como se indica en los objetivos del proyecto se requiere obtener la medición de voltaje, por lo cual se debe de escribir un comando específico al Radian para obtener la medición de voltaje instantáneo. Los comandos se manejan en formato hexadecimal para cada acción que se le pida realizar al equipo, en la tabla 5.3 muestra lo comandos escritos al Radian para obtener la lectura de voltaje instantáneo.

**Tabla 5.3.** Comandos de acceso voltaje instantáneo.

	<b>Inicio</b>	<b>Tipo de paquete</b>	<b>Longitud</b>	<b>Datos</b>	
<b>Comando</b>	A6h	0Dh	0008h	0028h	00000014h
<b>Especificación</b>	Acceso total	Mediciones instantáneas	Extensión	Frecuencia	Voltaje

Una vez indicado el comando para la lectura del voltaje instantáneo, esta se obtiene en una cadena de caracteres en formato hexadecimal por lo que se debe de convertir a valores decimales para su comprensión. El bloque hextodouble mostrado en la figura 5.5 es el encargado de realizar dicha conversión, también en esta misma figura se muestra el diagrama de bloques final que permite realizar la lectura del voltaje instantáneo para el Radian RD-23.

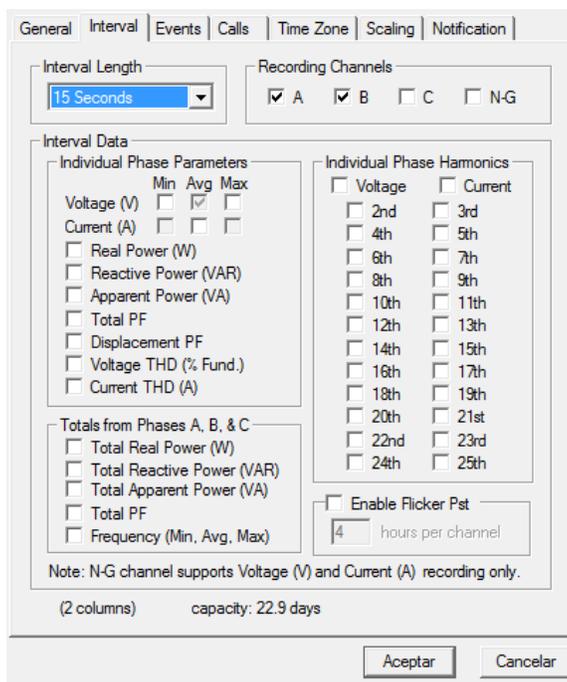


**Figura 5.5.** Lectura de voltaje instantáneo Radian RD-23.

### 5.1.3 Comunicación Enetics LM-1312

La comunicación para este equipo no se puede realizar de forma directa con LabVIEW debido a que se cuenta con poca información y para ello es necesario una guía o manual de usuario donde se proporcione información de la forma de comunicación y comandos de acceso al mismo, por lo que habría que trabajarlo a un nivel de programación más bajo, lo que implicaría la dedicación exclusiva a este equipo.

Por la razón mencionada anteriormente se utiliza el software PowerScape, el cual es propietario del equipo y se comunica mediante el puerto USB, este software tiene la capacidad para configurar los tiempos de medición y las variables que se desean medir, además, de que permite realizar la extracción de los datos en un archivo de Excel, una mejor visualización la podemos encontrar en la figura 5.6 donde se muestra el panel de configuración del software PowerScape.



**Figura 5.6.** Configuración del software PowerScape.

En la figura 5.6 se observa la configuración para la obtención de voltaje promedio y los canales A y B que son las fases que se desean medir, también se configura el intervalo de tiempo en 15 segundos, tiempo en el cual el equipo realiza la lectura de cada una de sus mediciones.

## **5.2. Diseño y programación interfaz**

Con la explicación breve de la comunicación de los equipos ya concluida, es necesario proceder a mostrar el diseño de la interfaz y su programación. Para lograr esto, se irá explicando algunas de las partes en las que se dividió la programación como lo son las secuencias del proceso, adquisición de datos y registros de datos que permiten realizar el proceso de calibración.

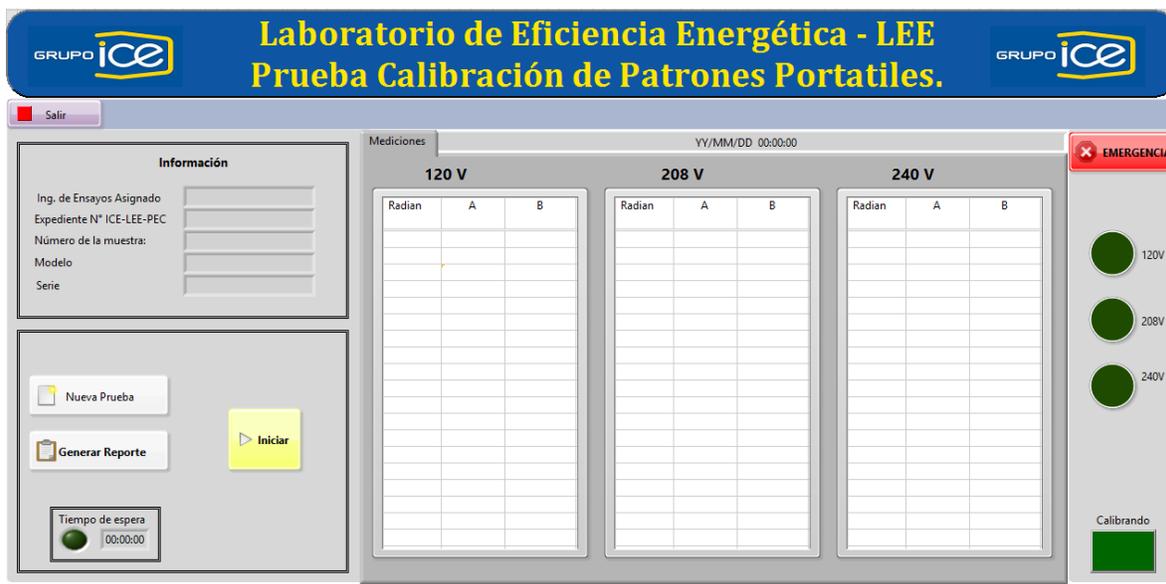
### **5.2.1 Interfaz**

El desarrollo de la interfaz se basó según las normas ISO de interfaz e interacción, esto para lograr una buena comunicación visual con los usuarios al manipular el programa. Para el diseño de la misma se planteó que debido a las exigencias del proyecto no debería contener muchos botones para controlar los procesos, debido a que serían innecesarios dado que la mayoría del proceso funciona automáticamente.

Al ser el proyecto desarrollado en gran parte de forma automática se obtiene gran cantidad de espacio de trabajo en la interfaz, por lo que era adecuado invertir dicho espacio en indicadores de información para que el usuario pueda visualizar los datos generados durante el proceso de la calibración.

En la figura 5.7 se observa el diseño de la interfaz de la calibración de los patrones portátiles monofásicos, en esta interfaz encontramos un recuadro de botones que son los encargados del control del programa, en el recuadro llamado “Información” se encuentra los datos relacionados con la persona y el equipo involucrado en la calibración, seguidamente se observa un recuadro con varias secciones en la que se encuentran las tablas donde van a ser desplegados todos los datos medidos para los equipos. También se muestra

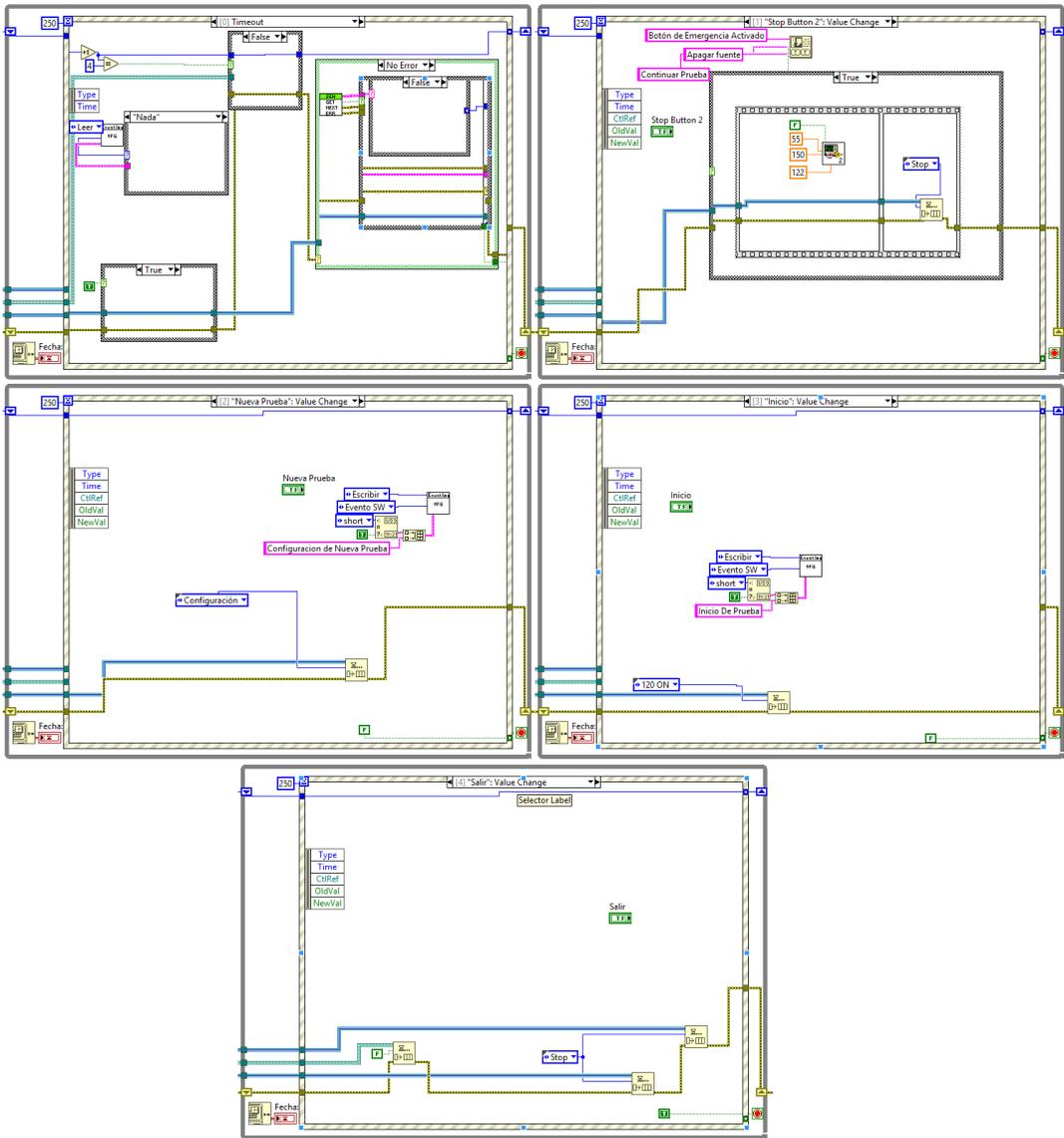
la fecha y la hora en la cual se está realizando la prueba y diversos indicadores leds encargados de mostrarle al usuario lo que se está realizando durante el proceso de calibración.



**Figura 5.7.** Interfaz de calibración.

## 5.2.2 Estructura de programación

Como se mencionó en el apartado anterior el control de la interfaz es por medio de botones y para ello es necesario la utilización de colas en la programación. En la figura 5.8 se muestra la estructura de eventos utilizada, en la cual se observan los diferentes estados para encolar un dato, estos estados van ocurriendo según se vayan presionando los botones correspondientes que activan a cada uno de ellos.



**Figura 5.8.** Estructura de eventos.

El estado “0” es un estado de reposo, el cual se mantiene en él mismo mientras no se presiona ningún botón, sin embargo, si se presiona algún botón se dirigirá hacia el estado correspondiente y se encola el dato anterior.

**Tabla 5.4.** Descripción de los eventos.

<b>Botón</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>
Emergencia	Apaga la fuente	1
Nueva Prueba	Solicita información de la nueva prueba	2
Inicio	Inicia la rutina calibración	3
Salir	Detiene la ejecución de programa	4
Generar Reporte	Genera el informe final	5

Para comprender de una manera más sencilla el funcionamiento se deben de conocer los botones utilizados y su función durante el proceso, para ello en la tabla 5.4 se observa cada uno de los botones con su función y estado correspondiente.

El botón Nueva Prueba que se observa en la figura 5.9 corresponde a una ventana emergente, la cual es la encargada de abrir una nueva ventana de configuraciones donde le permite al usuario editar información cada vez que se desea realizar una nueva prueba.

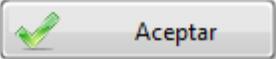


**Figura 5.9.** Botón Nueva Prueba.

Este nuevo panel que se genera a partir de la activación del botón de Nueva Prueba le solicita al usuario información relevante para el procedimiento de la calibración, la cual será extraída en procesos posteriores para agregarla en el informe final, el cual debe de contener los datos de la calibración adjuntos a esta información para completar el proceso. La figura 5.10 muestra el panel de configuración de la nueva prueba, en donde se observa la información solicitada y dos botones que controlan si se desea continuar con la información agregada o bien cancelar el proceso adquisición de la información.

**Nueva Prueba**

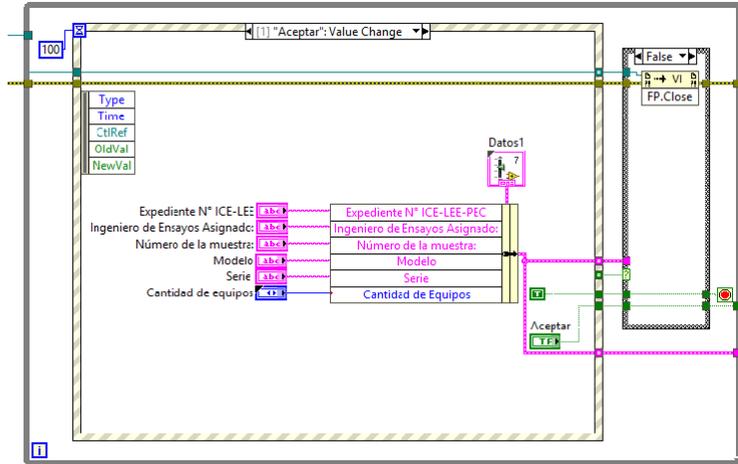
Informe de calibración	Informe Calibración
Metrólogo	Luis Solano
Número de Activo	796237
Número de Serie	2872
Temperatura ambiental	24
Huemedad relativa	52

**Figura 5.10.** Ventana emergente de Nueva Prueba.

En la figura 5.11 se observa el diagrama de bloques de la venta emergente de nueva prueba, en donde se muestra una estructura similar a la mencionada anteriormente, pero en este caso se basa solamente en dos eventos, “Aceptar” y “Cancelar”.

En el evento “Aceptar” se coloca un clúster debido a que tiene la facilidad de agregar grupos de elementos de datos de diferentes tipos, también se coloca la función bundle encargada de reemplazar los elementos de clúster para luego mostrarlos con indicadores individuales. Para el caso de “Cancelar”, el funcionamiento de este es devolverse a la ventana principal sin guardar la información.

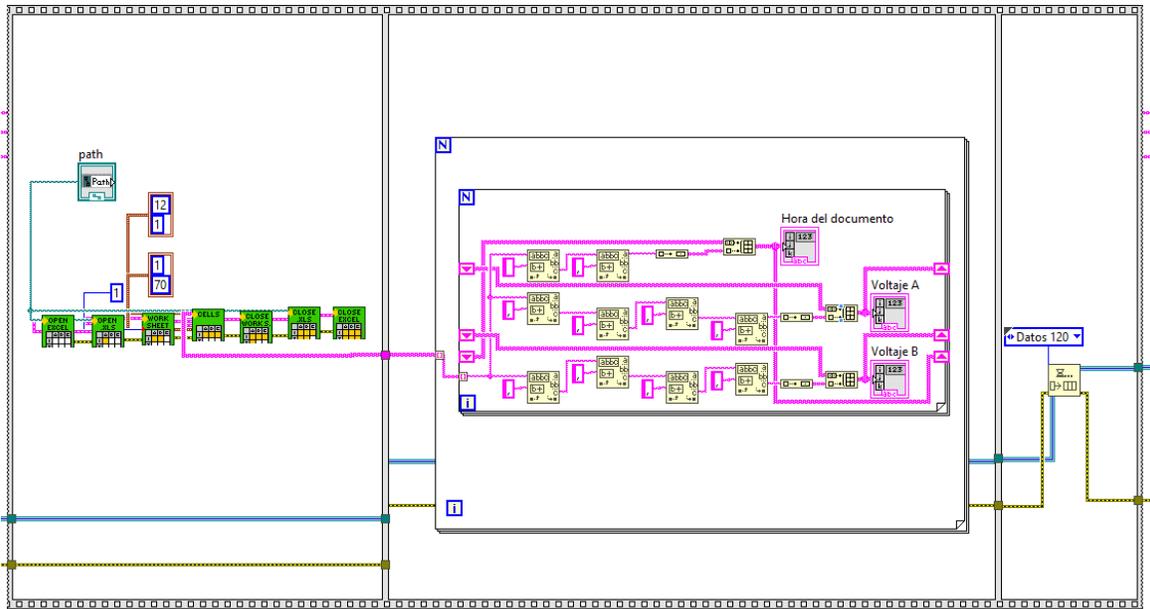


**Figura 5.11.** Diagrama de bloques ventana emergente

### 5.2.3 Registro de datos

Como se mencionó en el apartado 5.1.3 el patrón Enetics no puede comunicarse directamente con LabVIEW para obtener sus registros de lectura, por lo que se debe de generar el archivo que posee los datos mediante el software PowerScope y luego importar este archivo a LabVIEW.

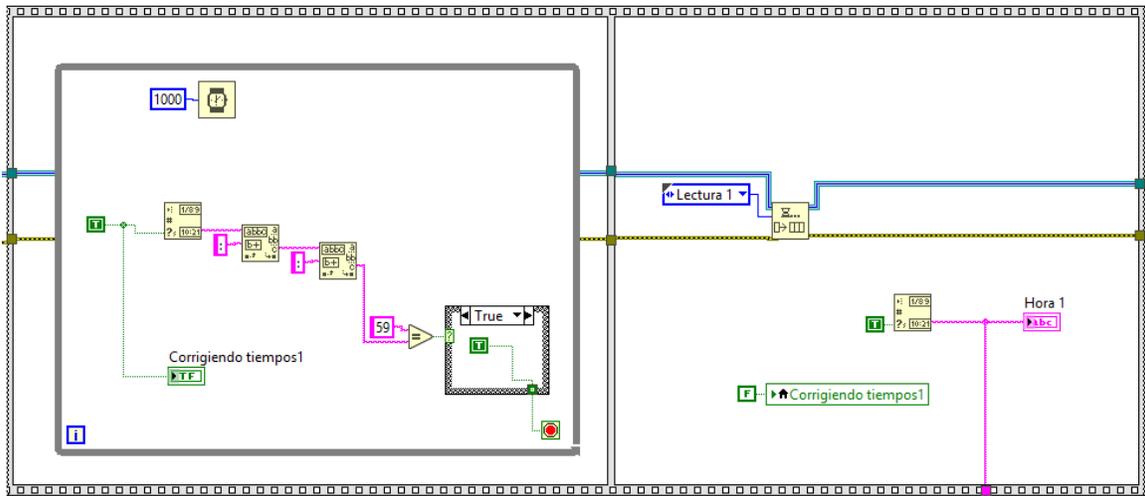
El archivo generado es un archivo de Excel, el cual mediante la programación que se muestra en la figura 5.12 se extrae para proceder a realizar la comparación con los datos generados por el patrón Radian.



**Figura 5.12.** Extracción archivo de Excel del Enetics.

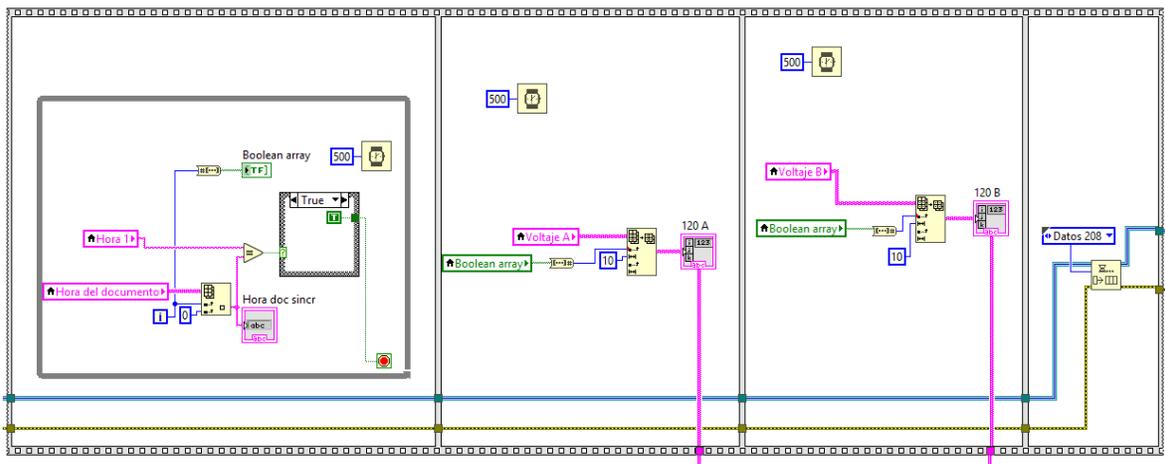
La figura 5.12 muestra una estructura de secuencias con tres etapas, en la primera etapa se realiza la importación del archivo de Excel, donde se busca el archivo que se desea importar y se le agrega por defecto la indicación de las filas y columnas que se desean importar. Una vez extraídos los datos, estos se separan en la segunda etapa, debido a que se debe de manejar de forma independiente la hora del dato, el voltaje en la fase A y el voltaje en la fase B.

El patrón Enetics realiza lecturas cada intervalo de tiempo mientras que el Radian realiza lecturas en cualquier momento, por lo que se debe de corregir estos tiempos para iniciar en una hora determinada y comparar los datos en la misma hora en que fueron medidos. Para ello se realizó el código mostrado en la figura 5.13, donde se solicita un tiempo de espera al Radian para que inicie cuando los segundos sean cero.



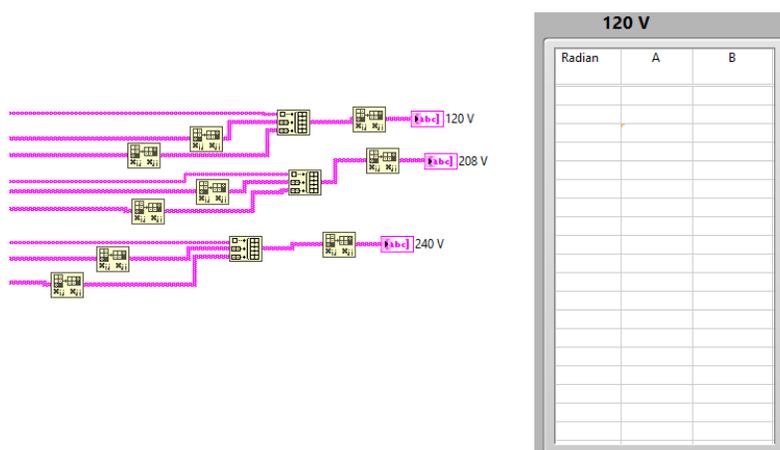
**Figura 5.13.** Corrección de tiempos lectura Radian.

Una vez terminada la separación de los datos y corregidos los tiempos con el Radian se procede a realizar la sincronización de la hora para obtener los datos del Radian y el Enetics al mismo tiempo en que fueron tomados, para ello se realizó la programación mostrada en el diagrama de bloques de la figura 5.14, donde en la primera etapa se toma una variable local llamada “Hora 1”, la cual es generada en el instante en que inicia la lectura de datos del Radian y se recorre en el arreglo de las horas del archivo de Excel hasta encontrar una igual y se guarda el valor de esta iteración para conocer su posición. Por medio del bloque “Array Subset Function” se le indica que a partir de la posición encontrada anteriormente muestre las cinco siguientes mediciones de los voltajes en ambas fases.



**Figura 5.14.** Sincronización de tiempos entre patrones

Resuelto los temas de sincronización y extracción de datos se procede a realizar la adquisición de ellos como se observa en la figura 5.15 para mostrar en una sola tabla los datos del radian y del Enetics. Es importante mencionar que todo el procedimiento de adquisición de datos es similar para cada una de las mediciones de 120 V, 208 V y 240 V.



**Figura 5.15.** Adquisición de datos.

### 5.2.4 Manipulación de los datos

Una vez adquiridos los datos necesarios para la calibración, se procede a realizar una correcta manipulación de ellos para obtener los datos relevantes del resultado de la calibración, los cuales son los valores de incertidumbre y del error que está relacionado a las mediciones del objeto bajo prueba.

Para la acreditación se debe tomar en cuenta que el laboratorio debe cumplir con estándares y validaciones, por lo que para la manipulación de los datos se utilizó la plantilla de Excel que se encuentra previamente elaborada para realizar todos los cálculos necesarios de la calibración.

Los datos obtenidos para la calibración se envían de forma automática a la plantilla de Excel en los lugares específicos para generar el dato del error e incertidumbre, donde posteriormente se deberá de realizar la lectura de ellos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS						Código ICE-LEE-P11-2-F02					
2								Versión: 04			Página 1/1		
3								Rige a partir de: 2018-06-05					
4								Actualizado: 04/09/2018					
5	INFORMACIÓN GENERAL												
6													
7													
8	Solicitud:		Calibración Enétics		Patrón								
9	OBP		Enétics LM-1312		Marca	Modelo	Serie	Activo ICE	Certificado de Calibración	Vencimiento Calibración			
10	Activo ICE				Radian	RD-23	208858	896702	ICE-LEE-C-13-2018	01/03/2019			
11	Metrólogo												
12													
13													
14													
15	Observaciones:												
16	Número de serie												
17													

Figura 5.16. Portada plantilla de Excel.

En la figura 5.16 se observa la portada de la plantilla de Excel, la cual contiene información relevante a la de los equipos utilizados para la calibración, en donde los espacios color amarillo representan el lugar donde se agregarán los datos específicos solicitados del objeto bajo prueba.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS						Código ICE-LEE-P11-2-F02											
2								Versión: 04			Página III								
3								Rige a partir de: 2018-06-05											
4								Actualizado: 2018-09-04											
5																			
6	Solicitud:		Calibración Enétics		Activo ICE		Especificaciones del Patrón		Calibración del Patrón, %		Error del Patrón, %								
7	OBP		Enétics LM-1312		BBBB				0.0092		-0.0015								
8	Metrólogo		hh#h#		exactitud %		0.01												
9	FASE		A																
10	Frecuencia de calibración		80 Hz																
11	Variable a calibrar		Tensión en AC																
12	Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)		#DIV/0!																
13	Fecha de calibración																		
14	Punto de medición		120.000 V		Resol														
15	No de Medida		P L		% error sin conexión														
16	1				#DIV/0!														
17	2				#DIV/0!														
18	3				#DIV/0!														
19	4				#DIV/0!														
20	5				#DIV/0!														
21	Promedio		#DIV/0!		#DIV/0!														
22	desviación estándar		#DIV/0!		#DIV/0!														
23	n		5																
24	Temperatura ambiental (°C)																		
25	Humedad relativa (%)																		
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			

Figura 5.17. Formato plantilla en Excel.

El formato de plantilla que se muestra en la figura 5.17, requiere escribir y leer datos, donde las celdas de color amarillo representan las posiciones donde se deben escribir los datos y las celdas color verde las posiciones donde se debe realizar la lectura de los datos generados por la misma. Es importante mencionar que el formato de plantilla expuesto es solo para el cálculo de una fase de voltaje, pero de forma similar se realiza el cálculo de las demás fases y de los diferentes voltajes involucrados.

Para realizar este proceso de escritura y lectura desde el archivo de Excel se hizo una programación en LabVIEW que permita efectuar el proceso de forma automática. Esta programación está compuesta de varias etapas, las cuales se observan en la figura 5.18, donde se extrae el archivo, se escriben y se leen datos y por último se guarda el nuevo archivo.

En la primera sección se utiliza el bloque “New Report.vi”, este bloque se encarga de recibir la ubicación y el tipo de archivo que se desea extraer, en este caso se selecciona como una constante de Excel y se agrega la ubicación de donde se encuentra la plantilla a utilizar. En la segunda sección se encuentran dos formas de escritura, donde se utilizan los bloques “Excel Easy Text.vi” y “Excel Easy Table.vi” que permiten escribir desde una sola variable o bien desde una tabla con todas sus filas y columnas, además, se utiliza el bloque “Excel Get Worksheet.vi” que indica en cual hoja del documento de Excel se desea realizar la escritura. En el caso número tres se utilizó el bloque “Excel Get Data.vi” al cual se le indica el tipo de archivo que se desea leer y la posición dentro del documento donde se encuentra, la sección cuatro es la encargada mediante el bloque “Save Report to File.vi” de guardar el nuevo archivo que se genera con la escritura de los datos ya realizada.

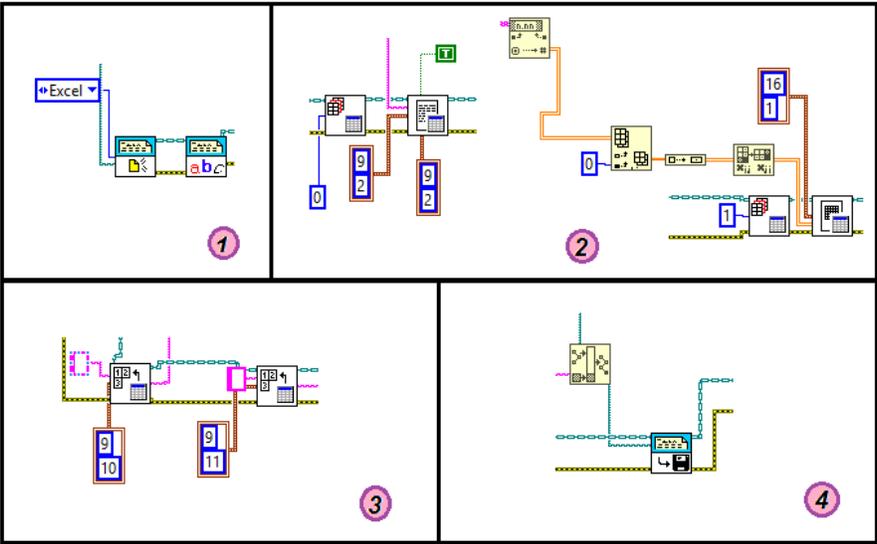
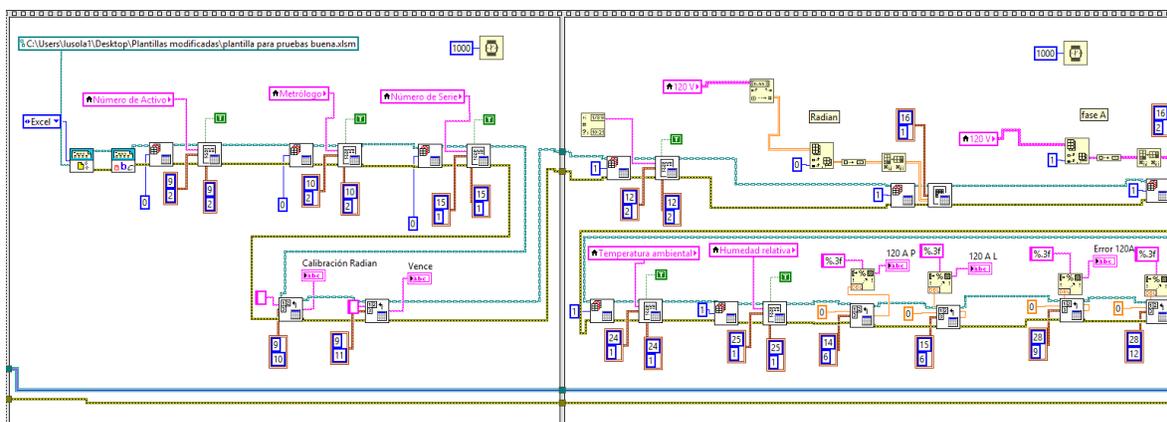


Figura 5.18. Manipulación de datos con plantilla de Excel.

En la figura 5.19 se observa el procedimiento realizado para 120 V en la fase A, donde se ejemplifica el proceso de las demás mediciones que se realiza de una forma similar, es importante mencionar que los datos se escriben mediante variables locales debido a que la mayoría de los datos que se necesitan se encuentran en otros eventos de la programación en general.



**Figura 5.19.** Escritura y lectura para 120V fase A.

### 5.3. Generación del informe

La generación del informe de calibración se realizó mediante una plantilla de Word, que como se mencionó anteriormente para la acreditación se deben de cumplir estándares, al igual que la plantilla de Excel, la plantilla de Word posee espacios específicos donde se debe agregar la información solicitada sin alterar las demás partes de ella, por lo cual se le otorgaron nombres a cada una de estas posiciones mediante el uso de marcadores.

Para proceder con la escritura de la plantilla de Word, esta se realizó mediante la programación en LabVIEW mostrada en la figura 5.20, donde se utilizó el bloque “New Report.vi” al cual se le ingresa en este caso el tipo de dato como una constante de Word y el destino donde se encuentra la plantilla utilizada, además, con el bloque “Append Report Text.vi” se realiza la escritura de los datos donde para cada dato se utiliza el mismo bloque pero variando el nombre de la ubicación, es decir, se le ingresa el nombre del marcador que



## Capítulo 6 Resultados y Análisis

Con el proyecto diseñado e implementado se procede a realizar una validación que permita comprobar si este se cumplió, para ello es necesario repasar los objetivos que nos guían hacia esta comprobación.

El análisis de los objetivos se irá realizando por etapas, donde se demostrará a base de los indicadores el cumplimiento de los mismos, se analizarán primero los objetivos específicos para guiarnos hasta la comprobación del objetivo general.

### **6.1. Objetivo específico 1: Establecer una comunicación entre la fuente programable y el patrón de variables eléctricas para obtener la información de los equipos a la vez, la cual es requerida para la calibración.**

Para analizar este objetivo se recordará que el indicador mencionaba que debía existir una comunicación directa desde LabVIEW para el patrón Radian y la fuente de voltaje, además, de que dentro de la programación se establecería un voltaje en la fuente y demostrar con este valor de voltaje que se obtiene un porcentaje de error menor al 2% en la comparación de la lectura dentro de la programación del Radian y de la mostrada en su display físicamente.

Para la demostración de este objetivo, en las figuras 5.2 y 5.5 se muestra la comunicación directa de ambos equipos con LabVIEW y se procede con la utilización de las mismas para configurar y leer cada uno de los voltajes, así mismo, de forma paralela se realiza la lectura manual con ayuda de un cronometro para leer el dato de forma periódica y sincronizada con la lectura de la programación para que los datos difieran en la menor medida posible. Con un intervalo de tiempo de 15 segundos se procedió a tomar la medición de cinco datos para cada valor de voltaje, donde se tomó como valor teórico el medido por la programación.

**Tabla 6.1.** Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 120 V.

	Método Manual	Método LabVIEW	Error
Muestra	Valor (V)	Valor (V)	Valor (%)
1	120.194	120.198	0.003
2	120.198	120.189	0.007
3	120.200	120.191	0.007
4	120.193	120.194	0.001
5	120.192	120.193	0.001
Promedio	120.195	120.193	0.002

**Tabla 6.2.** Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 208 V.

	Método Manual	Método LabVIEW	Error
Muestra	Valor (V)	Valor (V)	Valor (%)
1	208.372	208.358	0.007
2	208.382	208.384	0.001
3	208.368	208.369	0.001
4	208.374	208.375	0.001
5	208.377	208.378	0.001
Promedio	208.377	208.373	0.002

**Tabla 6.3.** Muestras obtenidas manualmente y desde LabVIEW para 240 V.

	Método Manual	Método LabVIEW	Error
Muestra	Valor (V)	Valor (V)	Valor (%)
1	240.464	240.410	0.023
2	240.434	240.409	0.010
3	240.411	240.421	0.004
4	240.440	240.429	0.005
5	240.411	240.458	0.019
Promedio	240.432	240.425	0.003

Como se observa en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 se obtienen las mediciones de forma manual y automática, donde se les realiza el cálculo del porcentaje de error y se obtiene que el máximo error presentado en los promedios es de 0.003%, lo que significa que se encuentra muy por debajo del 2% de error planteado en el indicador del objetivo. Esto demuestra que los datos son adquiridos de forma exitosa y muy cercanos a los medidos por el método manual, por lo que se da por cumplido este objetivo.

En la figura 6.1 se observa el valor leído desde la plataforma de LabVIEW para los diferentes valores de voltaje que fueron utilizados para los cálculos anteriores.

120 V			208 V			240 V		
Radian	A	B	Radian	A	B	Radian	A	B
120,198			208,358			240,410		
120,189			208,384			240,409		
120,191			208,369			240,421		
120,194			208,375			240,429		
120,193			208,378			240,458		

**Figura 6.1.** Lectura de la programación en LabVIEW.

## 6.2. Objetivo específico 2: Diseñar una interfaz gráfica en la plataforma de LabVIEW que permita la programación de las rutinas de calibración en los puntos requeridos.

Es importante mencionar el indicador de este objetivo para proceder con su análisis, en este caso se debe verificar el diseño de la interfaz gráfica con las normas ISO de interfaz e interacción y demostrar por medio pruebas que el proceso de calibración se realiza según el procedimiento de calibración metrológico y los requerimientos de calidad utilizados por el laboratorio.

La figura 6.2 muestra la interfaz diseñada para realizar la calibración de los patrones portátiles donde se verifican las normas ISO de interfaz e interacción, debido a que presenta un diseño acorde a lo establecido por las normas donde presenta un espacio adecuado para cada sección, mostrando un mando de controles e información, indicadores del proceso mediante luces y diálogos, tamaños que permiten una correcta visualización, además, muy importante la capacidad de aprendizaje y manipulación es muy sencilla para cualquier usuario.

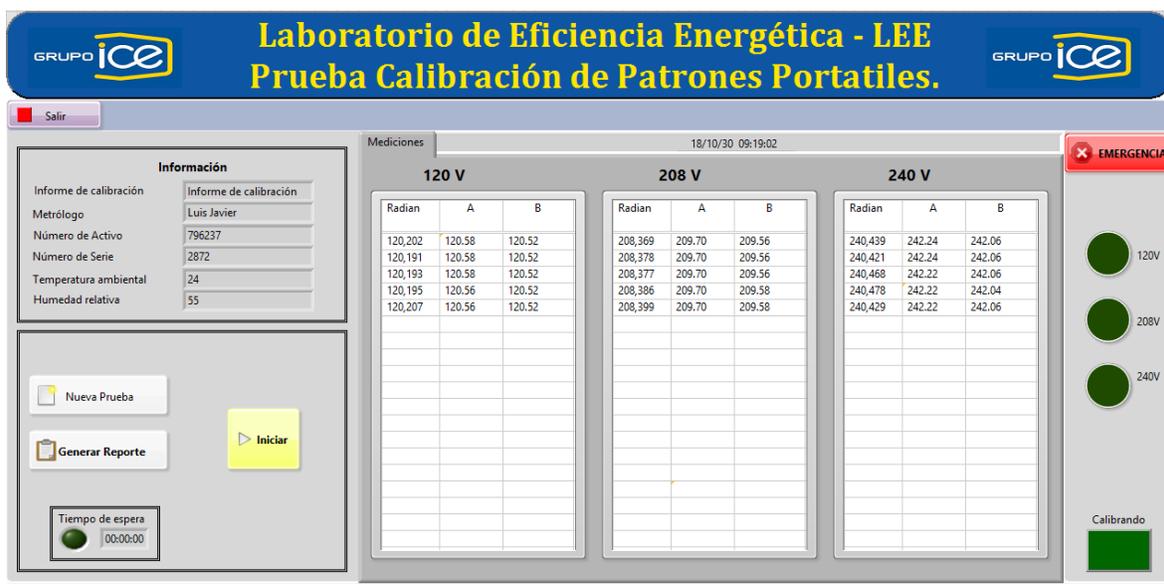


Figura 6.2. Interfaz de calibración.

Para demostrar que se cumple con los requerimientos de calidad del laboratorio se realizó la medición de la caída de tensión como se observa en la tabla 5.1 mencionada en el capítulo anterior, donde se muestran los valores de voltaje medidos directamente con el Radian en cada punto y se comprobó que la caída de tensión es mínima por lo que los datos obtenidos no se van a ver afectados.

Es importante mencionar que, para realizar mediciones dentro del laboratorio, estas se realizan con condiciones controladas por lo que antes de iniciar la prueba se le solicita al usuario como se observa en la figura 6.3, la temperatura ambiental y la humedad relativa con la que se va a realizar la calibración.

El formulario, titulado "Información", contiene los siguientes campos de texto:

Información	
Informe de calibración	<input type="text"/>
Metrólogo	<input type="text"/>
Número de Activo	<input type="text"/>
Número de Serie	<input type="text"/>
Temperatura ambiental	<input type="text"/>
Humedad relativa	<input type="text"/>

**Figura 6.3.** Solicitud de condiciones ambientales

El procedimiento de calibración metrológico utilizado se evidencia con la utilización de la plantilla de Excel previamente elaborada por los ingenieros del Laboratorio de Eficiencia Energética, donde cumple con el cálculo de incertidumbre siguiendo este procedimiento, para ello en la figura 6.4 se observan los datos obtenidos durante la calibración, los cuales van a ser exportados en los espacios color amarillo de la figura 5.17 expuesta en el capítulo anterior, en esta figura se observa la hoja de cálculo para un voltaje en una fase pero de manera similar se exportan los datos hacia las demás hojas según corresponda. Estos datos una vez exportados se observan en la figura 6.5, donde la plantilla se encarga de realizar los cálculos del error y de incertidumbre para cada uno de los voltajes en cada fase.

120 V			208 V			240 V		
Radian	A	B	Radian	A	B	Radian	A	B
120,202	120.58	120.52	208,369	209.70	209.56	240,439	242.24	242.06
120,191	120.58	120.52	208,378	209.70	209.56	240,421	242.24	242.06
120,193	120.58	120.52	208,377	209.70	209.56	240,468	242.22	242.06
120,195	120.56	120.52	208,386	209.70	209.58	240,478	242.22	242.04
120,207	120.56	120.52	208,399	209.70	209.58	240,429	242.22	242.06

Figura 6.4. Datos obtenidos durante la calibración.

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02				
Versión: 04										Página 01				
Rige a partir de 2018-06-05										Actualizado: 2018-09-04				
Solicitado:		Calibración Enéctric		Activo ICE		Especificaciones del Patrón		Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %				
OBP		Enéctric LM-1312		796237				0.0092		-0.0015				
Metrólogo		Luis Javier				exactitud %								
FASE		A				0.01								
Frecuencia de calibración		60 Hz												
Variable a calibrar		Tensión en AC												
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)		0.30												
Fecha de calibración		30/10/2018												
Punto de medición		120.000 V		Resol.		Valor generado (P)		120.188 V		Calibrando		Patrón		
No de Medida		P		L		%		%		Escala		Resolución (V)		
										Auto		0.01		
										...		...		
1		120.202 V		120.58 V		0.31447		n =		5		Certificado		
2		120.191 V		120.58 V		0.32385		Componente		Aumento		Valor medido (L)		
3		120.193 V		120.58 V		0.32198		Valor estimado		Distribución de Probabilidad		Incertidumbre estándar (%)		
4		120.195 V		120.56 V		0.30387		Resolución OBP		Resolución de escala		...		
5		120.207 V		120.56 V		0.29366		Valor medido OBP		Repetibilidad		0.009 V		
Promedio		120.188 V		120.57 V		0.31949		Calibración del patrón		Calibración		...		
desviación estándar		0.007 V		0.01 V		0.01271		Especificaciones del patrón		Especificaciones		...		
n		5						Resolución del patrón		Resolución de escala		...		
Temperatura ambiental (°C)		24						Incertidumbre combinada		Rectangular		0.0002408 %		
Humedad relativa (%)		55						grados efectivos de libertad		Incertidumbre		63.7394		
								valor k (95%)		...		2		
								Incertidumbre expandida U95		error		0.017		
										U(error)		...		
										Valor a reportar =		0.30 % ± 0.017 %		

Figura 6.5. Datos exportados a la plantilla de Excel

### **6.3. Objetivo específico 3: Implementar la automatización del informe de calibración para mejorar la manipulación de los datos.**

El indicador para este objetivo menciona que se debe verificar que el informe se genere de forma automática por medio de LabVIEW, además, que contenga la información según la evaluación de datos de medición para la expresión de la incertidumbre y la norma ISO 17025.

La verificación para la generación del informe de calibración se observa en la figura 5.20 mencionada en el capítulo anterior, donde se muestra la programación en LabVIEW que permite la escritura de datos en el documento de Word. Para cumplir con la información correcta en el informe de calibración, se realizó por medio de una plantilla de Word que al igual que la plantilla de Excel fue proporcionada previamente.

Este informe se genera de forma inmediata después de haberse generado el cálculo de incertidumbres con la plantilla de Excel, esto para extraer los datos ubicados en las posiciones color verde que se muestran en la figura 6.5 del apartado anterior, los cuales son los datos necesarios que se deben de mostrar en el informe final. En la figura 6.6 se observa el informe con los resultados de la calibración para cada una de las fases en los diferentes voltajes medidos.

**Resultados de la calibración**

P<sup>1</sup>= P corregido **Tensión Eléctrica Alterna @ 60 Hz**

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia (P <sup>1</sup> )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)	
**A	auto	120,199 V	120,572 V	0,310	± 0,017
**B	auto	120,199 V	120,520 V	0,267	± 0,014

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia (P <sup>1</sup> )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)	
**A	auto	208,384 V	209,700 V	0,632	± 0,022
**B	auto	208,384 V	209,568 V	0,568	± 0,022

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia (P <sup>1</sup> )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)	
**A	auto	240,449 V	242,228 V	0,740	± 0,022
**B	auto	240,449 V	242,056 V	0,668	± 0,022

En esta calibración el mesurando es el error relativo del instrumento bajo calibración y el proceso de medición está formalizado con base en la siguiente expresión:  $Er = \left[ \left( \frac{L-P}{P} \right) \right] \times 100$ . Donde: L es el valor del instrumento bajo calibración, P es el valor del patrón y la incertidumbre reportada es la incertidumbre de medida asociada al error relativo.

**Figura 6.6.** Informe con los resultados de la calibración.

**6.4. Objetivo General: Desarrollar la automatización en la calibración de los patrones portátiles monofásicos mediante el uso de una fuente programable y un patrón de variables eléctricas que permitan mejorar la metodología de calibración y la generación de informes para un mejor manejo de los datos**

Para analizar el objetivo general es importante recordar su indicador, el cual mencionaba que se debe de verificar que el proceso de automatización para la calibración se cumpla según la tabla 1 expuesta en el capítulo 1, además, que contenga la información de la comparación entre el objeto bajo prueba y el patrón de referencia para presentar los resultados de la calibración en un informe final automatizado.

Parte del análisis de este indicador queda evidenciado con el cumplimiento de los objetivos específicos por lo que no se mostraran detalles en la comparación y la generación del informe, sino más bien se analizara el proceso de calibración basado en la tabla 1.

La etapa dos de la tabla mencionada anteriormente indica que la interfaz debe ser automatizada, por lo que en la figura 5.7 del capítulo 5 se demuestra el proceso de la creación y el diseño final de la misma. En la etapa 1 y 3 como se muestra en la figura 6.7 queda en evidencia la realización del proceso en forma automatizada, donde se observa la comunicación existente entre la fuente y el patrón de referencia, el cual realiza una lectura conforme se va realizando la rutina de calibración para los diferentes voltajes.

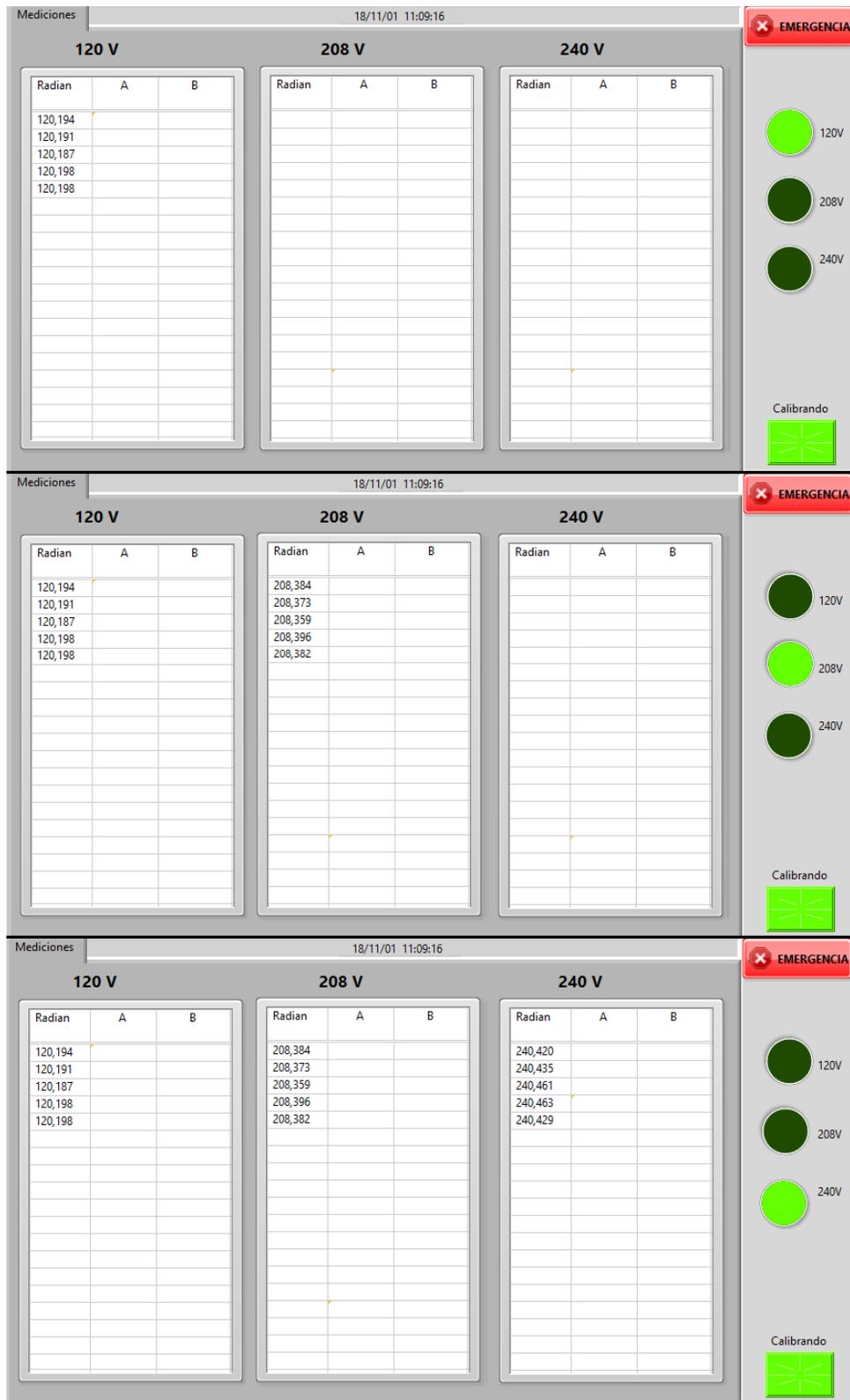
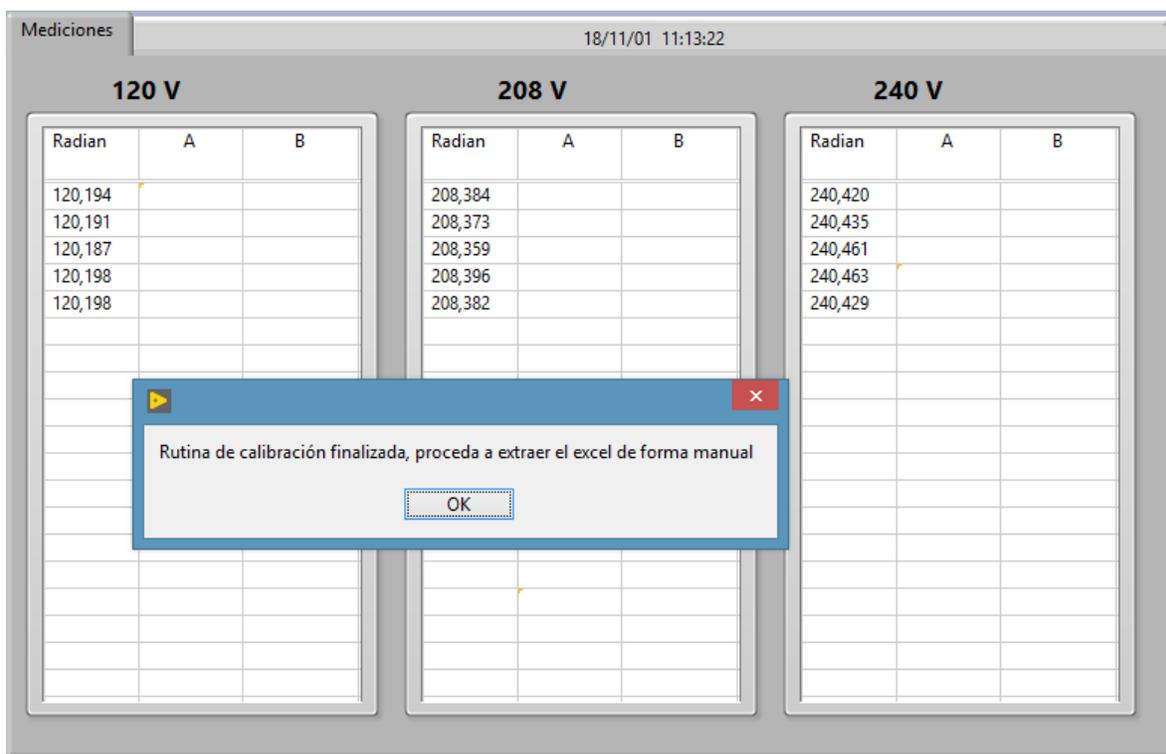


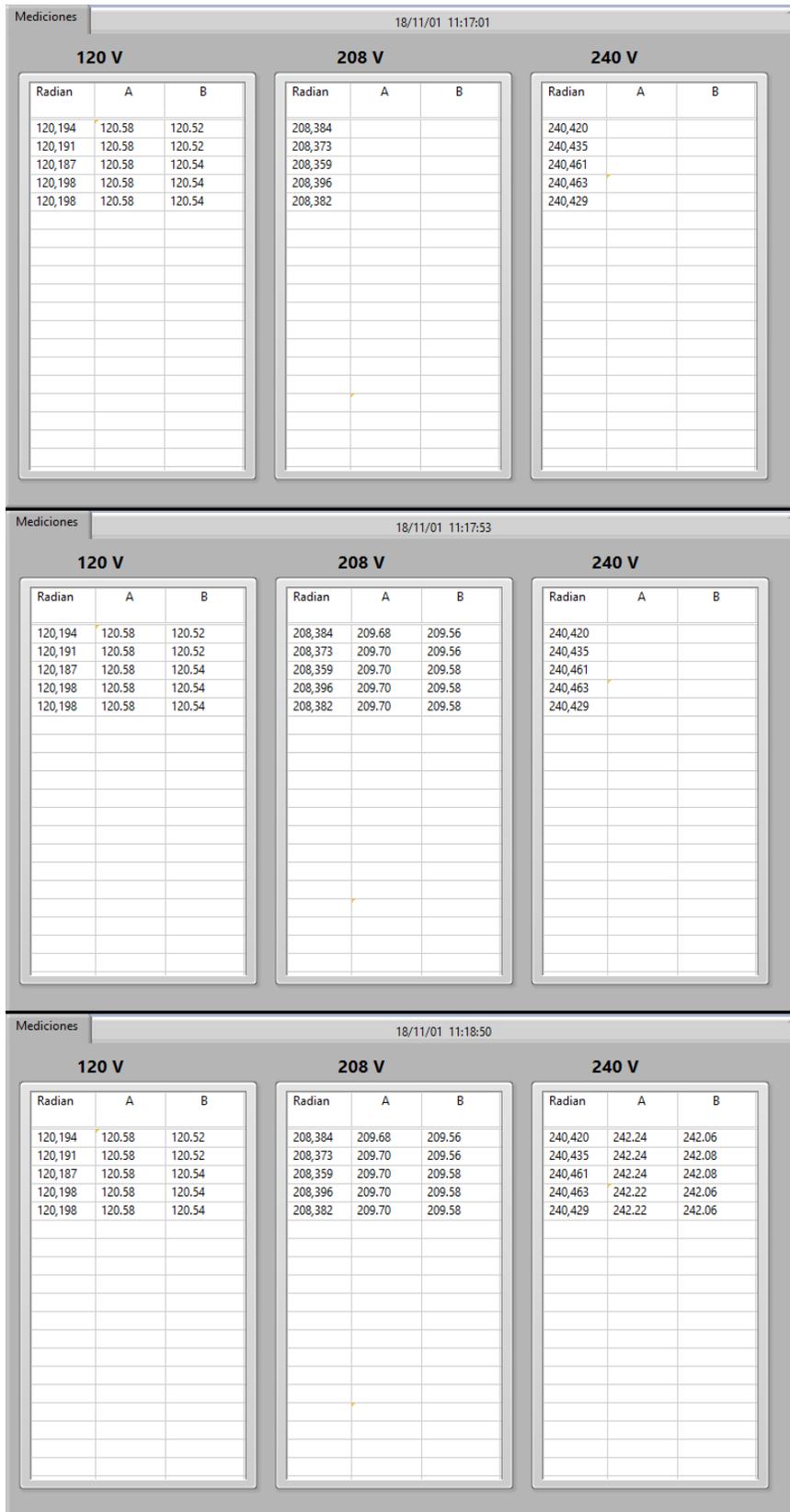
Figura 6.7. Lectura de los diferentes voltajes.

En la figura 6.8 se observa donde se le indica al usuario que debe extraer de forma manual el archivo de Excel generado por patrón portátil bajo prueba, para el cual debe de ingresar al software propietario del equipo Enetics y realizar la extracción.



**Figura 6.8.** Indicación para el proceso manual.

Para proceder con la generación del informe en la figura 6.9 se observa como de forma automática se van importando los datos desde el archivo de Excel hacia el programa en LabVIEW y de la misma forma una vez se hayan importado los datos en las figuras 6.10, 6.11 y 6.12 se observa el archivo de Excel generado con cada uno de los datos y su error e incertidumbre asociada.



**Figura 6.9.** Datos de Excel importados a LabVIEW.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
13	Fecha de calibración	11/01/2018									Calibrando				
14	Punto de medición	120.000 V			Resol	Valor generado (P <sup>2</sup> )	120.195 V				Escala	Resolución (V)			Radian
15						Valor medido (L)	120.58 V	n =	5		Auto	0.01			Calificado
16	No de Medida	P	L	N error sin corrección		Componente	Argumento	Valor estimado	Distribución de Probabilidad	Incertidumbre estándar (%)	Certificado de exactitud (para lect en $\pm 3\sigma$ )	Aporte de la incertidumbre	grados de libertad	Resolución (V)	
17	1	120.194 V	120.58 V	0.32115		Resolución OBP	Resolución de escala	---	Rectangular	0.002394 %	1.003199765	0.002401715	% 200		
18	2	120.191 V	120.58 V	0.32365		Valor medido OBP	Repetibilidad	0.000 V	Normal	0.0000000 %	1.003199765	0	% 4		
19	3	120.187 V	120.58 V	0.32699		Calibración del patrón	Calibración	---	Normal	0.0046000 %	1.004833333	0.004622333	% 200		
20	4	120.198 V	120.58 V	0.32781		Especificaciones del patrón	Especificaciones	---	Normal	0.0050000 %	-1.003199765	-0.005015999	% 200		
21	5	120.198 V	120.58 V	0.32781		---	---	---	---	---	---	---	---	---	
22	Promedio	120.194 V	120.58 V	0.32148		Resolución del Patrón	Resolución de escala	---	Rectangular	0.002402 %	-1.003199765	-0.00240094	% 200		
23	desviación estándar	0.005 V	0.00 V	0.00394		Incertidumbre combinada									
24	n	5				grados efectivos de libertad									
25	Temperatura ambiental (°C)	23				valor k (95%)									
26	Humedad relativa (N)	53				Incertidumbre expandida U%									
27															
28															
29															
30															
31															
32	Observaciones:														
33	P <sup>2</sup> = P <sup>2</sup> corregido														

Figura 6.10. Excel generado mediante LabVIEW para 120 V.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
13	Fecha de calibración	11/01/2018									Calibrando				
14	Punto de medición	208.000 V			Resol	Valor generado (P <sup>2</sup> )	208.381 V				Escala	Resolución (V)			Radian
15						Valor medido (L)	209.70 V	n =	5		Auto	0.01			Calificado
16	No de Medida	P	L	N error sin corrección		Componente	Argumento	Valor estimado	Distribución de Probabilidad	Incertidumbre estándar (%)	Certificado de exactitud (para lect en $\pm 3\sigma$ )	Aporte de la incertidumbre	grados de libertad	Resolución (V)	
17	1	208.384 V	209.68 V	0.62193		Resolución OBP	Resolución de escala	---	Rectangular	0.0013766 %	1.005311117	0.001385324	% 200		
18	2	208.373 V	209.70 V	0.63684		Valor medido OBP	Repetibilidad	0.004 V	Normal	0.0019075 %	1.006311117	0.001919562	% 4		
19	3	208.359 V	209.70 V	0.64360		Calibración del patrón	Calibración	---	Normal	0.0095000 %	1.008153846	0.009577482	% 200		
20	4	208.396 V	209.70 V	0.62973		Especificaciones del patrón	Especificaciones	---	Normal	0.0050000 %	-1.006311117	-0.005031556	% 200		
21	5	208.382 V	209.70 V	0.63249		---	---	---	---	---	---	---	---	---	
22	Promedio	208.379 V	209.70 V	0.63212		Resolución del Patrón	Resolución de escala	---	Rectangular	0.001385 %	-1.006311117	-0.00139407	% 200		
23	desviación estándar	0.014 V	0.01 V	0.00864		Incertidumbre combinada									
24	n	5				grados efectivos de libertad									
25	Temperatura ambiental (°C)	23				valor k (95%)									
26	Humedad relativa (N)	53				Incertidumbre expandida U%									
27															
28															
29															
30															
31															
32	Observaciones:														
33	P <sup>2</sup> = P <sup>2</sup> corregido														

Figura 6.11. Excel generado mediante LabVIEW para 208 V.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
13	Fecha de calibración			11/01/2018							Calibrando				
14	Punto de medición			240.000 V	Resol	Valor generado (P <sup>o</sup> )	240.444 V				Auto	Resolución (V)			Radian Certificado
15	No de Medida	P	L	% error sin corrección		Valor medido (L)	242.23 V	n =	5						Escala
16	1	240.420 V	242.24 V	0.75701	Componente	Argumento	Valor estimado	Distribución de Probabilidad	Incertidumbre estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (para Incertidumbre U)	Aporte de la incertidumbre	grados de libertad			Resolución (V)
17	2	240.435 V	242.24 V	0.75072	Resolución OBP	Resolución de escala	---	Rectangular	0.0011917 %	1.007438224	0.001200592	%	200		
18	3	240.461 V	242.24 V	0.73983	Valor medido OBP	Repetibilidad	0.005 V	Normal	0.0020224 %	1.007438224	0.002037472	%	4		
19	4	240.463 V	242.22 V	0.73067	Calibración del patrón	Calibración	---	Normal	0.0095000 %	1.0093	0.00958835	%	200		
20	5	240.429 V	242.22 V	0.74492	Especificaciones del patrón	Especificaciones	---	Normal	0.0050000 %	-1.007438224	-0.005037181	%	200		
21	Promedio	240.442 V	242.23 V	0.74463	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	desviación estándar	0.019 V	0.01 V	0.01010	Resolución del Patrón	Resolución de escala	---	Rectangular	0.0001201 %	-1.007438224	-0.000120952	%	200		
23	n	5			Incertidumbre combinada				0.0111						
24	Temperatura ambiental (°C)	23			grados efectivos de libertad				363.3886						
25	Humedad relativa (%)	53			valor k (95%)				2						
26					Incertidumbre expandida U%				0.022173887						
27															
28															
29															
30															
31															
32	Observaciones:														
33	P = P corregido														
	Intro	VAC 120 V fase A	VAC 120 V fase B	VAC 208 V fase A	VAC 208 V fase B	VAC 240 V fase A	VAC 240 V fase B	Informe-VAC							
13	Fecha de calibración			11/01/2018							Calibrando				
14	Punto de medición			240.000 V	Resol	Valor generado (P <sup>o</sup> )	240.444 V				Auto	Resolución (V)			Radian Certificado
15	No de Medida	P	L	% error sin corrección		Valor medido (L)	242.07 V	n =	5						Escala
16	1	240.420 V	242.06 V	0.68214	Componente	Argumento	Valor estimado	Distribución de Probabilidad	Incertidumbre estándar (%)	Coefficiente de variabilidad (para Incertidumbre U)	Aporte de la incertidumbre	grados de libertad			Resolución (V)
17	2	240.435 V	242.08 V	0.68418	Resolución OBP	Resolución de escala	---	Rectangular	0.0011925 %	1.009754153	0.001200592	%	200		
18	3	240.461 V	242.08 V	0.67329	Valor medido OBP	Repetibilidad	0.005 V	Normal	0.0020238 %	1.009754153	0.002037472	%	4		
19	4	240.463 V	242.06 V	0.66414	Calibración del patrón	Calibración	---	Normal	0.0095000 %	1.009616687	0.009581858	%	200		
20	5	240.429 V	242.06 V	0.67837	Especificaciones del patrón	Especificaciones	---	Normal	0.0050000 %	-1.009754153	-0.005033771	%	200		
21	Promedio	240.442 V	242.07 V	0.67642	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	desviación estándar	0.019 V	0.01 V	0.00802	Resolución del Patrón	Resolución de escala	---	Rectangular	0.0001201 %	-1.009754153	-0.00012087	%	200		
23	n	5			Incertidumbre combinada				0.0111						
24	Temperatura ambiental (°C)	23			grados efectivos de libertad				363.3569						
25	Humedad relativa (%)	53			valor k (95%)				2						
26					Incertidumbre expandida U%				0.022159259						
27															
28															
29															
30															
31															
32	Observaciones:														
33	P = P corregido														
	Intro	VAC 120 V fase A	VAC 120 V fase B	VAC 208 V fase A	VAC 208 V fase B	VAC 240 V fase A	VAC 240 V fase B	Informe-VAC							

Figura 6.12. Excel generado mediante LabVIEW para 240 V.

Una vez generado el Excel por medio de la programación en LabVIEW, se genera automáticamente el informe final en Word, el cual contiene los datos producidos por el cálculo del archivo generado en Excel. En las figuras 6.13, 6.14 y 6.15 se observa el informe final de calibración para los patrones portátiles monofásicos.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
INFORME DE CALIBRACIÓN



ICE-LEE-P11-2-F02

Pág. 1 de 3

---

Fecha de calibración	01/11/2018
----------------------	------------

Objeto bajo prueba	Marca: Enetics Modelo: LM-1312 Número de activo: 796237 Número de serie: 2872
Ámbito de Medición	Tensión eléctrica en corriente alterna
Método de Medición	Comparación directa
Patrones y Trazabilidad Metrológica	Marca: Radian Modelo: RD-23 Número de activo: 896702 Número de serie: 208858 Informe de calibración: ICE-LEE-C-13-2018 Vence: 01/03/2019

---

Heyleen Villalta Maietta  
Coordinador Técnico

---

Luis Javier Solano Mora  
Metrólogo

---

**Figura 6.13.** Informe de calibración página 1.

**Resultados de la calibración**

$P^1 = P$  corregido **Tensión Eléctrica Alterna @ 60 Hz**

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	120,195 V	120,580 V	0,320 ± 0,014
**B	auto	120,195 V	120,532 V	0,280 ± 0,017

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	208,381 V	209,696 V	0,631 ± 0,022
**B	auto	208,381 V	209,572 V	0,572 ± 0,022

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	240,444 V	242,232 V	0,744 ± 0,022
**B	auto	240,444 V	242,068 V	0,675 ± 0,022

En esta calibración el mesurando es el error relativo del instrumento bajo calibración y el proceso de medición está formalizado con base en la siguiente expresión:  $Er = \left[ \left( \frac{L-P}{P} \right) \right] \times 100$ . Dónde: L es el valor del instrumento bajo calibración, P es el valor del patrón y la incertidumbre reportada es la incertidumbre de medida asociada al error relativo.

$P^1$ : Valor corregido con respecto al certificado de calibración del patrón.

**Figura 6.14.** Informe de calibración página 2.

---

**Condiciones ambientales de calibración**

Temperatura ambiente: 23 °C

Humedad relativa: 53 %

**Notas:**

1. Los resultados de la calibración incluidos en el presente documento, se refieren solo al objeto bajo calibración.
2. La incertidumbre expandida se expresa de acuerdo a los lineamiento de ECA-MC-PO02 "Política de incertidumbre de las mediciones"
3. Este informe de calibración no es válido sin las firmas y el sello del ICE-LEE. Prohibida su reproducción parcial.
4. Los resultados de esta calibración, incluidos en las páginas adjuntas, se reportan a un nivel del confianza del 95,45 % y un factor de cobertura de  $k = 2$
5. Se identifica con (\*) un asterisco, la calibración acreditada bajo la norma INTE-ISO/IEC 17025 (ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)) v con (\*\*) dos asteriscos la calibración NO acreditada

-----U.L.-----

**Figura 6.15.** Informe de calibración página 3.

## Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1. Conclusiones

1. La automatización de la calibración de los patrones portátiles monofásicos disminuye el tiempo de calibración a menos de 10 minutos en la obtención de los resultados finales, en comparación a la hora que aproximadamente tomaba realizar este proceso de forma manual.
2. La sincronización en los tiempos de la lectura de los datos de ambos equipos es fundamental para conocer el verdadero estado del equipo bajo prueba.
3. La adquisición de los datos por medio del programa en LabVIEW es más eficiente y confiable que los obtenidos de forma manual, debido a que ya no se presentan errores en la apreciación de la lectura de los datos.
4. La manipulación de los datos de forma automática elimina la posibilidad del error en la escritura de los mismos para el cálculo de incertidumbres en la calibración.
5. La generación automática del informe de calibración es más eficiente que el método manual, debido a que los datos e información necesarios para el mismo son extraídos durante el proceso de calibración y generados en unos cuantos segundos, mientras que de forma manual los datos se debían copiar uno a uno.
6. La creación de una interfaz guiada y sencilla permite la facilidad de acceso para cualquier persona que desee manipularla.
7. El proceso de calibración tarda un tiempo determinado por normas que rigen al laboratorio en este tipo de ensayos, debido a esta situación se debe realizar la lectura de cada dato con un intervalo de tiempo de 15 segundos, lo que resulta imposible llevar el proceso completo a tiempos de tan solo segundos.

## **7.2. Recomendaciones**

1. Estudiar los equipos involucrados en el proyecto para conocer sus alcances y la información proporcionada.
2. Utilizar una programación más sintetizada y modulada que permita aumentar la eficiencia de la misma.
3. Realizar la programación en LabVIEW por medio de la arquitectura productor/consumidor, la cual elimina los errores en los tiempos de ejecución para procesos en paralelo.
4. Utilizar opciones de seguridad dentro de la programación para que durante el proceso de calibración se tenga el alcance de inhabilitar la fuente de alimentación en caso de una emergencia.
5. Solicitar la adquisición de varios objetos bajo prueba para determinar con mayor rapidez la presencia de fallos propios del equipo y no enfatizar en correcciones dentro de la programación.

## Bibliografía

- [1] ARESEP, «Ley de la autoridad reguladora de los servicios públicos N° 7593 y sus reformas,» La Gaceta, San José, 2008.
- [2] ARESEP, «Instituciones Descentralizadas,» Imprenta Nacional, San José, 2015.
- [3] ARESEP, «Decreto N° 29847-MP-MINAE-MEIC,» ARESEP, San Jose , 2001.
- [4] ARESEP, «RESOLUCIÓN RJD-205-2015,» ARESEP, San José, 2014.
- [5] C. Instruments, i / iX / iM Series II AC Power Source User Manual, San Diego : An AMETEK Company, 2008.
- [6] I. Radian Research, RD-23 Operations Manual, Lafayette, Indiana USA: An Employee Owned Company, 2015.
- [7] I. Radian Research, Customer Access Commands Manual for the RD-xx Family, Lafayette, Indiana USA: Radian Research, Inc., 2009.
- [8] I. Enetics, LM-1312 ENERGY AND POWER QUALITY METER ADAPTER RECORDER, Victor, NY: Enetics, Inc, 2017.
- [9] L. a. GYR, Electricity meter test equipment, Gepruef, Suiza: LANDIS and GYR, 1990.
- [10] N. Instruments, «National Instruments Corporation,» 6 junio 2006. [En línea]. Available:  
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>.  
[Último acceso: 13 setiembre 2018].
- [11] E. L. Pérez, «El Protocolo USB,» Paraninfo , México D.F., 2008.
- [12] N. Instruments, «Nationals Instruments,» Nationals Instruments, 04 10 2018. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/en-us.html>. [Último acceso: 04 10 2018].

- [13] I. O. f. Standardization, «Information technology,» 10 setiembre 2018. [En línea].  
Available: <https://www.iso.org/ics/35/x/>. [Último acceso: 17 setiembre 2018].
- [14] iso.org, «General requirements for the competence of testing and calibration laboratories,» ISO Central Secretaria, Geneva, 2017.
- [15] C. E. d. Metrología, PROCEDIMIENTO EL- 010 PARA LA CALIBRACIÓN DE CALIBRADORES MULTIFUNCIÓN, Madrid: Centro Español de Metrología, 2008.
- [16] C. C. d. G. e. Metrología, Expresión de la incertidumbre de medida, Madrid: Centro Español de Metrología, 2008.

## **Apéndices**

### **A.1 Información de la empresa**

#### **A.1.1 Descripción de la empresa**

Grupo ICE es una Corporación de empresas públicas dedicada a ofrecer servicios de electricidad e infocomunicaciones a los habitantes de Costa Rica. Es un grupo con gran capacidad en infraestructura, desarrollo tecnológico, capital humano altamente calificado, así como responsabilidad social y ambiental que se refleja en todas las grandes obras que ha desarrollado a lo largo de los años, según (Grupo ICE).

Fue creado en los años 40, debido a la necesidad de energía eléctrica que se presentaba en esta época.

Es importante mencionar que la misión y la visión del Instituto Costarricense de Electricidad es.

#### **Misión**

*Somos la Corporación propiedad de los costarricenses, que ofrece soluciones de electricidad y telecomunicaciones, contribuyendo con el desarrollo económico, social y ambiental del país.*

#### **Visión**

*Ser una Corporación líder, innovadora en los negocios de electricidad y telecomunicaciones en convergencia, enfocada en el cliente, rentable, eficiente, promotora del desarrollo y bienestar nacional, con presencia internacional.*





TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02		Página 1/1	
										Versión: 04		Rige a partir de: 2018-06-05	
										Actualizado: 2018-09-04			
Solicitud: Calibración Enetics			Activo ICE			Especificaciones del Patrón			Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %		
OBP Enetics LM-1312			796237						0.0092		-0.0015		
Metrólogo Luis Javier Solano Mora			exactitud %			0.01							
FASE A													
Frecuencia de calibración 60 Hz			Tensión en AC										
Variable a calibrar			Tensión en AC										
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)			0.21										
Fecha de calibración 11/01/2018													
Punto de medición 208.000 V			Resol										
Valor generado (P <sup>1</sup> ) 208.381 V			Valor medido (L) 209.70 V			n= 5							
No de Medida			P			L			% error sin corrección				
1			208.384 V			209.68 V			0.62193				
2			208.373 V			209.70 V			0.63684				
3			208.359 V			209.70 V			0.64360				
4			208.396 V			209.70 V			0.62573				
5			208.382 V			209.70 V			0.63249				
Promedio			208.379 V			209.70 V			0.63212				
Desviación estándar			0.014 V			0.01 V			0.00864				
n			5										
Temperatura ambiental (°C)			23										
Humedad relativa (%)			53										
Resolución del Patrón			Resolución de escala			Rectangular			0.0001385		-1.006311117		
Incertidumbre combinada									0.0111				
grados efectivos de libertad									309.0611				
valor k (95%)									2				
Incertidumbre expandida U%									0.022151081				
Valor a reportar =			0.63111			%			±		0.0222		
											Aceptar		

Figura A.4. Hoja 4 resultado cálculo de incertidumbres.

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02		Página 1/1	
										Versión: 04		Rige a partir de: 2018-06-05	
										Actualizado: 2018-09-04			
Solicitud: Calibración Enetics			Activo ICE			Especificaciones del Patrón			Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %		
OBP Enetics LM-1312			796237						0.0092		-0.0015		
Metrólogo Luis Javier Solano Mora			exactitud %			0.01							
FASE A													
Frecuencia de calibración 60 Hz			Tensión en AC										
Variable a calibrar			Tensión en AC										
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)			0.21										
Fecha de calibración 11/01/2018													
Punto de medición 208.000 V			Resol										
Valor generado (P <sup>1</sup> ) 208.381 V			Valor medido (L) 209.57 V			n= 5							
No de Medida			P			L			% error sin corrección				
1			208.384 V			209.56 V			0.56434				
2			208.373 V			209.56 V			0.56965				
3			208.359 V			209.58 V			0.58601				
4			208.396 V			209.58 V			0.56815				
5			208.382 V			209.58 V			0.57491				
Promedio			208.379 V			209.57 V			0.57261				
Desviación estándar			0.014 V			0.01 V			0.00839				
n			5										
Temperatura ambiental (°C)			23										
Humedad relativa (%)			53										
Resolución del Patrón			Resolución de escala			Rectangular			0.0001385		-1.005716053		
Incertidumbre combinada									0.0112				
grados efectivos de libertad									292.8316				
valor k (95%)									2				
Incertidumbre expandida U%									0.022304399				
Valor a reportar =			0.57161			%			±		0.0223		
											Aceptar		

Figura A.5. Hoja 5 resultado cálculo de incertidumbres.

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02		Página 1/1	
										Versión: 04		Rige a partir de: 2018-06-05	
										Actualizado: 2018-09-04			
Solicitud:		Calibración Enetics		Activo ICE		Especificaciones del Patrón		Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %			
OBP		Enetics LM-1312		796237				0.0092		-0.0015			
Metrólogo		Luis Javier Solano Mora				exactitud %		0.01					
FASE		A											
Frecuencia de calibración		60 Hz											
Variable a calibrar		Tensión en AC											
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)		0.20											
Fecha de calibración		11/01/2018											
Punto de medición		240.000 V		Resol									
No de Medida		P		L		% error sin corrección							
1		240.420 V		242.24 V		0.75703							
2		240.495 V		242.24 V		0.75072							
3		240.461 V		242.24 V		0.73983							
4		240.463 V		242.22 V		0.73067							
5		240.429 V		242.22 V		0.74492							
Promedio		240.442 V		242.23 V		0.74463							
Desviación estándar		0.019 V		0.01 V		0.01010							
n		5											
Temperatura ambiental [°C]		23											
Humedad relativa (%)		53											
Valor generado (P*)		240.444 V											
Valor medido (L)		242.23 V		n=		s							
Componente		Argumento		Valor estimado		Distribución de Probabilidad		Incertidumbre estándar (%)		Deficiencia de exactitud (para incert. est. en %)		Aporte de la incertidumbre grados de libertad	
Resolución OBP		Resolución de escala		---		Rectangular		0.0011917 %		1.007438224		0.001209592 % 200	
Valor medido OBP		Repetibilidad		0.005 V		Normal		0.0020224 %		1.007438224		0.002037472 % 4	
Calibración del patrón		Calibración		---		Normal		0.0095000 %		1.0093		0.00958835 % 200	
Especificaciones del patrón		Especificaciones		---		Normal		0.0050000 %		-1.007438224		-0.005037181 % 200	
---		---		---		---		---		---		---	
Resolución del Patrón		Resolución de escala		---		Rectangular		0.0001201 %		-1.007438224		-0.000129952 % 200	
Incertidumbre combinada								0.0111					
grados efectivos de libertad								303.3998					
valor k (95%)								2					
Incertidumbre expandida U%								0.022173587					
Valor a reportar =		0.744		%		±		0.022		%		Aceptar	

Figura A.6. Hoja 6 resultado cálculo de incertidumbres.

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02		Página 1/1	
										Versión: 04		Rige a partir de: 2018-06-05	
										Actualizado: 2018-09-04			
Solicitud:		Calibración Enetics		Activo ICE		Especificaciones del Patrón		Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %			
OBP		Enetics LM-1312		796237				0.0092		-0.0015			
Metrólogo		Luis Javier Solano Mora				exactitud %		0.01					
FASE		A											
Frecuencia de calibración		60 Hz											
Variable a calibrar		Tensión en AC											
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)		0.20											
Fecha de calibración		11/01/2018											
Punto de medición		240.000 V		Resol									
No de Medida		P		L		% error sin corrección							
1		240.420 V		242.06 V		0.68214							
2		240.495 V		242.08 V		0.68418							
3		240.461 V		242.08 V		0.67329							
4		240.463 V		242.06 V		0.66414							
5		240.429 V		242.06 V		0.67837							
Promedio		240.442 V		242.07 V		0.67642							
Desviación estándar		0.019 V		0.01 V		0.00802							
n		5											
Temperatura ambiental [°C]		23											
Humedad relativa (%)		53											
Valor generado (P*)		240.444 V											
Valor medido (L)		242.07 V		n=		s							
Componente		Argumento		Valor estimado		Distribución de Probabilidad		Incertidumbre estándar (%)		Deficiencia de exactitud (para incert. est. en %)		Aporte de la incertidumbre grados de libertad	
Resolución OBP		Resolución de escala		---		Rectangular		0.0011925 %		1.006754153		0.001209592 % 200	
Valor medido OBP		Repetibilidad		0.005 V		Normal		0.0020238 %		1.006754153		0.002037472 % 4	
Calibración del patrón		Calibración		---		Normal		0.0095000 %		1.009816687		0.009581658 % 200	
Especificaciones del patrón		Especificaciones		---		Normal		0.0050000 %		-1.006754153		-0.005033771 % 200	
---		---		---		---		---		---		---	
Resolución del Patrón		Resolución de escala		---		Rectangular		0.0001201 %		-1.006754153		-0.00012087 % 200	
Incertidumbre combinada								0.0111					
grados efectivos de libertad								303.3599					
valor k (95%)								2					
Incertidumbre expandida U%								0.022159258					
Valor a reportar =		0.675		%		±		0.022		%		Aceptar	

Figura A.7. Hoja 7 resultado cálculo de incertidumbres.

## A.2.2 Resultados de informe de calibración

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
INFORME DE CALIBRACIÓN



ICE-LEE-P11-2-F02

Pág. 1 de 3

---

Fecha de calibración	01/11/2018
----------------------	------------

Objeto bajo prueba	Marca: Enetics Modelo: LM-1312 Número de activo: 796237 Número de serie: 2872
Ámbito de Medición	Tensión eléctrica en corriente alterna
Método de Medición	Comparación directa
Patrones y Trazabilidad Metrológica	Marca: Radian Modelo: RD-23 Número de activo: 896702 Número de serie: 208858 Informe de calibración: ICE-LEE-C-13-2018 Vence: 01/03/2019

---

Heyleen Villalta Maietta  
Coordinador Técnico

---

Luis Javier Solano Mora  
Metrólogo

**Figura A.8.** Página 1 resultados informe de calibración.

**Resultados de la calibración**

$P^1 = P$  corregido **Tensión Eléctrica Alterna @ 60 Hz**

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	120,195 V	120,580 V	0,320 ± 0,014
**B	auto	120,195 V	120,532 V	0,280 ± 0,017

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	208,381 V	209,696 V	0,631 ± 0,022
**B	auto	208,381 V	209,572 V	0,572 ± 0,022

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)
**A	auto	240,444 V	242,232 V	0,744 ± 0,022
**B	auto	240,444 V	242,068 V	0,675 ± 0,022

En esta calibración el mesurando es el error relativo del instrumento bajo calibración y el proceso de medición está formalizado con base en la siguiente expresión:  $Er = \left[ \left( \frac{L-P}{P} \right) \right] \times 100$ . Dónde: L es el valor del instrumento bajo calibración, P es el valor del patrón y la incertidumbre reportada es la incertidumbre de medida asociada al error relativo.

$P^1$ : Valor corregido con respecto al certificado de calibración del patrón.

**Figura A.9.** Página 2 resultados informe de calibración.

---

**Condiciones ambientales de calibración**

Temperatura ambiente: 23 °C

Humedad relativa: 53 %

**Notas:**

1. Los resultados de la calibración incluidos en el presente documento, se refieren solo al objeto bajo calibración.
2. La incertidumbre expandida se expresa de acuerdo a los lineamiento de ECA-MC-PO02 "Política de incertidumbre de las mediciones"
3. Este informe de calibración no es válido sin las firmas y el sello del ICE-LEE. Prohibida su reproducción parcial.
4. Los resultados de esta calibración, incluidos en las páginas adjuntas, se reportan a un nivel del confianza del 95,45 % y un factor de cobertura de  $k = 2$
5. Se identifica con (\*) un asterisco, la calibración acreditada bajo la norma INTE-ISO/IEC 17025 (ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)) v con (\*\*) dos asteriscos la calibración NO acreditada

-----U.L.-----

**Figura A.10.** Página 3 resultados informe de calibración.





TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02									
										Versión: 04					Página 1/1				
										Rige a partir de: 2018-06-05					Actualizado: 2018-09-04				
Solicitud: Calibración Enéctics			Activo ICE		Especificaciones del Patrón					Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %							
OBP Enéctics LM-1312			aaaa		exactitud %					0.0092		-0.0015							
Metrólogo: mhmf																			
FASE: B																			
Frecuencia de calibración: 60 Hz																			
Variable a calibrar: Tensión en AC																			
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)			#DIV/0!																
Fecha de calibración																			
Punto de medición: 208.000 V			Resol		Calibrando					Patrón									
					Escala: Auto					Resolución (V): 0.01									
										Radian: RD-23									
										Certificado: ICE-LEE-C-13-2018									
										Escala: auto									
										Tensión en AC: 120.0 V									
										Resolución (V): 0.001									
No de Medida: P, L			% error sin corrección		Valor generado (P <sup>1</sup> )					Valor medido (L)									
					#DIV/0!					#DIV/0!									
1			#DIV/0!		Componente					Argumento									
2			#DIV/0!		Resolución OBP					Resolución de escala									
3			#DIV/0!		Valor medido OBP					Repetibilidad									
4			#DIV/0!		Calibración del patrón					Calibracion									
5			#DIV/0!		Especificaciones del patrón					Especificaciones									
Promedio			#DIV/0!																
desviación estándar			#DIV/0!																
n			S																
Temperatura ambiental (°C)					Resolución del Patrón					Resolución de escala									
Humedad relativa (%)					Incertidumbre combinada					grados efectivos de libertad									
					valor k (95%)					#VALOR!									
					Incertidumbre expandida U%					#VALOR!									
					Valor a reportar =					#DIV/0! % ± #VALOR! %									
										Aceptar									

Figura B.4. Plantilla hoja 4 cálculo de incertidumbres.

TOMA DE DATOS, ESTIMACIÓN Y CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE PARA CALIBRACIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS										Código ICE-LEE-P11-2-F02									
										Versión: 04					Página 1/1				
										Rige a partir de: 2018-06-05					Actualizado: 2018-09-04				
Solicitud: Calibración Enéctics			Activo ICE		Especificaciones del Patrón					Calibración del Patrón, %		Error del Patrón %							
OBP Enéctics LM-1312			aaaa		exactitud %					0.0092		-0.0015							
Metrólogo: mhmf																			
FASE: B																			
Frecuencia de calibración: 60 Hz																			
Variable a calibrar: Tensión en AC																			
Valor de Exactitud Para Cumplimiento (%)			#DIV/0!																
Fecha de calibración																			
Punto de medición: 208.000 V			Resol		Calibrando					Patrón									
					Escala: Auto					Resolución (V): 0.01									
										Radian: RD-23									
										Certificado: ICE-LEE-C-13-2018									
										Escala: auto									
										Tensión en AC: 120.0 V									
										Resolución (V): 0.001									
No de Medida: P, L			% error sin corrección		Valor generado (P <sup>1</sup> )					Valor medido (L)									
					#DIV/0!					#DIV/0!									
1			#DIV/0!		Componente					Argumento									
2			#DIV/0!		Resolución OBP					Resolución de escala									
3			#DIV/0!		Valor medido OBP					Repetibilidad									
4			#DIV/0!		Calibración del patrón					Calibracion									
5			#DIV/0!		Especificaciones del patrón					Especificaciones									
Promedio			#DIV/0!																
desviación estándar			#DIV/0!																
n			S																
Temperatura ambiental (°C)					Resolución del Patrón					Resolución de escala									
Humedad relativa (%)					Incertidumbre combinada					grados efectivos de libertad									
					valor k (95%)					#VALOR!									
					Incertidumbre expandida U%					#VALOR!									
					Valor a reportar =					#DIV/0! % ± #VALOR! %									
										Aceptar									

Figura B.5. Plantilla hoja 5 cálculo de incertidumbres.



## B.1.2 Informe de calibración

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
INFORME DE CALIBRACIÓN



ICE-LEE-P11-2-F02

Pág. 1 de 3

---

Fecha de calibración	(Fecha de realización de la calibración)
----------------------	--

Objeto bajo prueba	Marca: Enetics Modelo: LM-1312 Número de activo: Número de serie:
Ámbito de Medición	Tensión eléctrica en corriente alterna
Método de Medición	Comparación directa
Patrones y Trazabilidad Metrológica	Marca: Radian Modelo: RD-23 Número de activo: 896702 Número de serie: 208858 Informe de calibración: Vence:

---

Heyleen Villalta Maietta  
Coordinador Técnico

---

(nombre completo)  
Metrólogo

---

**Figura B.8.** Plantilla pagina 1 informe de calibración.

**Resultados de la calibración**

$P^1 = P$  corregido **Tensión Eléctrica Alterna @ 60 Hz**

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

Fase	Intervalo de Medida	Valor de referencia ( $P^1$ )	Valor de Medida (L)	Er ± U(Er) (%)		
**A	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx
**B	auto	xxx V	xxx V	xxx	±	xxx

En esta calibración el mesurando es el error relativo del instrumento bajo calibración y el proceso de medición está formalizado con base en la siguiente expresión:  $Er = \left[ \left( \frac{L-P}{P} \right) \right] \times 100$ . Dónde: L es el valor del instrumento bajo calibración, P es el valor del patrón y la incertidumbre reportada es la incertidumbre de medida asociada al error relativo.

$P^1$ : Valor corregido con respecto al certificado de calibración del patrón.

**Figura B.9.** Plantilla pagina 2 informe de calibración.

**Condiciones ambientales de calibración**

Temperatura ambiente: °C

Humedad relativa: %

**Notas:**

1. Los resultados de la calibración incluidos en el presente documento, se refieren solo al objeto bajo calibración.
2. La incertidumbre expandida se expresa de acuerdo a los lineamiento de ECA-MC-PO02 "Política de incertidumbre de las mediciones"
3. Este informe de calibración no es válido sin las firmas y el sello del ICE-LEE. Prohibida su reproducción parcial.
4. Los resultados de esta calibración, incluidos en las páginas adjuntas, se reportan a un nivel del confianza del 95,45 % y un factor de cobertura de  $k = 2$
5. Se identifica con (\*) un asterisco, la calibración acreditada bajo la norma INTE-ISO/IEC 17025 (ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)) v con (\*\*) dos asteriscos la calibración NO acreditada

-----U.L.-----

**Figura B.10.** Plantilla pagina 3 informe de calibración.

## **B.2 Ley ARESEP**

### **Ley 7593 con reformas 8660**

#### **Artículo 23. Pruebas de exactitud y Confiabilidad.**

Los instrumentos y sistemas de medición o conteo por medio de los cuales se brinde o suministre un servicio público sujeto a regulación, serán sometidos a las pruebas de exactitud y confiabilidad que la Autoridad Reguladora considere necesarias. Esta Autoridad establecerá los procedimientos mediante los cuales deberá realizar esta labor.

De oficio o a solicitud de parte, la Autoridad Reguladora intervendrá para garantizar el buen estado y la confiabilidad de los instrumentos y sistemas de medición y conteo que las entidades reguladas utilicen al prestar el servicio. [1] [2]

#### **Artículo 24.- Suministro de información.**

A solicitud de la Autoridad Reguladora, las entidades reguladas suministrarán informes, reportes, datos, copias de archivos y cualquier otro medio electrónico o escrito donde se almacene información financiera, contable, económica, estadística y técnica relacionada con la prestación del servicio público que brindan. Para el cumplimiento exclusivo de sus funciones, la Autoridad Reguladora tendrá la potestad de inspeccionar y registrar los libros legales y contables, comprobantes, informes, equipos y las instalaciones de los prestadores. (Así reformado por el artículo 41 aparte a) de la Ley N° 8660 del 8 de agosto de 2008) [1] [2]

## **Reglamento Sectorial de Sectores Eléctricos**

**Artículo 37. Evaluación del servicio.** La Autoridad Reguladora podrá evaluar directamente la calidad de suministro eléctrico, aplicando para ello los principios que la rigen, a través de sus 10 funcionarios o por medio de terceras personas físicas o jurídicas, debidamente calificadas y contratadas para tal efecto, de conformidad con el procedimiento que corresponda aplicar, conforme lo establecido en la Ley de Contratación Administrativa y su Reglamento. [3]

**Artículo 38. Métodos de evaluación.** Para la evaluación del servicio, la Autoridad Reguladora podrá: a. Hacer uso o bien auditar, los mecanismos de autoevaluación propios de cada empresa, de conformidad con lo establecido en el artículo 11 del Reglamento a la Ley N° 7593. b. Contemplar, en las normas técnicas y económicas, mecanismos o controles estandarizados, para todas las empresas, con fines de evaluación, fiscalización y auditoraje de la veracidad del cálculo de índices, resultados de mediciones, estudios, etc. [3]

### **CAPÍTULO VI**

#### **De la transferencia de información**

**Artículo 39. Disponibilidad de información.** Las empresas están en la obligación de suministrar y tener a disposición de la Autoridad Reguladora, toda la información financiera, contable, técnica y económica relacionada con la prestación del servicio, que necesite para el ejercicio de sus facultades de regulación, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 24 de la Ley N° 7593. Artículo 40. Mecanismos de transferencia de información. Para la remisión de información de las empresas hacia la Autoridad Reguladora, ésta establecerá en las normas técnicas y económicas, los tipos y mecanismos apropiados de transferencia de dicha información. [3]

## Normativa AR-NT-SUCAL

### **Artículo 26. Características técnicas de los equipos de prueba**

Los instrumentos para monitorear y registrar los parámetros eléctricos y las variaciones de tensión de corta duración en el suministro eléctrico, en el plazo de cuatro años a partir de la puesta en vigencia de esta norma, deberán cumplir con las condiciones establecidas en la norma IEC-61000- 4-30 “Técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro”, asimismo deben contar como mínimo, según corresponda al tipo de servicio y a los parámetros eléctricos a estudiar (ver tabla N° 8), con las siguientes características:

#### **a. Lectura y registro de tensión y corriente en verdaderos valores eficaces (rms)**

Rangos:

Frecuencia:  $60 \pm 3$  Hz

Tensión: según categoría del servicio a monitorear

Amperaje: según demanda del servicio a monitorear

Precisión: método de medida clase A, según norma IEC-61000-4-30.

#### **b. Capacidad de registro de eventos:**

Huecos de tensión (Sags)

Picos de tensión (Swells)

Sobre tensión

Baja tensión

Impulsos

- c. Selección de magnitudes de umbral para la determinación de comienzo de eventos.
- d. Intervalos de registro: Valores promedio para 10 minutos.
- e. Registro de valores (rms) máximo, promedio y mínimo por intervalo.
- f. Registro de fecha de eventos, hora de inicio y finalización, duración del evento.
- g. Registro de armónicas: hasta la componente de orden 20.

Para estos equipos las empresas deberán de establecer un procedimiento de control, mantenimiento preventivo y de calibración conforme las recomendaciones del fabricante. [4]

### **Artículo 33. Estudios de evaluación por parte de la Autoridad Reguladora**

La Autoridad Reguladora efectuará, directamente por su cuenta o mediante contratación de terceros, estudios evaluativos de las condiciones de tensión brindada por las empresas distribuidoras en sus áreas de concesión. También, si lo considerase pertinente podrá coordinar con las empresas eléctricas el acceso a los datos e información, al equipo y el apoyo del personal técnico de las empresas reguladas, para efectos de la auditoría de los estudios de tensión efectuados por ellas. [4]

### **Artículo 36. Registro de la calidad de tensión en redes a media tensión**

Las empresas eléctricas deberán llevar un registro y control de la tensión en sus redes de distribución primaria (media tensión), el cual deberá comprender: la amplitud de la tensión nominal y la asimetría de las tensiones de fase. Para tal efecto, por cada alimentador se instalará equipo de medición y registro de la energía y potencia a nivel de subestación, el cual debe tener capacidad de registro de los parámetros de calidad. De igual forma se debe instalar al menos un equipo de medición adicional ubicado representativamente a lo largo del circuito. [4]