

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**INTERCOMPARACIÓN DE INSTRUMENTOS DE  
LABORATORIO EN DC Y BAJA FRECUENCIA**

PRESENTADO POR:

**EVER OSWALDO VICENTE**

**JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

Msc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**INTERCOMPARACIÓN DE INSTRUMENTOS DE  
LABORATORIO EN DC Y BAJA FRECUENCIA**

Presentado por :

**JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN**

**EVER OSWALDO VICENTE**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

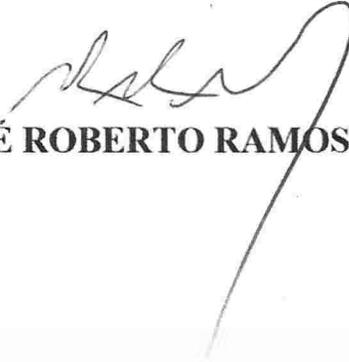
Docente Asesor :

**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ**

San Salvador, Noviembre de 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :



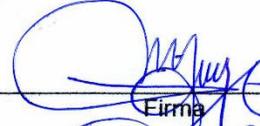
**ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ**

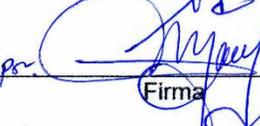
## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 29 de octubre 2020, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

  
Firma

  
Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSE ROBERTO RAMOS LOPEZ  
(Docente Asesor)

- ING. ARMANDO MARTINEZ CALDERÓN

- MSC. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

INTERCOMPARACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LABORATORIO EN DC Y BAJA FRECUENCIA

A cargo de los Bachilleres:

- ESPINOZA ALEMAN JOSE JAVIER

- VICENTE EVER OSWALDO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.0

( ocho punto cero )

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecer a mi familia quien ha sido el apoyo incondicional durante toda mi vida, a todos mis amigos que de una u otra manera me apoyaron y animaron para seguir adelante, a mi compañero de trabajo Ever Vicente, que a pesar de diversas dificultades no desistió en continuar hasta el final.

Agradecer a nuestro asesor Ing. José Ramos López que confió desde el principio y darnos la oportunidad de realizar dicho trabajo de graduación, así también agradecer al Ing. Armando Martínez Calderón que nos apoyó como director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en trámites administrativos para la adecuación del laboratorio de calibración.

Agradecer al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a la Sra. Reina Vides, Sr. Salvador Posada y Sr Juan Carlos Olano, por siempre brindarnos su colaboración y apoyo incondicional durante muchos años.

Agradecer a los compañeros y colegas Daniel Flores, Francisco Chevez y Stanley Vichez que siempre contamos con su apoyo y colaboración. Y a todas las amistades que de alguna manera han influenciado para seguir adelante.

El Cambio Orientado a Valorar Ilusiona el Destino.

**JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN**

## **DEDICATORIA**

**A MI MADRE**, por darme siempre su apoyo incondicional, por creer en mí y alentándome a seguir adelante hasta terminar esta meta.

**A MIS HERMANAS**, Nancy y Arely por siempre estar dándome su apoyo y ánimos cuando en momentos de flaqueza quería desistir en cumplir este objetivo.

**A MI HERMANO**, Fredy que, aunque no crecimos juntos ha estado siempre pendiente y apoyándome en todo lo que he necesitado.

**A MI PRIMA QUERIDA**, Edith, ya que sin ella no hubiera sucedido esto, desde el día que me acogió en su hogar e inscribirme en la Escuela San Alfonso y por siempre desear lo mejor para mí.

**A BERSABÉ AZUCENA y MARÍA DOLORES BERNAL**, que siempre me alentaron a seguir luchando por cumplir esta meta y por brindarme su apoyo incondicional, gracias por todo.

**A MI PADRE**, que no estuvo presente en ninguna etapa de mi vida, pero nunca se olvidó de ayudarme en lo que pudo.

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**, Mario, Juan y Ricardo por toda la ayuda durante todos estos largos años en la UES.

**A MI COMPAÑERO DE TESIS**, que sabemos que ha sido toda una odisea llegar a este punto y que por momentos las cosas se pusieron difíciles, pero hemos logrado llegar hasta el final.

**A LOS COMPAÑEROS**, Daniel Flores, Francisco Chévez y Stanley Víchez, por brindarnos su colaboración cuando la necesitamos.

**AL PERSONAL DE LA EIE**, Sra. Reina Vides, Sr. Salvador Posada y Sr. Juan Carlos Olano, por brindarnos su colaboración durante estos años.

**A NUESTRO DOCENTE ASESOR, INGENIERO JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ**, por brindarnos su confianza y aceptarnos como grupo de tesis, y que igual sabe que no fue fácil terminar esto, pero se pudo.

**AL INGENIERO ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**, así como también al Ingeniero Roberto Ramos, por ayudarnos en la gestión del laboratorio de metrología que quedará para beneficio de la EIE.

**EVER OSWALDO VICENTE**

## INDICE

### CONTENIDO

CONTENIDO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
1 GENERALIDADES.....	12
1.1 ANTECEDENTES.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
1.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.6 DEFINICIONES TÉCNICAS GENERALES.....	15
1.7 ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	16
2 MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 METROLOGÍA.....	18
2.1.1 HISTORIA DE LA METROLOGÍA.....	18
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE METROLOGÍA.....	21
2.2 TRAZABILIDAD Y CALIBRACIÓN METROLÓGICA.....	21
2.2.1 PRECISIÓN Y EXACTITUD.....	23
2.2.2 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.....	25
2.3 NORMATIVA SOBRE REQUISITOS MÍNIMOS DE LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN, BASADO EN LA NORMA ISO/IEC 17025.....	26
2.4 INCERTIDUMBRE.....	30
2.4.1 CAUSAS DE INCERTIDUMBRE.....	31
2.4.2 EVALUACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN.....	31
2.5 PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA.....	31
2.5.1 MÉTODO.....	34
2.5.2 DETERMINACIÓN DEL MENSURANDO.....	34
2.5.3 DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA.....	34
2.5.4 MODELO MATEMÁTICO.....	35
2.5.5 DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE INCERTIDUMBRE.....	35
2.5.6 PASOS PREVIOS A UNA MEDICIÓN.....	36
2.5.7 DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRES.....	37
2.5.7.1 INCERTIDUMBRE POR REPETIBILIDAD DEL IBC $u_a(x)$ .....	37
2.5.7.2 INCERTIDUMBRE POR RESOLUCIÓN DEL IBC $u_r(\delta x_r)$ .....	38
2.5.7.3 INCERTIDUMBRE DE MULTÍMETRO PATRÓN $u_{cp}(x_p)$ .....	38
2.5.7.4 INCERTIDUMBRE INSTRUMENTAL DEL PATRÓN “ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE” $u_{ep}(\delta x_{ep})$ .....	38

2.5.7.5 INCERTIDUMBRE DE ESTABILIDAD EN LA FUENTE CALIBRADOR $u_f(x_f)$ .....	38
2.5.7.6 INCERTIDUMBRE COMBINADA $u_c(E)$ .....	39
2.5.7.7 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA $U$ .....	39
2.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO.....	41
2.6.1 CRITERIOS O REGLAS DE DECISIÓN, TAR Y TUR .....	41
2.6.1.1 PRUEBA DE RELACIÓN DE EXACTITUD, TAR.....	42
2.6.1.2 PRUEBA DE RELACIÓN DE INCERTIDUMBRE, TUR.....	42
2.6.2 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DENTRO DE LÍMITES DE TOLERANCIA DEL IBC .....	43
2.7 PRESENTACIÓN DEL RESULTADO .....	44
3 DESARROLLO.....	47
3.1 CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN EQUIPOS DE MEDICIÓN EN DC Y BAJA FRECUENCIA .....	49
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	68
AI. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FABRICANTE FLUKE 115.....	69
AII. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FABRICANTE MULTÍMETRO DE REFERENCIA FLUKE 8508 A.....	71
BI. PERFILES DE CALIBRACIÓN DE LA MUESTRA DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DEL LABORATORIO EIE UES .....	74

## INTRODUCCIÓN

A través de la historia se ha comprobado que el progreso de las naciones está relacionado con el progreso en las mediciones. La Metrología es la ciencia de las mediciones y éstas son una parte permanente e integrada de nuestro diario vivir y de la cual muchas veces ignoramos la importancia que tienen en el desarrollo tecnológico, científico y comercial.

Es por medio de diferentes aparatos e instrumentos de medición que se realizan pruebas y ensayos que permiten determinar la conformidad con las normas existentes de un producto o servicio, en cierta medida, esto permite asegurar la calidad y nivel de confianza en los resultados que proporcionan los productos y/o servicios.

Es por ello que resulta de suma importancia la calibración periódica de los instrumentos de medición, sobre todo si se requiere el cumplimiento de normas de calidad. Los laboratorios de calibración deben garantizar que los resultados de medida de sus servicios sean trazables metrológicamente, y para ello es condición indispensable que deba ser técnicamente competentes.

En el presente documento se exponen los requerimientos que debe poseer un laboratorio de mediciones eléctricas en DC y Baja Frecuencia. Dichos laboratorios de calibración están dedicados a trabajar con las magnitudes eléctricas fundamentales: voltaje, corriente y resistencia. En este estudio se desarrolla una metodología para la calibración de instrumentos de medición y se desarrolla un análisis completo en el cálculo de la estimación de incertidumbre de los instrumentos de medición que actualmente están en funcionamiento en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador. Con ello se podrá verificar el cumplimiento de las especificaciones de exactitud de los instrumentos de prueba y medida utilizados en los laboratorios, para las funciones y rangos aplicados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, especialmente en las pruebas experimentales de las materias de electrónica e instrumentación electrónica.

Además, se presenta un inventario de los instrumentos de prueba y medición, dividiéndose éstos en dos grupos: los instrumentos que cumplen con las especificaciones del fabricante, aptos para su utilización, con su respectivo reporte y cálculo de incertidumbre; y los que no cumplen con las especificaciones del fabricante, los cuales deben ser retirados del laboratorio.

## OBJETIVOS

### GENERAL:

Calibrar en DC y baja frecuencia una muestra representativa de instrumentos de prueba y medición de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.

### ESPECÍFICOS:

- Verificar el cumplimiento de las especificaciones de exactitud de instrumentos de prueba y medida de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, para las funciones y rangos de los instrumentos de prueba y medidas aplicadas en la escuela. Esta es una prueba aceptada en los laboratorios de calibración a petición del dueño del instrumento.
- Etiquetar y documentar con un sticker “NO PASA”; y con un reporte individual, cada caso del grupo de instrumentos que no cumplen las especificaciones de exactitud declaradas por el fabricante. Estos instrumentos deben ser retirados de su uso en los laboratorios.
- Etiquetar y documentar con un sticker “PASA”; y con un reporte individual, cada caso del grupo de instrumentos que cumplen las especificaciones de exactitud declaradas por el fabricante. En estos casos, el reporte debe incluir un cálculo de incertidumbre completo.

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

Por muchos años en la Escuela de Ingeniería Eléctrica se ha implementado materias basadas en calidad de energía eléctrica, sin embargo, un pilar fundamental en el estudio de la calidad de energía eléctrica son los equipos de medición, con las cuales se realizan dicho estudio, estos en la práctica deben ser calibrados para cumplir con la fiabilidad y calidad que establece el fabricante. En la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador no existe formalmente un laboratorio dedicado al procedimiento de calibración de equipos de medición, por tanto, se acondicionó un espacio para dicho laboratorio, donde se tomó en cuenta el paper “Requerimientos de calibración de instrumentos de prueba y medición en DC y baja frecuencia” presentado en la conferencia de estudiantes CONESCAPAN 2017 IEEE, por los representantes Bonilla Cruz, Fredy Balmore; Palma Rodríguez, Rodrigo Alejandro; Rivera Calderón, Luis Gerardo, de la Universidad de El Salvador, en el cual se toman consideraciones ambientales y equipamiento dedicado a laboratorios de calibración. Así también, se consideró la normativa ISA-TR52.00.01-2006, “Recommended Environments for Standards Laboratories”, ISA, North Carolina, 2006 [4], la cual contiene las características ambientales para la estandarización de laboratorios, además la norma ISO/IEC 17025-2005, “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración” [1].

Para establecer un procedimiento de calibración se tiene el antecedente “Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM)” [5], en la que se establece el cálculo para la estimación de la incertidumbre de medida, además se consideró el “Seminar Applying Measurement Uncertainty To Digital Multimeter Calibration. Basics Of Measurement Uncertainty for DMM Calibration”. FLUKE 2011. [7]. En el cual se desarrolla un ejemplo completo y detallado en el cálculo de la estimación de incertidumbre de medida, para la calibración de multímetros digitales.

El libro Springer Handbook of Metrology and Testing-Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011), se retoman consideraciones en la historia de la metrología, cálculo de la estimación de la incertidumbre y perfil de calibración.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciencia de la metrología a nivel global ha crecido a grandes pasos, lo que ha llevado a países desarrollados a tener un impacto positivo en sus economías, gracias al desarrollo tecnológico industrializado y su correcta implementación de procesos metrológicos.

En el área de electricidad, los equipos de medición tales como: multímetros, amperímetros, osciloscopios, etc., deben estar debidamente calibrados para cumplir con la calidad y confiabilidad del servicio al cual están destinados. En la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, se cuenta con un laboratorio de pruebas experimentales utilizados por las materias que ameritan, entre ellos, electrónica e instrumentación electrónica donde se realizan muchas mediciones eléctricas, en el cual, los instrumentos de medición y prueba, carecen de un proceso de calibración y verificación del estado actual en el cumplimiento con las especificaciones del fabricante y para asegurar la confiabilidad en las mediciones realizadas, en cada una de las prácticas de laboratorio. Es por ello, que surge la necesidad de un laboratorio de calibración de equipos de medición eléctrica que cumpla con normas y requerimientos técnicos, así como también cumpla con los requerimientos específicos del propio laboratorio de la EIE, y además sirva como método de aprendizaje de las nuevas generaciones de estudiantes de ingeniería eléctrica, para comprender la importancia de la metrología como base fundamental en la ingeniería.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a que en un centro de estudios e investigación, en este caso, la Universidad de El Salvador, específicamente en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se realizan prácticas de laboratorio con instrumentos de medición, los cuales se han utilizado durante varios años sin ser sometidos a procesos de calibración o ajuste, además de no verificar el estado actual en cuanto al cumplimiento de las especificaciones de exactitud del fabricante de los instrumentos, obteniendo como resultado mediciones sin ningún tipo de respaldo técnico y con una confiabilidad baja. Por lo que hay una deficiencia respecto a calidad en las mediciones eléctricas realizadas en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.

Por ello, la necesidad de realizar un estudio en el cual se determine la condición actual de calibración de estos instrumentos de medición eléctrica, y así poder dar un diagnóstico si dichos instrumentos de medición cumplen las especificaciones de exactitud del fabricante y así determinar si están aptos para su utilización o si deben de ser descartados definitivamente de los laboratorios.

Con el presente documento se espera contribuir con el conocimiento teórico y práctico sobre la estimación de la incertidumbre de medida, en equipos de medición eléctrica, especialmente multímetros. Enfatizar el esfuerzo mutuo por parte de la dirección de la EIE y nuestra colaboración, en la rehabilitación de un espacio físico como local de laboratorio, para la implementación de metrología eléctrica, imprescindible en el estudio de este trabajo de graduación.

#### 1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

##### ALCANCES

Tomar una muestra representativa y verificar si las especificaciones de exactitud de los instrumentos de medida de los laboratorios de electrónica de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, cumplen los requisitos para las funciones y rangos aplicados en dichos laboratorios.

Además, se deberá documentar y registrar en dos grupos los instrumentos bajo estudio: un grupo corresponderá a los instrumentos que no cumplen las especificaciones de exactitud y serán descartados del laboratorio, los cuales tendrán una etiqueta “NO PASA” y su reporte correspondiente. En cuanto al otro grupo, estarán los instrumentos que, si cumplen con las especificaciones, en este caso además de su correspondiente etiqueta “PASA” y respectivo reporte, incluirá un cálculo completo de la estimación de incertidumbre de medida.

##### LIMITACIONES

Respecto al instrumento multifunción de referencia o equipo patrón, se utilizará bajo el supuesto que está debidamente calibrado. Debido a que estos instrumentos se calibran cuando salen de la línea de fabricación, pero es necesario que haya un programa de calibración de forma periódica que asegure el mantenimiento de la exactitud, lo cual actualmente no es posible obtener debido a que su última calibración fue en el mes de septiembre del año 2008. Agregar que dicho instrumento se debe utilizar lo menos posible para evitar su deterioro y desajuste de su incertidumbre.

#### 1.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de este trabajo, la metodología empleada es principalmente investigación bibliográfica, en la que se ha tomado información importante de normativas y guías internacionales respecto al tema de metrología, éstas son: el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) [2], La Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM) [5] por sus siglas en inglés, la norma ISO/IEC 17025

[1] que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios, de calibraciones y ensayos, la ANSI/NCSL Z540.3 [3] y la ISA-TR52.00 [4], todo esto con la finalidad de hacer un análisis completo de los requerimientos del laboratorio y la calibración de los instrumentos de medición en DC y baja frecuencia.

## 1.6 DEFINICIONES TÉCNICAS GENERALES

**Calibración:** Operación que bajo condiciones especificadas establece una relación entre los valores medidos en el patrón con los medidos en el objeto a calibrar y sus incertidumbres de medida asociadas.

**Exactitud de medida:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

**Medición:** Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

**Metrología:** Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación.

**Mensurando:** Magnitud que se desea medir.

**Método de medida:** Descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.

**Procedimiento de medida:** Descripción detallada de una medición conforme a uno o más principios de medida y a un método de medida dado, basado en un modelo de medida y que incluye los cálculos necesarios para obtener un resultado de medida.

**Veracidad de medida:** Proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

**Precisión de medida:** Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.

**Incertidumbre de medida:** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

**Trazabilidad metrológica:** Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

**Patrón de medida:** Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

**Patrón internacional de medida:** Patrón reconocido por los firmantes de un acuerdo internacional con la intención de ser utilizado mundialmente.

**Patrón nacional de medida:** Patrón reconocido por una autoridad nacional para servir, en un estado o economía, como base para la asignación de valores a otros patrones de magnitudes de la misma naturaleza

**Calibrador:** Patrón utilizado en calibraciones.

## 1.7 ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadunidense de Estándares)

BIPM: Bureau International des Poids et Mesures (Oficina Internacional de Pesos y Medidas)

EIE: Escuela de Ingeniería Eléctrica

GUM: Guide for the expression of Uncertainty in Measurement (Guía para la expresión de la incertidumbre de medida).

IBC: Instrumento Bajo Calibración

IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

NCSL: National Conference of State Legislatures (Conferencia Nacional de Legislaturas Estatales)

SI: Sistema Internacional de Unidades

TAR: Test Accuracy Ratio

TUR: Test Uncertainty Ratio

UES: Universidad de El Salvador

VIM: Vocabulario Internacional de Metrología

U: Incertidumbre expandida

E: Error absoluto

$\bar{V}_x$ : Indicación promedio de multímetro bajo medición

$\delta V_x$ : Corrección por resolución del multímetro

$V_S$ : Valor certificado, referencia patrón

$\delta V_S$ : Corrección por incertidumbre instrumental del equipo patrón “especificaciones del fabricante”

$V_f$ : Estabilidad de la fuente calibrador

$u_a(\bar{x})$ : Incertidumbre por repetibilidad del IBC

$u_r(\delta x_r)$ : Incertidumbre por resolución del IBC

$u_{cp}(x_p)$ : Incertidumbre de multímetro patrón

$u_{ep}(\delta x_{ep})$ : Incertidumbre instrumental del equipo patrón

$u_f(x_f)$ : Incertidumbre de estabilidad en la fuente calibrador

$u_c(E)$ : Incertidumbre combinada

$N. C$ : Nivel de confianza

$v_{eff}$ : Grados efectivos de libertad

$u_i$ : Incertidumbres asociadas

$v_i$ : Grados de libertad individual de cada incertidumbre asociada

k: Factor de cobertura

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 METROLOGÍA

La definición etimológica de la palabra metrología proviene del origen griego ( $\mu\acute{\epsilon}\tau\rho\nu$  [*metron*]: "medida",  $\lambda\omicron\gamma\acute{\iota}\alpha$  [*loguía*]: 'tratado', 'estudio', 'ciencia'), la metrología es la ciencia que se encarga de las mediciones.

La metrología es la rama de la ciencia encargada de las mediciones, de los sistemas de unidades y de los instrumentos con los que se efectúan e interpretan dichas mediciones. Comprende los conceptos teóricos, prácticos de las mediciones y su incertidumbre en aplicaciones científicas, industrial y legal.

El objetivo principal de la metrología es proporcionar fiabilidad, credibilidad, universalidad y calidad a las mediciones. El alcance de la metrología es inmenso ya que las mediciones están presentes en prácticamente todos los procesos de toma de decisiones, involucrando a la industria, el comercio, la salud, seguridad, defensa, medio ambiente, entre otras áreas. Se estima que entre el 4% y el 6% del producto interno bruto (PIB) de países desarrollados industrialmente se dedica a procedimientos de medición.

Desde el momento que una persona despierta hasta que se dispone a dormir, la metrología está presente directa e indirectamente en prácticamente todas las actividades u objetos con los cuales se involucra durante el día, el reloj que nos despierta tiene una medida metrológica, los alimentos consumidos probablemente se sometieron a un control de peso y calidad, el automóvil, la computadora fabricados con partes previamente medidas, etc.

#### 2.1.1 HISTORIA DE LA METROLOGÍA

La metrología es considerada una de las ciencias más antiguas, esta se ha desarrollado de manera simultánea con el desarrollo de las sociedades humanas. Los pesos y las medidas fueron algunas de las primeras herramientas creadas. Las unidades de longitud se definieron como partes del cuerpo como las manos y brazos, el peso probablemente se habría definido como la cantidad que un hombre podría levantar, o el peso de una piedra del tamaño de una mano. El tiempo se definió como duración de un día y días entre los ciclos de la luna, estos ciclos definieron las temporadas de la época. Se conoce que el primer calendario egipcio fue basado en los ciclos que realizaba la luna, pero luego se basaron en la estrella perro en la constelación "can mayor" (canis Major), a la que llamaban Sirio (Sothis "Billante de año nuevo"), esta se elevaba junto al sol cada 365 días, aproximadamente cuando comenzaba la inundación anual del río Nilo. En base a estos acontecimientos, idearon un calendario de 365 días que se estima

comenzó en el año 4236 a. C. Estas mediciones eran rudimentarias, pero fueron suficientemente necesarias para el desarrollo de estas sociedades.

Desde los primeros tiempos las mediciones han sido importante para comparar las cosas, esto para las realizaciones de intercambios justos, trueques o comercio entre comunidades. Esto llevó a la necesidad de estandarizar las medidas utilizadas en la vida cotidiana, como la construcción de armas para la caza y protección, recolección de alimentos, vestimentas y divisiones territoriales. El avance en las civilizaciones provocaba que fuesen más sofisticados, y requerían mejoras en las definiciones de las medidas. Aproximadamente en el año 3000 a. C. Egipto reinado por el faraón Menes, ya comerciaban bienes. Las medidas líquidas y secas eran de gran importancia, algunas de ellas eran el kursh (codo) para la longitud, sar (parcela) para el área y Maná para definir el peso.

Los egipcios habrían anticipado el presente de la metrología legal, estándar, trazabilidad y registros de las calibraciones, ya que, a los trabajadores dedicados a la construcción de tumbas y pirámides, etc., se les entregaban cubitos de madera o granito con las medidas estándar de la época las cuales eran similares al codo maestro real (0.523 m), que fue tallado en un bloque de granito, para su perduración. Designaban un capataz de obra quien era el encargado de mantener y transferir la unidad de longitud a los instrumentos de los trabajadores. Se les pedía trajeran sus herramientas de medición cada luna llena para ser comparados y el incumplimiento de esta orden, eran castigados con pena de muerte. Bajo esta estandarización, los egipcios lograron una precisión sorprendente. Miles de trabajadores construyeron la gran pirámide de Guiza. Utilizando sus herramientas de medida como el codo, lograron una precisión del 0.05 %. La Gran Pirámide tenía originalmente 280 codos de altura, 146.5 m, pero debido a la erosión, su altura actual es de 138.8 m. Cada lado de la base tenía 440 codos, 230.4 m de largo. La masa de la pirámide se ha estimado en  $\approx 5.9$  millones de toneladas. El volumen, incluyendo una loma interna, es aproximadamente  $2,500,000 m^3$ . La alta precisión de la mano de obra de la pirámide es tal que los cuatro lados de la base tienen un error medio de sólo 58 mm de longitud.

Durante el paso de los años los esfuerzos por estandarizar las mediciones fueron grandes en todo el mundo. Países como Inglaterra, Francia y Estados Unidos, enfocaron su visión en el orden de sus mercados y gobiernos. En el año 1000 d. C. Inglaterra mantuvo un estándar oficial de medición llamado vara, bajo el mandato del rey Sajón Edgar en Winchester. En el año de 1196 en el mandato del rey Ricardo I (Ricardo Corazón de León), fue la primera vez en que se documentaba cualquier forma de estandarización de unidades de medida. En Assizes of Measures, 1196, decía: "En todo el reino habrá el mismo patio del mismo tamaño y deberá ser de hierro". Tras el reinado de Ricardo, su hermano, el rey

Juan, en el año 1215, fue obligado a producir el primer gran documento democrático del mundo “La Carta Magna”, más tarde el rey Eduardo I (1272-1307), redactó la carta agregando unidades de medidas más estandarizadas, en esta se dictaba: "Está ordenado que tres granos de cebada, secos y redondos, forman una pulgada, doce pulgadas forman un pie, tres pies forman dos codo (cubito), cinco y medio codo forman una percha, y cuarenta perchas de largo y cuatro perchas de ancho forman un acre".

En el siglo XVIII, la comparación de estándares nacionales de medición entre Gran Bretaña y Francia difería en pequeños porcentajes para la misma unidad, esto los llevó a un debate técnico, en la que dio comienzo al sistema métrico. Francia lideraba el proceso y solicitaron se dedujera un estándar invariable para las medidas y pesos. Para la estandarización de la longitud se tenían dos opciones, el péndulo del segundo y la longitud de la tierra. Se terminó optando por la longitud de la tierra, ya que el péndulo difería respecto a la gravedad de la tierra en el lugar donde se realizara.

Varios gobiernos establecieron lo que entonces se llamó el Comité de Pesos y Dinero, que a su vez condujo a la reunión de la Comisión Internacional del Metro en 1870. Pero no fue hasta 1872 que el comité completo concluyó la reunión. El resultado fue la convención del metro, y la creación de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), en el antiguo Pabellón de Breteuil (Parque de Saint-Cloud), la cual fue firmada el 20 de mayo de 1875 por diecisiete Estados, fecha que en la actualidad cada 20 de mayo se conmemora el día de la metrología gracias a la convención del metro.

El rol del BIPM era establecer nuevos estándares métricos, conservar los prototipos internacionales (entonces el metro y el kilogramo) y realizar las comparaciones necesarias para asegurar la uniformidad de las medidas en todo el mundo. Como organización de tratados diplomáticos e intergubernamentales, el BIPM se colocó bajo la autoridad de la Conferencia General sobre Pesos y Medidas (CGPM). Un comité de 18 expertos científicos, el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM), ahora supervisa el funcionamiento del BIPM. El objetivo de la CGPM y el CIPM era, y sigue siendo, asegurar la unificación internacional y el desarrollo del sistema métrico. El CGPM ahora se reúne cada 4 años para revisar el progreso, recibir informes del CIPM sobre el funcionamiento del BIPM y establecer el presupuesto operativo del BIPM, mientras que el CIPM se reúne anualmente para supervisar el trabajo del BIPM.

## 2.1.2 CLASIFICACIÓN DE METROLOGÍA

La Metrología cubre tres actividades principales:

1. La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
2. La realización de las unidades de medida por métodos científicos.
3. El establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de las mediciones y diseminando dicho conocimiento.

La metrología es la encargada de proporcionar fiabilidad, credibilidad, universalidad y calidad a las mediciones. Bajo una jerarquía, se clasifica en metrología científica, metrología legal y metrología industrial.

Metrología científica: es parte de la metrología que se encarga de la investigación, para el desarrollo de nuevos métodos de medición de equipos y patrones. También encargada para el desarrollo de nuevas unidades de medida, además de custodiar y verificar su correcto mantenimiento de unidades patrón.

Metrología legal: esta etapa de la metrología es de carácter obligatorio, y es uno de los servicios básicos que el Gobierno de un país debe ofrecer a sus habitantes. Comprende todas las actividades de un sistema de gestión de medidas que requieren las industrias para el cumplimiento de calidad y gestión, bajo el asesoramiento de normas nacionales e internacionales. La metrología legal es la que se encarga de verificar que lo indicado por el fabricante o el comerciante cumple con los requisitos técnicos y jurídicos que han sido establecidos y que garantizan la exactitud al consumidor final de los bienes o servicios ofrecidos.

Metrología industrial: esta persigue promover la competitividad industrial, establecidas por organismos oficiales que establecen la implementación y estandarización que conduzcan a la uniformidad de las medidas y unidades de interés nacional y social. La realización de calibraciones periódicas de instrumentos de medición, contra patrones trazables al sistema internacional de unidades y procedimientos de calidad, son parte fundamental de estos organismos.

## 2.2 TRAZABILIDAD Y CALIBRACIÓN METROLÓGICA

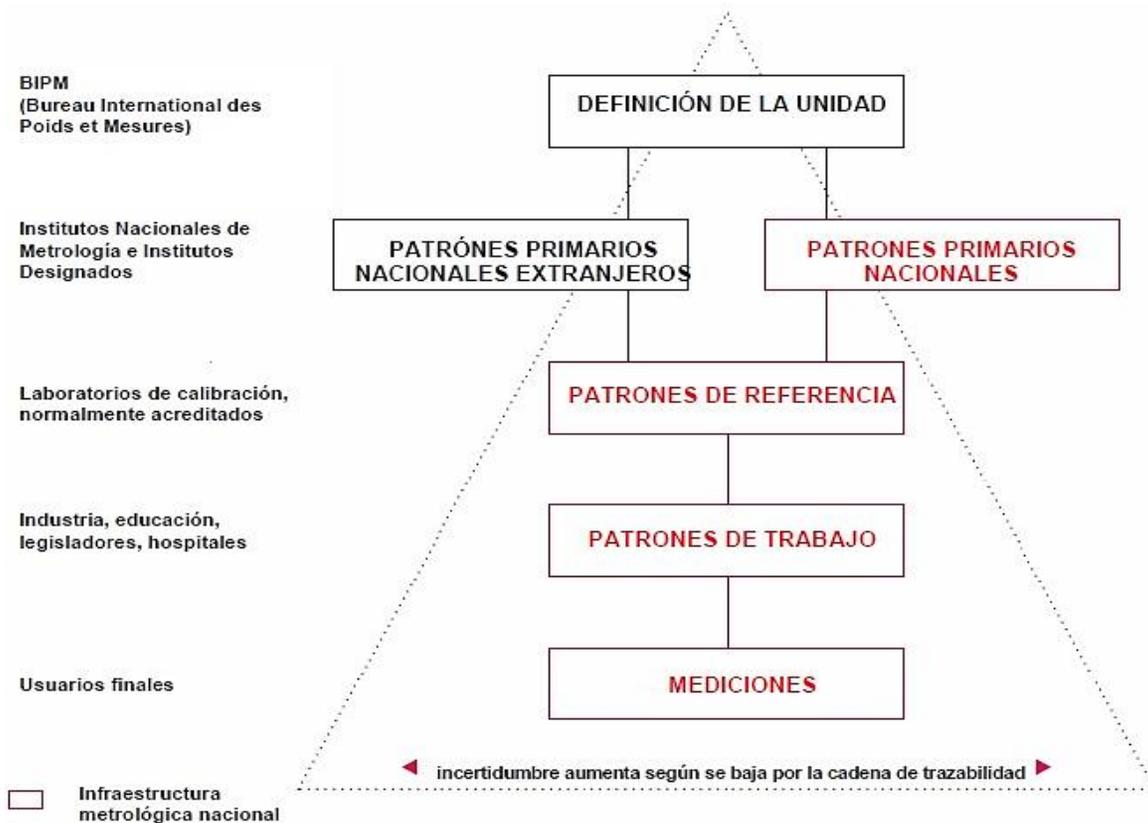
**Trazabilidad metrológica:** la trazabilidad es considerada de gran importancia, tanto como la propia “medición”, ya que es la esencia de la metrología. Esta se define como la propiedad del resultado de una medida por la que este resultado se puede relacionar o referir a los patrones o referencias de más alto nivel y a través de éstos a las unidades fundamentales del Sistema Internacional (SI), por medio de una

cadena ininterrumpida de comparaciones. La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración definida.

Jerarquía de calibración: secuencia de calibraciones desde una referencia hasta el sistema de medida final, en la cual el resultado de cada calibración depende del resultado de la calibración precedente.

En la figura 1, se muestra como está conformada la cadena de trazabilidad metrológica que no es más que una sucesión de patrones y calibraciones que relacionan un resultado de medida con una referencia.

El primer eslabón de la cadena son las definiciones de los patrones de unidades regidos por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas BIPM, seguido de las instituciones Nacionales e instituciones designadas, en las que poseen modelos de equipos de medición patrón con una determinada incertidumbre, luego se tiene a los laboratorios acreditados para las calibraciones, también los equipos de mediciones patrón de industrias y centros educativos. Esta cadena puede ser observada como una pirámide donde la incertidumbre va creciendo mientras se avanza con la calibración de equipos hasta su culminación de equipos de medición de usuarios finales.



*Figura 1. Cadena de trazabilidad  
Fuente: Metrología Abreviada. 3a Edición.*

Para asegurar la trazabilidad de los resultados en las mediciones realizadas, es necesario definir, comprender y utilizar de forma correcta un concepto y a la vez herramienta fundamental, como lo es la calibración (metrológica). En ese sentido y en base al Vocabulario Internacional de Metrología VIM, se establece.

**Calibración:** Conjunto de operaciones, que, en condiciones especificadas, establece la comparación documentada de los valores y sus incertidumbres asociadas, entre el dispositivo o instrumento de medición que se procederá a calibrar y el dispositivo de referencia trazable (patrón de referencia). El patrón de referencia debe de estar calibrado de modo que se asegure la trazabilidad de las medidas a las correspondientes unidades básicas del Sistema Internacional (SI).

La calibración de un instrumento determina sus características metrológicas, y esto se logra mediante la comparación y documentación de la medición del instrumento bajo calibración, respecto a un equipo patrón con mayor precisión y que sea trazable, con lo cual se logre obtener el valor convencionalmente verdadero del mensurando y además confiar en la validez y calidad de los resultados en las mediciones. Se emite un certificado de calibración y se coloca una etiqueta al instrumento calibrado. La calibración no corrige errores o defectos de un instrumento, solo los identifica y cuantifica.

Hay cuatro razones principales para tener calibrado un instrumento:

1. Para establecer y demostrar su trazabilidad.
2. Para garantizar que las lecturas del instrumento son compatibles con otras mediciones.
3. Para determinar la exactitud de las lecturas del instrumento.
4. Para establecer la fiabilidad del instrumento, es decir, que se puede confiar en sus indicaciones.

### 2.2.1 PRECISIÓN Y EXACTITUD

Al momento de analizar los resultados de una calibración o especificaciones de un instrumento, nos preguntamos ¿Qué tan preciso o exacto es el instrumento de medición?, estos términos suelen ser confundidos, pero son totalmente diferentes uno del otro según el Vocabulario Internacional de Metrología.

**Exactitud de medida:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando. El concepto no representa ninguna magnitud y no se expresa numéricamente. Cuando el error de una medición es mas pequeño, se dice que la medición es mas exacta.

Cuando el término se aplica a un grupo de resultados de mediciones del mismo mensurando, implica una componente aleatoria y una componente de error sistemático. En este caso se le denomina veracidad, la

cual se define como la proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

**Precisión de medida:** Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas. La precisión de medida se expresa numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación típica, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas. Las “condiciones especificadas” pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia, o condiciones de reproducibilidad.

Las condiciones de repetibilidad representan que los parámetros permanecerán lo más constante posible, tales como: el mismo procedimiento de medición, el mismo laboratorio, el mismo operador, el mismo equipo, repeticiones de medida en lapsos cortos de tiempo.

Las condiciones de reproducibilidad, serán las condiciones para una medición específica que puede ocurrir en diferentes instalaciones de prueba. Por ejemplo: mismo procedimiento de medición, laboratorios diferentes, diferentes operadores, diferentes equipos.

Condiciones intermedias, son esas condiciones donde se especifican qué factores son variados y qué factores permanecen constantes. Mismo procedimiento de medición, mismo laboratorio, diferentes operadores, mismo equipo (alternativamente, diferente equipo) y repeticiones en lapsos largos de tiempo.

Una vez realizada una medición o un conjunto de mediciones, se pueden tener resultados diversos, comparados con una medición patrón o de referencia, estos resultados son:

**Medición precisa y exacta:** Estas condiciones se consideran ideales, debido que en la realidad los equipos de medición son afectados por muchos factores ambientales y sistémicos, sin embargo, una medición se considera precisa, cuando con un equipo de medición se realizan varias tomas de datos, el resultado de los valores obtenidos son lo más cercanos entre sí, y exactos cuando el valor medido o la media aritmética de un conjunto de datos están muy próximos al valor de referencia.

**Medición imprecisa y exacta:** Esta medición se da cuando los resultados por repetibilidad no están cercanos entre sí, debido a factores externos o un desajuste del equipo, sin embargo la media de los datos comparada con el valor de referencia están muy cercanos con lo cual el resultado es exacto.

Medición precisa e inexacta: Esta medición es precisa debido a que, los valores están cercanos entre sí, pero su media está muy lejana al valor de referencia.

Medición imprecisa e inexacta: Esta condición es la que no se desea en un equipo de medición ya que se consideraría que no es fiable y con un alto grado de error de medida, y se da cuando los valores medidos no están cercanos entre ellos y a su vez la media está alejada del valor de referencia, cual sea el caso.

### 2.2.2 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

La medición no es considerada completa si esta no posee su incertidumbre de medida, así también la calibración no es considerada calibración si no se realiza un certificado de calibración, un registro o una viñeta de calibración del laboratorio que realiza el procedimiento de dicho equipo de medición. En este caso de estudio se emite un certificado para cada instrumento bajo calibración. El certificado de calibración es un documento donde se establece toda la información del equipo de medición, información de la persona o entidad que requiere una calibración de sus instrumentos de medida, resultados de la calibración bajo determinadas condiciones y cumplimiento de la trazabilidad metrológica.

Se pueden mencionar los siguientes puntos requeridos:

- Un título.
- Nombre y dirección del laboratorio.
- Identificación única del certificado.
- Nombre y dirección del cliente.
- Identificación del método utilizado.
- Una descripción y condición del artículo calibrado.
- Las fechas de calibración.
- Los resultados de la calibración y las unidades de medida.
- El nombre, la función y la firma de la persona que autoriza el certificado.
- Las condiciones ambientales durante la calibración.
- La incertidumbre de la medición.
- Evidencia de que las mediciones son trazables.

Este certificado sirve para verificar que un equipo de medición esté dentro de los parámetros referidos del fabricante, cumpliendo la trazabilidad. También para que la entidad correspondiente del equipo tome nota sobre si el equipo necesita ajustes o reparaciones, para cumplir con los requerimientos de calidad, o simplemente establecer un historial del equipo.

## 2.3 NORMATIVA SOBRE REQUISITOS MÍNIMOS DE LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN, BASADO EN LA NORMA ISO/IEC 17025

La norma ISO/IEC 17025 [1] establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios, calibraciones, incluido el muestreo. Esta norma cubre las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, no normalizados y métodos desarrollados por los propios laboratorios. Además, dicha normativa es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones, y en los laboratorios en los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos o instrumentos. Esta norma debe de ser utilizada por laboratorios cuando éstos desarrollen un sistema de gestión para realizar sus actividades de calidad, administrativas y técnicas.

Según esta norma, el laboratorio debe de tener el respectivo personal técnico y recursos necesarios para desempeñar correctamente sus tareas, procedimientos de ensayo o de calibración, tener una dirección técnica con la responsabilidad total de las operaciones técnicas y la provisión de los recursos necesarios para asegurar la calidad requerida en las operaciones del laboratorio. Además, hace énfasis en que debe de asegurarse que su personal sea consciente de la importancia de sus actividades y de la manera en que contribuyen al logro de los objetivos del laboratorio.

La norma establece que el laboratorio debe documentar procedimientos e instrucciones tanto como sea necesario, para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos o calibraciones, debe mejorar continuamente la eficacia de su sistema de gestión, mediante el uso de la política de calidad, los objetivos de calidad, el análisis de los datos, etc. También el laboratorio debe poseer procedimientos para proteger y salvaguardar los registros almacenados electrónicamente y prevenir el acceso no autorizado o la modificación de dichos registros.

Para futuras calibraciones, es importante que el laboratorio conserve los registros de calibración, los registros del personal y una copia del certificado de calibración emitido. Los registros de calibración deben contener suficiente información para facilitar la identificación de los factores que afectan la incertidumbre y posibilitar que la calibración sea repetida bajo condiciones lo más cercanas posible a las originales. Los registros deben de incluir la identidad del personal responsable del procedimiento, de la realización de cada calibración y de la verificación de los resultados. Cuando ocurran errores en los registros, cada error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible ni eliminado y el valor correcto debe ser escrito al margen. En el caso de los registros guardados electrónicamente, se deben tomar medidas similares para evitar pérdida o cambio de los datos originales.

Dicha norma menciona los factores que determinan la fiabilidad y exactitud de las calibraciones realizadas por un laboratorio. Éstos incluyen contribuciones de: factores humanos, condiciones ambientales e instalaciones, métodos de calibración y validación de los mismos, el equipo, la trazabilidad de las mediciones, la manipulación de los instrumentos de calibración, aseguramiento de la calidad de los resultados e informe de los resultados. [1]

El grado con el que estos factores contribuyen a la incertidumbre total de la medición difiere considerablemente según las calibraciones. El laboratorio debe tener en cuenta estos factores al desarrollar los métodos y procedimientos de calibración, en la formación del personal, así como en la selección y calibración de los equipos utilizados.

A continuación, se describen los factores anteriormente mencionados:

Es importante asegurar la competencia de todos los que operan equipos específicos, realizan calibraciones, evalúan los resultados, firman los informes y certificados de calibración. La capacitación será relevante al área de trabajo, mantendrá descripciones de los distintos puestos técnicos y profesionales que sean claves para su operatividad.

Las instalaciones para realizar las calibraciones del laboratorio, fuentes de energía, la iluminación y las condiciones ambientales, deben facilitar la realización correcta de dichas calibraciones. Es de suma importancia asegurar que las condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida de las mediciones.

El laboratorio debe de realizar el seguimiento, controlar y registrar las condiciones ambientales, métodos y procedimientos correspondientes, o cuando éstas puedan influir en la calidad de los resultados. Se debe de prestar atención, por ejemplo, la humedad relativa, el polvo, el suministro eléctrico, la temperatura y los niveles de ruido y vibración, en función de las actividades técnicas en cuestión. Cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados de las calibraciones, estas se deben interrumpir. Además, debe haber una separación eficaz entre áreas vecinas en las que se realicen las actividades incompatibles.

En cuanto a los métodos, la norma IEC 17025 [1] establece que: el laboratorio debe seleccionar los métodos apropiados que hayan sido publicados en normas internacionales, regionales o nacionales, por organizaciones reconocidas, o especificados por el fabricante del equipo.

Un laboratorio de calibración, que realiza sus propias calibraciones, debe poseer y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de la medición para todas las calibraciones de equipos a los que realizan sus certificaciones.

Información mínima requerida:

- Identificación apropiada.
- Descripción del instrumento a calibrar.
- Parámetros o magnitudes y rangos a ser determinados.
- Aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento.
- Patrones de referencia.
- Las condiciones ambientales requeridas.
- Descripción del procedimiento, incluido: marcas de identificación y preparación de los instrumentos, verificaciones a realizar antes de comenzar el trabajo, verificación del correcto funcionamiento de los equipos, el método de registro de las observaciones y de los resultados.
- Los criterios o requisitos para la aprobación o el rechazo.
- Los datos a ser registrados y el método de análisis.
- La incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre.

En algunos casos la naturaleza del método de calibración puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, de la incertidumbre. En estos casos el laboratorio debe tratar de identificar todas las componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable y asegurarse de que la forma de informar el resultado no dé una impresión equivocada de la incertidumbre. Cuando se estima la incertidumbre, se deben tener en cuenta todas las componentes de la incertidumbre que sean de importancia en la situación en estudio.

Para la protección de los datos, el laboratorio debe asegurar que se establecen e implementan procedimientos para proteger dichos datos; tales como, la integridad y confidencialidad de la entrada o recopilación de los datos, su almacenamiento, transmisión y procesamiento.

En cuanto a los equipos, la norma recomienda que cada equipo debe ser verificado antes de su uso. Además, el manual pertinente suministrado por el fabricante del equipo debe estar disponible para ser utilizado por el personal del laboratorio. También, se deben establecer registros del equipamiento que sea importante para la realización de las calibraciones. Dichos registros deben incluir la información mínima requerida, antes mencionada. Además de ello, se recomienda que los equipos que hayan sido

sometidos a una sobrecarga o a un uso inadecuado, y estos proporcionen resultados dudosos, o se haya demostrado que presentan daños y en consecuencia son defectuosos o que están fuera de los límites especificados, deben ponerse fuera de servicio del laboratorio. Se deben aislar para evitar su utilización o se deben rotular o marcar claramente que están fuera de servicio hasta que hayan sido reparados y se haya demostrado por calibración que funciona correctamente.

Los equipos de medición utilizados para las calibraciones, que tengan un efecto en la exactitud o en la validez del resultado de la calibración o del muestreo, deben ser calibrados antes de ser puestos en servicio.

Respecto a trazabilidad de los laboratorios de calibración, se necesita un programa de calibración de los equipos, diseñado y operado de modo que se asegure que las calibraciones y las mediciones hechas por el laboratorio sean trazables al SI. Esto se logra por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones o de comparaciones que los vinculen a los pertinentes patrones primarios de las unidades de medida del SI. Siempre que sea posible se requiere la participación en un programa adecuado de comparaciones interlaboratorios. Además, deben de calibrarse los patrones de referencia por un organismo que pueda proveer la trazabilidad. Éstos deben ser utilizados solo para la calibración y para ningún otro propósito.

En cuanto a la manipulación de los instrumentos, el laboratorio debe tener un procedimiento para el transporte, la recepción, manipulación, protección, almacenamiento y conservación de los equipos de calibración. Con la finalidad de proteger la integridad de los mismos. Además, recomienda mantener debidamente identificados los equipos bajo calibración para evitar que sean confundidos.

Los resultados de cada calibración efectuados, deben ser informados en forma exacta, clara, no ambigua y objetiva. Por lo general en un informe o certificado de calibración deben incluir, para la interpretación de los resultados: información sobre condiciones específicas tales como las condiciones ambientales, una declaración del cumplimiento o no cumplimiento de las especificaciones del fabricante, una declaración sobre la incertidumbre de medición estimada cuando ésta afecte al cumplimiento con los límites de una especificación. Además, la fecha del muestreo, una identificación inequívoca del instrumento bajo estudio, lugar del muestreo, los detalles específicos de las condiciones ambientales al momento de realizar las mediciones, cualquier norma o especificación sobre el método. Un certificado de calibración (o etiqueta de calibración) no debe contener ninguna recomendación sobre el intervalo de calibración.

## 2.4 INCERTIDUMBRE

Al realizar una medición, es indispensable comprender que el resultado de la medida no coincidirá exactamente con el valor verdadero del mensurando. Es necesario dar una indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad. Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas. Por ello es importante establecer un procedimiento fácilmente comprensible y aceptado universalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición; esto es, para evaluar y expresar su incertidumbre asociada.

Los lineamientos que se establecen en este trabajo están en concordancia con las recomendaciones del documento “Guide for the expression of Uncertainty in Measurement” – GUM, (Guía para la expresión de la incertidumbre de medida) [5]. Los criterios para la estimación y la expresión de las incertidumbres de medida en las calibraciones son uno de los mecanismos utilizados para asegurar la calidad de los resultados y para la demostración de la competencia técnica del laboratorio.

Es imprescindible que el método de evaluación y expresión de la incertidumbre sea uniforme en todo el mundo, de manera que las mediciones realizadas en diferentes países puedan ser comparadas fácilmente. En ese sentido, se busca armonizar la evaluación de la incertidumbre de medida, para establecer los requisitos específicos sobre la expresión de la incertidumbre en los certificados y en los informes de las calibraciones realizadas. Aunque el presente trabajo, (basado en el GUM) proporciona un marco de actuación para la evaluación de la incertidumbre, este no puede nunca sustituir a la reflexión crítica, la honradez intelectual y la competencia profesional. La evaluación de la incertidumbre no es ni una tarea rutinaria ni algo puramente matemático; depende del conocimiento detallado de la naturaleza del mensurando y de la medición. La calidad y utilidad de la incertidumbre asociada al resultado de una medición dependen en último término del conocimiento, análisis crítico e integridad de aquellos analistas que contribuyen a su evaluación.

Según la definición de la GUM la incertidumbre es el “parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando”. Es importante comprender que la incertidumbre se calcula de forma distinta dependiendo si el valor de la magnitud se obtiene por medio de una medida directa (directamente de un instrumento de medición) o de una medida indirecta (con la manipulación matemática de una o varias medidas directas, es decir, existe una correlación entre las magnitudes involucradas).

En este caso de estudio, se realiza una estimación de la incertidumbre a una muestra representativa de multímetros digitales a través de mediciones directas de: tensión dc, intensidad dc, resistencia y tensión ac.

#### 2.4.1 CAUSAS DE INCERTIDUMBRE

En la práctica existen numerosas fuentes posibles de incertidumbre en una medición, entre ellas:

- a) Definición incompleta del mensurando.
- b) Conocimiento incompleto de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición.
- c) Resolución finita del instrumento de medida.
- d) Valores inexactos de los patrones de medida.
- e) Aproximaciones e hipótesis establecidas en el método y en el procedimiento de medida.
- f) Variaciones en las observaciones repetidas del mensurando, en condiciones aparentemente idénticas.

#### 2.4.2 EVALUACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES DE MEDICIÓN

Siguiendo la GUM podemos agrupar las componentes de incertidumbre en dos categorías según el método de evaluación, “tipo A” y “tipo B”. La clasificación en tipo A y tipo B no implica ninguna diferencia de naturaleza entre las componentes de estos tipos, consiste únicamente en dos formas diferentes de evaluar las componentes de incertidumbre, y ambos se basan en distribuciones de probabilidad. [5]

La evaluación de la incertidumbre típica, conocida como incertidumbre tipo A, es un método de análisis estadístico basado en una serie de observaciones. En este caso, la incertidumbre típica es la desviación típica experimental de la medida. La evaluación Tipo B, consiste en la estimación de la incertidumbre a través del conocimiento científico basado en información disponible como: especificaciones del fabricante; datos suministrados por certificados de calibración u otros tipos de certificados, etc. [5]

#### 2.5 PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

##### Medición

La medición es el proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud. El objetivo de una medición es determinar el valor del mensurando (valor de una magnitud particular) bajo medición. Una medición conlleva primeramente a

definir correctamente el mensurando en estudio, seguido de un método de medición y establecer un procedimiento de medida. Al realizar una medición, obtenemos un resultado de medida (valor de la magnitud), este se considera solo una aproximación o estimación del valor del mensurando, y es considerado completo cuando el resultado es acompañado de una declaración de incertidumbre de dicha estimación.

### Modelo de medición

Un mensurando vendrá representado por  $Y$ , y será determinado a partir de una o varias magnitudes  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ , por medio de una relación funcional  $f$ . por tanto el modelo que representa la medición vendrá representado como:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

La magnitud de salida  $Y$ , depende de las magnitudes de entrada  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , estas magnitudes también pueden ser consideradas mensurando, dependiendo de otras magnitudes, correcciones y factores de corrección de los efectos sistemáticos.

Las magnitudes de entrada se pueden clasificar como:

- Magnitudes donde sus resultados de medida junto con su incertidumbre son determinados en el curso de la medición. Estos pueden obtenerse a partir de una única observación, o a partir de observaciones repetidas, o por decisiones tomadas de experiencia de la persona quien realiza la medición. Estas magnitudes pueden implicar correcciones de los instrumentos de mediciones y correcciones debidas a las magnitudes que intervienen en el sistema, como lo son la temperatura ambiente, la presión atmosférica o la humedad relativa.
- Magnitudes con valores e incertidumbres procedentes de fuentes externas como magnitudes asociadas a patrones de medición, a referencias certificadas y valores de referencias de publicaciones.

Como se ha mencionado anteriormente el valor correspondiente a la salida representa una estimación del mensurando  $Y$ , para distinguirla del mensurando se representa por  $y$ , esta representa todas las estimaciones de entrada  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , definida como:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

La estimación de salida y se suele tomar como la media aritmética de n determinaciones independientes  $Y_k$  de Y, con cada determinación teniendo la misma incertidumbre.

$$y = \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{N,k})$$

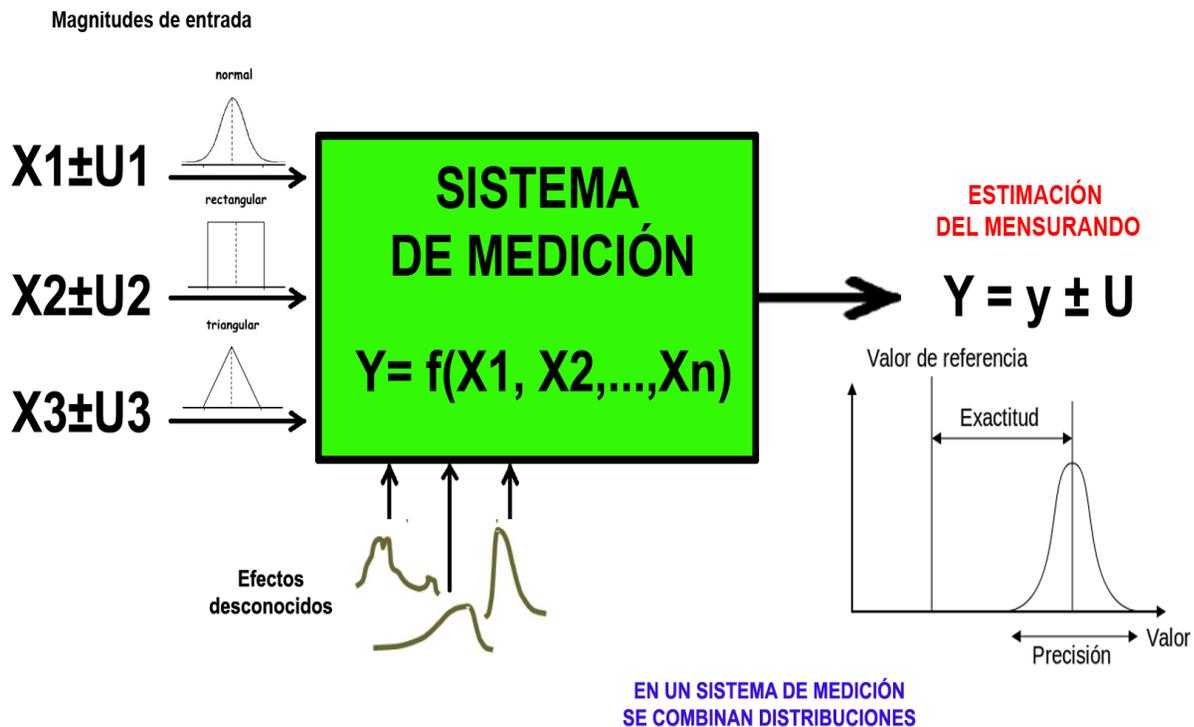


Figura 2. Sistema de medición

En la figura 2 se observa el esquema de una medición de manera general, donde existe una o varias magnitudes de entrada con una distribución correspondiente y su incertidumbre, así como también efectos o correcciones al sistema, la cual es procesada por un sistema de medición establecido por el laboratorio. La salida del sistema será la estimación de nuestra medición, más un intervalo de incertidumbre, representada como una distribución gaussiana, finalmente se verifica la precisión y el cumplimiento de las especificaciones de exactitud del fabricante con las que cuenta nuestro instrumento de medición.

### 2.5.1 MÉTODO

En el presente estudio, la estimación de la incertidumbre de medida se realizó bajo el “Método general del cálculo de incertidumbre para mediciones directas”, basado en la “Guía para la expresión de la incertidumbre de medida “. Por comparación de una referencia con nuestro instrumento bajo calibración. El método debe ser documentado. Se deben indicar las actividades que se realizan antes y durante el proceso. Además, brindar especial atención a las operaciones previas indicadas por el fabricante sobre el patrón de medición y el instrumento bajo calibración.

### 2.5.2 DETERMINACIÓN DEL MENSURANDO

La muestra de equipos de medición bajo prueba se analizó en las magnitudes de tensión DC, intensidad de corriente DC, resistencia y tensión AC, por comparación directa con el multímetro de referencia (equipo patrón), siendo estos nuestros mensurando.

### 2.5.3 DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA

Para definir los puntos de medida se debe tener en cuenta el principio de operación del instrumento, esto generalmente se puede hacer considerando los puntos de medición indicados por el fabricante, así como también se pueden tomar en cuenta los requisitos de puntos a medir que el cliente requiera. Los puntos de medición del presente estudio se tomaron de acuerdo a la utilización de los equipos en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) de la UES, que requieren las prácticas de laboratorio experimental de las materias electrónica e instrumentación electrónica.

Por acuerdo con los usuarios del laboratorio se tomaron los siguientes puntos de medida:

Tensión DC [VDC]	-10 V, -5 V, 2.5 V, 5V, 10V
Intensidad de corriente DC [IDC]	100 $\mu$ A, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 200 mA
Resistencia [R]	1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$
Tensión AC [VAC]	5 V, 10 V, 50 V, 120 V

## 2.5.4 MODELO MATEMÁTICO

Para cada uno de los puntos de medición, la función matemática modelo de la magnitud de salida vendrá especificada como el error absoluto del multímetro bajo prueba, como se muestra a continuación.

$$E = (\bar{V}_x + \delta V_x) - (V_s + \delta V_s + V_f)$$

Donde:

$E$ : error absoluto

$\bar{V}_x$ : Indicación individual o promedio de multímetro bajo medición

$\delta V_x$ : Corrección por resolución del multímetro

$V_s$ : Valor certificado, referencia patrón

$\delta V_s$ : Corrección por incertidumbre instrumental "especificaciones del fabricante" del patrón

$V_f$ : Estabilidad de la fuente calibrador

## 2.5.5 DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE INCERTIDUMBRE

Para tener claro las componentes de incertidumbre que afectan al resultado de la medición, se realiza gráficamente una descripción de cada fuente a tomar en cuenta a la hora de calcular la incertidumbre expandida, a este gráfico se le conoce como presupuesto de incertidumbres.

### PRESUPUESTO DE INCERTIDUMBRES

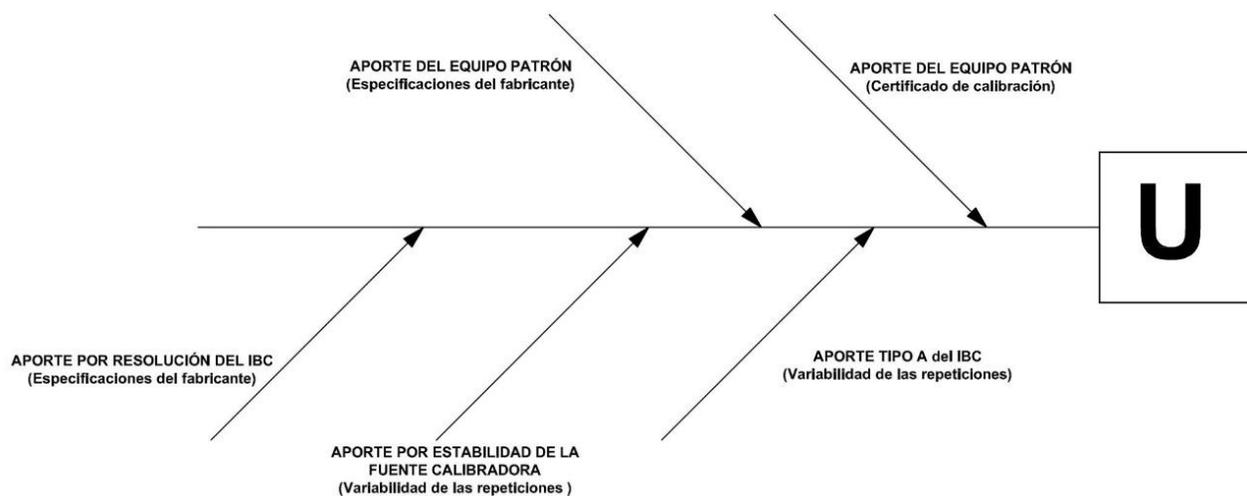


Figura 3. Fuentes de incertidumbres

En la figura 3 se muestra como el efecto de la repetibilidad de las medidas, la resolución del equipo bajo estudio, el propio aporte por parte del equipo patrón de medición y las diferentes correcciones agregan incertidumbre, cada una con determinada distribución de probabilidad. La combinación de todas las fuentes de incertidumbre junto con un nivel de confianza es a lo que llamamos incertidumbre expandida.

#### 2.5.6 PASOS PREVIOS A UNA MEDICIÓN

La obtención de la magnitud de un mensurando en un equipo de medición al que se le realiza una calibración está precedida de determinados pasos, la cual garantiza una correcta medición y reduce errores sistemáticos. Estos pasos han sido tomados en todos los multímetros de la muestra del laboratorio de la EIE.

- Selección de multímetro de referencia (patrón)

El multímetro de referencia es el equipo que se toma como el valor convencionalmente verdadero, por tanto este debe contar con una alta resolución y poseer identificación de su trazabilidad, como su certificado de calibración anterior y especificaciones técnicas del fabricante.

- Verificación de cables de conexión

Antes de toda medición se debe ver el estado de las puntas con las que se trabajará, tanto en el IBC, como en el equipo patrón, estas no deben estar en mal estado ya sea, cortadas, falsos contacto, oxidadas, altas impedancias, etc.

NOTA: si las puntas poseen suciedad, oxidación en sus bornes considere una limpieza adecuada, y si las puntas están cortadas, falso contacto o altas impedancias se debe cambiar por unas adecuadas para una buena conexión entre equipos.

- Elementos de limpieza

La limpieza de los bornes de las puntas debe ser cuidadosamente frotada con franela o algodón, lija ultra fina y alcohol isopropílico, así también asegurarse que no quede flojo en el equipo a medir.

- Funcionamiento

Asegurar que el instrumento bajo prueba este funcional, que en todas las funciones del mismo mida en el rango de tolerancia, que no esté dañado el fusible interno, de lo contrario no se realizaría la calibración hasta que el dueño o institución en este caso ajuste o repare dicho instrumento.

- Acondicionamiento ambiental

Las especificaciones del multímetro patrón como las del multímetro bajo prueba especifican un rango de temperatura al que el equipo fue calibrado, de lo contrario se debe agregar una corrección por diferencia de temperatura. La calibración se realiza en un espacio controlado de temperatura, esta temperatura ambiental la normativa específica  $23 \pm 1.5$  °C. En la EIE se acondicionó un laboratorio específico para metrología eléctrica. [4]

Para realizar las mediciones, tanto el laboratorio como los equipos utilizados en el procedimiento de calibración, se acondicionaron a una temperatura de 23 °C, durante una hora, antes de comenzar la toma de datos en las mediciones realizadas.

## 2.5.7 DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRES

### 2.5.7.1 INCERTIDUMBRE POR REPETIBILIDAD DEL IBC $u_a(\bar{x})$

Al realizar una serie de mediciones al IBC bajo las mismas condiciones, es notorio que el valor no siempre es el mismo ya que varía constantemente sin importar la cantidad de veces que realicemos la medición, entonces, ¿cuál es el valor verdadero de la medida?, realmente este valor no lo conocemos, sin embargo, la aleatoriedad tiende a una distribución normal o gaussiana. La estadística matemática nos ayuda a estimar el valor de medida de n observaciones independientes bajo las mismas condiciones, que representa la esperanza matemática bajo la media aritmética.

$$\bar{Y} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

La variabilidad de los puntos de medida se estima a través de la desviación típica experimental, la cual representa su dispersión alrededor de la media aritmética de los datos. Esta se determina como se muestra a continuación.

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} (x - \bar{x})^2}$$

La incertidumbre por repetibilidad se estima como la desviación típica de la media, que representa la bondad con que  $\bar{x}$  estima la esperanza matemática de las mediciones.

$$u_a(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}$$

La distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre se considera normal.

### 2.5.7.2 INCERTIDUMBRE POR RESOLUCIÓN DEL IBC $u_r(\delta x_r)$

La lectura observada en un instrumento analógico o digital no es el valor verdadero, debido a que cada instrumento posee una escala definida con un valor mínimo de la escala al que se conoce como resolución, la cual es una fuente de incertidumbre.

La incertidumbre por resolución se le asigna una distribución rectangular, según el caso de un instrumento analógico o digital se calcula como:

Instrumento analógico

$$u_r(\delta x_r) = \frac{\text{resolución}}{\sqrt{3}}$$

Instrumento digital

$$u_r(\delta x_r) = \frac{\text{resolución}}{2\sqrt{3}}$$

### 2.5.7.3 INCERTIDUMBRE DE MULTÍMETRO PATRÓN $u_{cp}(x_p)$

La incertidumbre del multímetro patrón corresponde al valor reportado de la incertidumbre expandida en el certificado de calibración bajo un nivel de confianza reportado.

$$u_{cp}(x_p) = \frac{U}{k}$$

La distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre usualmente se considera normal.

### 2.5.7.4 INCERTIDUMBRE INSTRUMENTAL DEL PATRÓN “ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE” $u_{ep}(\delta x_{ep})$

Es la “especificación de exactitud” declarada por el fabricante y si no se establece otra cosa, se considera como una distribución rectangular:

$$u_{ep}(\delta x_{ep}) = \frac{\text{especificación del fabricante}}{\sqrt{3}}$$

### 2.5.7.5 INCERTIDUMBRE DE ESTABILIDAD EN LA FUENTE CALIBRADOR $u_f(x_f)$

La fuente calibrador aun siendo de precisión, existe una variabilidad de la medida a la cual se le transfiere el valor del equipo patrón, en nuestro caso un multímetro de referencia fluke 8508 A, por tanto, existe una incertidumbre en el valor, la cual se debe incorporar una componente de incertidumbre debido a ello.

Esta incertidumbre corresponde a una incertidumbre por repetibilidad como se explicó con el instrumento bajo calibración y vendrá dada por:

$$u_f(\bar{x}_f) = s(\bar{x}_f) = \frac{s(x_f)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_f - \bar{x}_f)^2}$$

#### 2.5.7.6 INCERTIDUMBRE COMBINADA $u_c(E)$

Para este punto se aplica la ley de propagación de incertidumbres para magnitudes de entrada no correlacionadas.

$$u_c(E) = \sqrt{u_a^2(\bar{x}) + u_r^2(\delta x_r) + u_{cp}^2(x_p) + u_{ep}^2(\delta x_{ep}) + u_f^2(x_f)}$$

La incertidumbre combinada, como su nombre lo menciona es la combinación de las diferentes distribuciones debidamente a las fuentes de error que son tomadas en cuenta a la hora de la calibración, estas distribuciones deben ser distribuciones gaussianas y su forma final poseerá también una distribución normal.

#### 2.5.7.7 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA U

Esta incertidumbre es la corrección a los errores sistemáticos que puedan existir dentro de la incertidumbre combinada. Esta corrección se calcula bajo un nivel de confianza que se le asocia estadísticamente bajo la probabilidad de t student y los grados efectivos de libertad. A esta corrección se le denomina factor de cobertura k.

Existe un criterio para establecer la incertidumbre expandida, que establece que, si la razón de la sumatoria de las incertidumbres menos significantes entre la incertidumbre más significativa es menor o igual a cero punto tres, entonces, la incertidumbre expandida vendrá dada por:

$$\frac{u_R}{u_i} \leq 0.3$$

Donde:

$u_R$ : combinación de las contribuciones no dominantes

$u_i$ : incertidumbre estandar de mayor valor

Si el criterio se cumple, la incertidumbre expandida vendrá dada por:

$$U = (N.C)\sqrt{3} * u_c(E)$$

Donde:

*U: Incertidumbre expandida*

*N.C: Nivel de confianza*

*u<sub>c</sub>: Incertidumbre combinada*

Por ejemplo, cuando se cumpla este criterio la incertidumbre expandida se puede calcular multiplicando la incertidumbre combinada por un factor igual a 1.65 para una probabilidad de cobertura del 95 %.

$$U = 1.65u_c(E)$$

Si este criterio no se cumple, se debe encontrar el factor de cobertura k correspondiente a los grados efectivos de libertad y un nivel de confianza determinado, en la tabla estadística de t student.

Los grados efectivos de libertad de la incertidumbre combinada se calculan de acuerdo a la fórmula aproximada de Welch-Satterthwaite.

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(E)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(E)}{v_i}}$$

Donde:

*v<sub>eff</sub>: Grados efectivos de libertad*

*u<sub>i</sub>: Incertidumbre asociadas*

*v<sub>i</sub>: Grados de libertad individual de cada incertidumbre*

Es necesario determinar los grados de libertad de cada una de las distribuciones que intervienen en la incertidumbre combinada, para las incertidumbres tipo A, los grados de libertad se calculan como n-1 donde n es el número de repeticiones de una medida bajo las mismas condiciones, para las incertidumbres tipo B, se asignan grados de libertad de acuerdo al nivel de inseguridad que se tenga de la misma de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$v_i = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}$$

El término  $\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)}$  es el nivel de inseguridad, expresada en forma relativa, que se tiene sobre la incertidumbre tipo B que se evalúa. Cuando se tiene un nivel de inseguridad de 0.05, es decir del 5 %, el valor de los grados de libertad es igual a 200. Este porcentaje se escoge de acuerdo a la experiencia y conocimiento que se tenga del tipo de incertidumbre. En la tabla siguiente se presentan algunos valores de los grados de libertad, para diferentes niveles de inseguridad en incertidumbres tipo B.

Nivel de inseguridad	Grados de libertad
0	$\infty$
1%	5000
5%	200

Una vez encontrado los grados efectivos de libertad y establecido un nivel de confianza se procede a buscar el factor de cobertura  $k$  en la tabla t student. Con lo cual la incertidumbre expandida se obtiene de acuerdo con:

$$U = k * u_c(E)$$

## 2.6 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Una vez encontrada la incertidumbre expandida de la medición surge la interrogante ¿Nuestro instrumento de medición cumple con las especificaciones del fabricante para el punto de medición realizada?, existen criterios para poder establecer si nuestro IBC cumple o no las especificaciones de exactitud establecidas por el fabricante.

### 2.6.1 CRITERIOS O REGLAS DE DECISIÓN, TAR Y TUR

Las reglas de decisión, están relacionadas con el riesgo en los sistemas de medición. Las organizaciones deben determinar qué regla de decisión satisface sus necesidades únicas y qué proporciones, si las hay, se consideran aceptables. En algunos casos, las reglas de decisión están definidas por estándares, especificaciones, o el cliente.

Históricamente, la prueba de relación de exactitud (TAR), ha sido un indicador simplificado de la relación entre la exactitud de una medición y la exactitud del instrumento de prueba que se selecciona para cuantificar la medición. Sin embargo, este simple proceso se presta a un riesgo oculto: una región indeterminada dentro de la cual la exactitud del instrumento puede afectar negativamente el resultado de

la medición. Esta región indeterminada reduce efectivamente el rango de tolerancia aceptable para la exactitud de la medición, pero incluye más que solo la exactitud del instrumento.

Una mejor medida es la prueba de relación de incertidumbre (TUR), que es básicamente el mismo concepto que el TAR pero que incluye no solo la exactitud del instrumento de prueba, sino también todos los otros tipos de errores vinculados al proceso de tomar la medición. El TUR se extiende más allá de la mera exactitud del instrumento de prueba para incluir estos errores de medición. Este error combinado se conoce como la incertidumbre de la medición. La diferencia entre TAR y TUR se debe a la diferencia entre la "exactitud del estándar de medición" y la "incertidumbre de la medición" (que incluye la exactitud del estándar).

#### 2.6.1.1 Prueba de relación de exactitud, TAR

El TAR generalmente se expresa como una relación (4: 1), un porcentaje de tolerancia (25%), o un solo valor (4). [3]

$$TAR = \frac{\pm \textit{Tolerancia especificada del equipo}}{\pm \textit{Exactitud del equipo patrón}}$$

#### 2.6.1.2 Prueba de relación de incertidumbre, TUR

La evaluación de la incertidumbre de la medición irrumpió en la práctica de calibración comercial a fines de la década de 1990. A medida que más y más laboratorios de calibración comenzaron a calcular y documentar la incertidumbre, tanto en el ámbito de la acreditación como en los certificados de calibración, la práctica de usar los cálculos TAR comenzó a reemplazarse por la prueba de relación de incertidumbres, TUR. Al evaluar la conformidad con la especificación, se utilizará una regla de decisión de aceptación simple con un TUR 4U:1T, que quiere decir que la incertidumbre expandida debe ser al menos cuatro veces inferior a la tolerancia de las especificaciones del fabricante. Esta es recomendada por la norma ANSI/NCSL Z540.3 [3]

$$TUR = \frac{\pm \textit{Tolerancia especificada del equipo}}{\pm \textit{Incertidumbre expandida de medición}}$$

$$TUR \geq 4 \text{ ACEPTACIÓN}$$

Sin embargo, este criterio no nos asegura que el equipo cumpla con las especificaciones ya que aunque la incertidumbre sea muy pequeña esta puede estar desplazada de los límites de tolerancia del propio

instrumento, por tanto el criterio más importante es que la incertidumbre no esté fuera de los límites de tolerancia.

## 2.6.2 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DENTRO DE LÍMITES DE TOLERANCIA DEL IBC

**Límite inferior  $T < U < \text{Límite superior } T$**

### DE LO CONTRARIO RECHAZO

Para dar por aceptado el instrumento de medición, es necesario que su incertidumbre expandida esté dentro de los límites que establece del fabricante, pueda existir que la estimación de la medida (media aritmética) se encuentre dentro de la tolerancia, sin embargo, la incertidumbre pueda que sobrepase los límites de tolerancia superior o inferior, en estos casos se asume que el valor verdadero pueda estar en una región dudosa, este se debe declarar como no aceptado. En la figura 4 se puede apreciar los casos donde la incertidumbre está dentro de los límites del fabricante, así como también el caso en que está fuera de dichos límites.

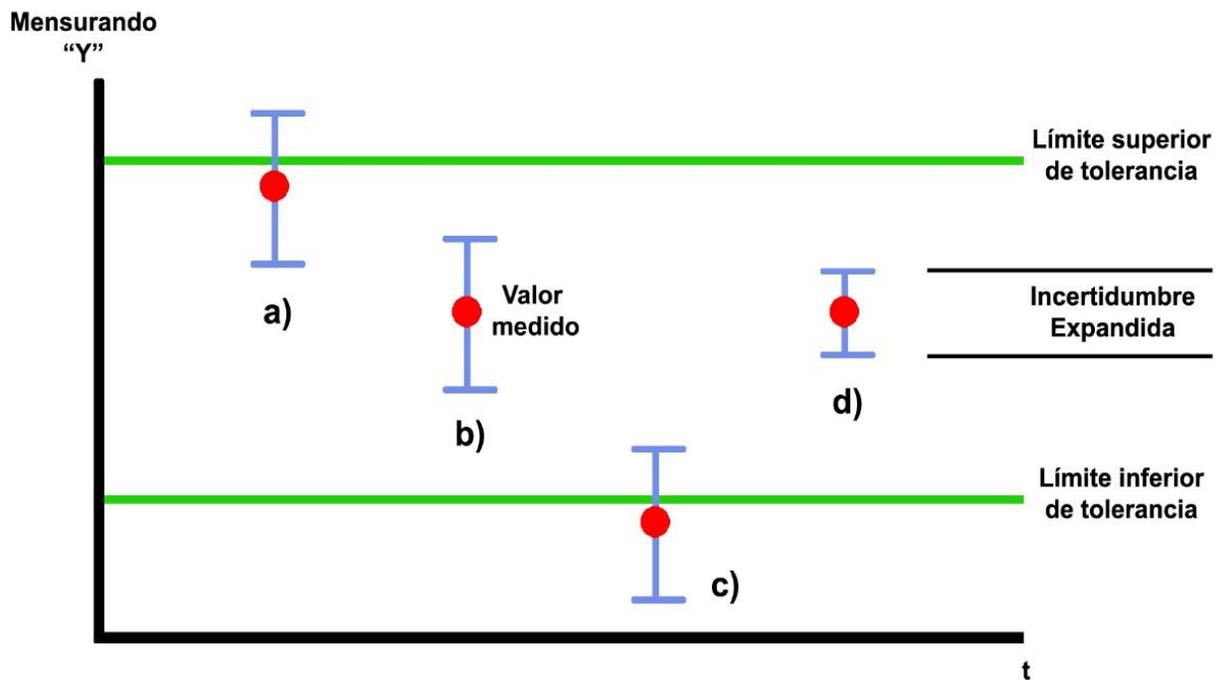


Figura 4. Representación gráfica de la incertidumbre expandida y los límites de tolerancia

En la figura 4. Se aprecia de manera general los casos que se pueda obtener posterior a una medición en cuanto a los límites de la incertidumbre y los límites de tolerancia del equipo de medida. Donde a)

estimación de la medida dentro de los límites de tolerancia, sin embargo, en el intervalo de incertidumbre existe un intervalo que se encuentra fuera del límite superior que establece el fabricante, por tanto, existe una duda en la que probablemente el valor verdadero este fuera de lo establecido, en este caso se da por rechazado el punto de medida del equipo; b) el valor medido y el intervalo de incertidumbre se encuentran dentro de los límites establecidos, por tanto, es aceptado siempre y cuando cumpla con la incertidumbre establecida por el laboratorio; c) el punto de medida y un intervalo de la incertidumbre están fuera, por tanto, es rechazado; d) al igual que en b es aceptado ya que su estimación e incertidumbre de medida se encuentran dentro de los límites que establece el fabricante del equipo de medida.

## 2.7 PRESENTACIÓN DEL RESULTADO

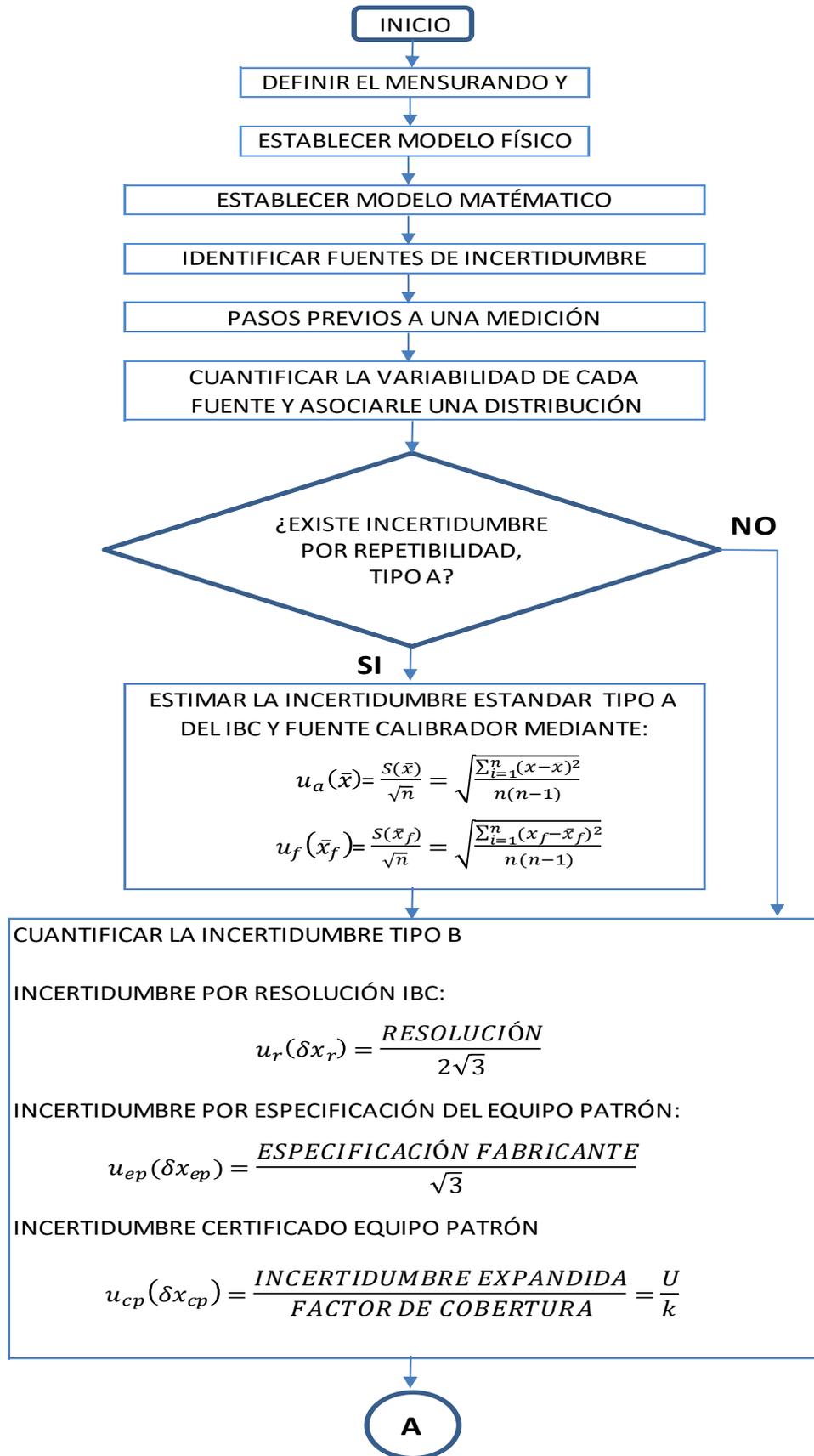
La presentación de la medición vendrá expresada como:

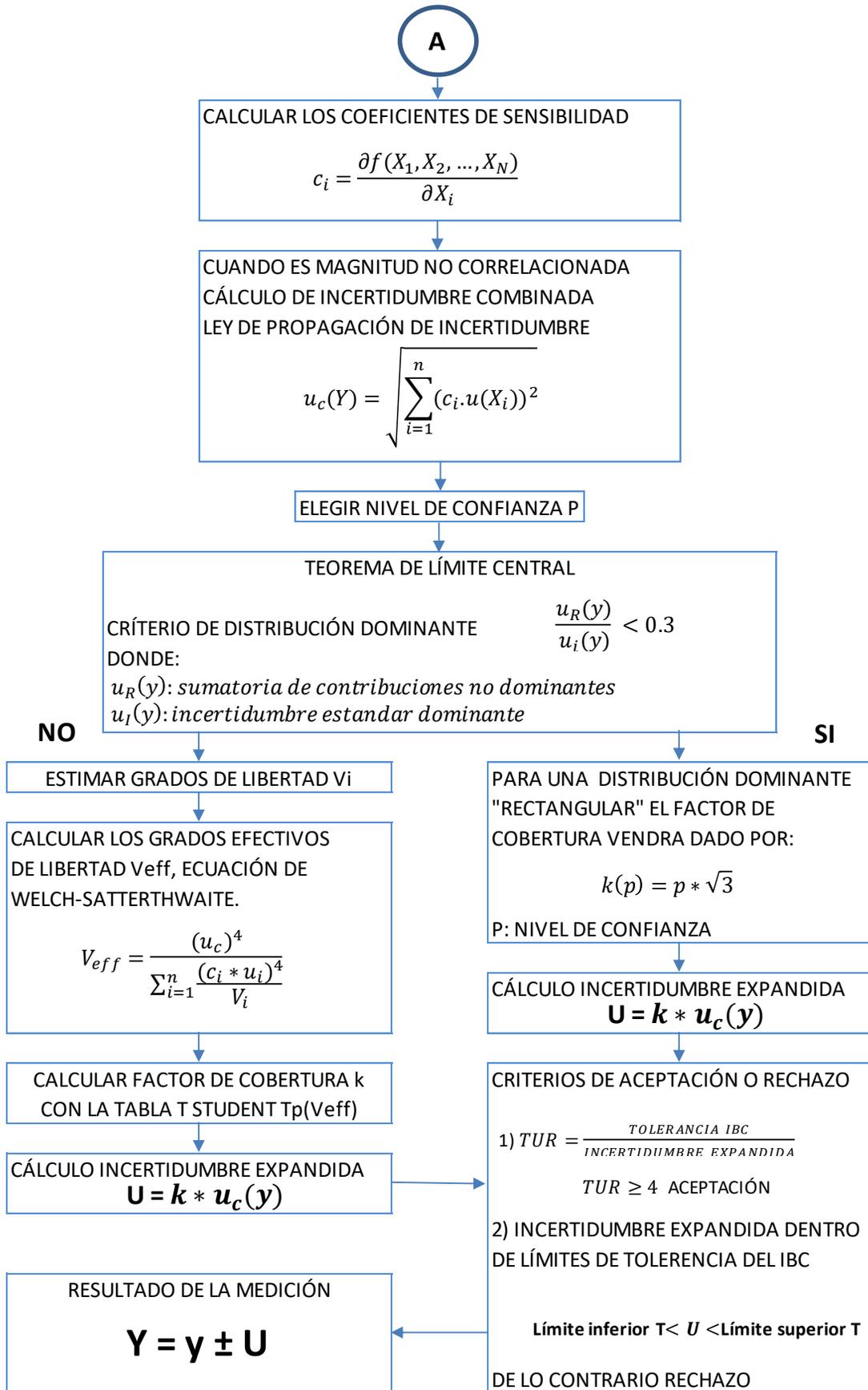
$$Y = \bar{Y} \pm U$$

LA MEDICIÓN DEL MENSURANDO “Y” SERÁ IGUAL A LA ESTIMACIÓN PROMEDIO DE DICHO MENSURANDO MÁS UN INTERVALO DE INCERTIDUMBRE EXPANDIDA CORRESPONDIENTE A UN NIVEL DE CONFIANZA ESTABLECIDO.

Los dígitos del valor promedio estimado de las mediciones, se debe de aproximar a la cantidad de dígitos que el instrumento presenta. Además, el valor de la incertidumbre expandida deberá ser aproximado hasta el final del procedimiento, y esta contendrá igual cantidad de dígitos que la resolución del punto de medida realizada.

Como resumen del procedimiento de la estimación de la incertidumbre de medida se agrega el siguiente flujograma en el cual se ha basado el estudio de la Intercomparación de los instrumentos de medida del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES.





### 3 DESARROLLO

Para la realización del presente análisis a los instrumentos de medición en DC y baja frecuencia del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES, se utilizó el multímetro de referencia patrón, marca FLUKE modelo 8085A, como se muestra en la figura 5. Este equipo es utilizado por metrólogos por tener un alto grado de precisión, fiabilidad y trazabilidad, además de ser muy versátil y fácil de usar. Las especificaciones del fabricante de este equipo multímetro de referencia se pueden visualizar en el anexo. Sin embargo, este equipo multímetro patrón no es una fuente de calibración, por tanto fue necesario la realización de una fuente de precisión que supliera los puntos de mediciones bajo estudio y transferirle los datos del equipo patrón que en realidad entrega la fuente, en dicha fuente calibrador se realizaron calibraciones para las magnitudes de tensión directa, intensidad de corriente directa y resistencia eléctrica.



*Figura 5. Multímetro referencia fluke 8085A.*

Se diseñó y contruyó una fuente de precisión (calibrador), y se transfirió los valores por comparación directa con el equipo patrón, para cada uno de los puntos de medición definidos anteriormente. para este proceso se acondicionó el laboratorio a una temperatura de  $23 \pm 5$  °C durante aproximadamente una hora, luego se procedió a realizar diez mediciones bajo condiciones de repetibilidad en cada punto del calibrador tomando la estimación como la media aritmética de dichas mediciones. En la figura 6 se puede apreciar la fuente de precisión o calibrador.



*Figura 6. Fuente de precisión o calibrador.*

En la figura 7 se muestra un esquema donde se visualiza el sistema de trazabilidad del procedimiento que se llevó a cabo para la calibración de la muestra de los equipos de medición en el laboratorio de ingeniería eléctrica. Este procedimiento, como se mencionó anteriormente, se basa en la comparación de los instrumentos bajo calibración con el equipo patrón que es el equipo más alto en la jerarquía de trazabilidad, ya que cuenta con un certificado de calibración realizado por un laboratorio acreditado internacionalmente. En equipo se toma en cuenta la incertidumbre por certificado, la incertidumbre por especificaciones del fabricante y la incertidumbre por resolución del equipo. Posteriormente está la fuente calibrador, esta nos agrega una incertidumbre por estabilidad de la medida. Y finalmente se tiene

los equipos bajo calibración, estos nos agregan una incertidumbre por repetibilidad de medida y la incertidumbre por resolución del equipo.

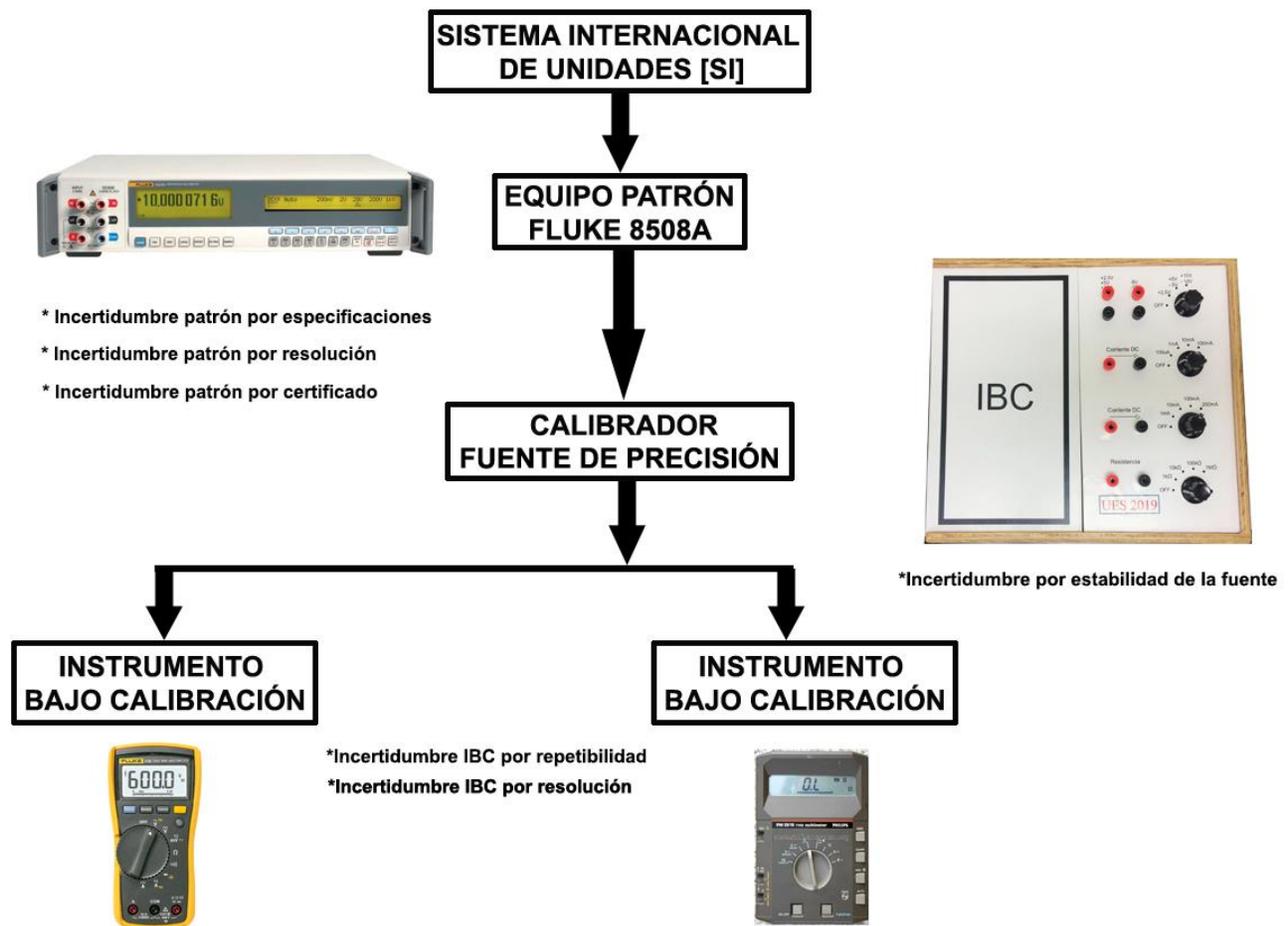


Figura 7. Sistema de trazabilidad en el procedimiento.

### 3.1 CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN EQUIPOS DE MEDICIÓN EN DC Y BAJA FRECUENCIA

Para poder entender el procedimiento que lleva a la estimación de la incertidumbre de medida, se realiza el análisis matemático basado en el multímetro digital fluke 115, seleccionado de la muestra de equipos de medición del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador. En el caso de tomar el mensurando como la tensión directa V DC en el punto de referencia de cinco punto cero voltios, se obtienen los siguientes valores bajo repetibilidad de cinco mediciones en dicho punto de medición, como se muestra a continuación. Las especificaciones del fabricante para el equipo fluke modelo 115 se puede apreciar en anexos.

Multímetro fluke 115

Nº inventario: 12050-2606-823-0163

Valores de mediciones obtenidas

N	Tensión medida
1	4.996 V
2	4.996 V
3	4.997 V
4	4.997 V
5	4.996 V
<b>PROM</b>	<b>4.9964 V</b>

Especificaciones de fabricante sobre nuestro IBC

Escala: 6.000 V

Resolución: 0.001 v

Exactitud:  $\pm [0.5 \% \text{ de lectura} + 2 \text{ (cuentas)}]$

Especificaciones del fabricante de patrón fluke 8508A

Rango: 20 V

Exactitud:  $\pm [3.5 \text{ PPM de lectura} + 0.2 \text{ PPM del rango}]$

➤ Incertidumbre por repetibilidad o incertidumbre tipo A

$n = 5$

$$S(V) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n - 1}}$$

$$S(V) = \sqrt{\frac{(4.996 \text{ V} - 4.9964)^2 + (4.996 \text{ V} - 4.9964)^2 + (4.997 - 4.9964)^2 + (4.997 - 4.9964)^2 + (4.996 \text{ V} - 4.9964)^2}{5 - 1}}$$

$$S(V) = 0.00054772 \text{ V}$$

$$u_a(\bar{V}) = S(\bar{V}) = \frac{S(V)}{\sqrt{n}} = \frac{0.00054772 \text{ V}}{\sqrt{5}} = 0.00024495 \text{ V}$$

La incertidumbre tipo A corresponde a un grado de libertad  $\nu_1 = n - 1 = 4$

➤ Incertidumbre por repetibilidad o incertidumbre tipo A para la fuente calibrador debida a estabilidad.

N	Tensión medida
1	4.999828
2	4.999827
3	4.999825
4	4.999826
5	4.999828

Calculando la varianza de la media

$$S(\bar{V}_f) = 0.00000156 \text{ V}$$

$$u_f(\bar{V}_f) = \frac{S(\bar{V}_f)}{\sqrt{n}} = 0.00000049 \text{ V}$$

6	4.999827
7	4.999829
8	4.999829
9	4.999830
10	4.999829
PROM	4.999828

### Incertidumbres tipo B

- Incertidumbre por certificado de calibración patrón

U certificado = 0.000002 V

Nivel de confianza 95%

Factor de cobertura k = 2.0

$$u_{cp}(\delta V) = \frac{U}{k} = \frac{0.000002 V}{2} = 0.000001 V$$

- Incertidumbre por resolución del IBC

$$u_r(\delta V) = \frac{\text{Resolución}}{2\sqrt{3}} = \frac{0.001 V}{2\sqrt{3}} = 0.000288675 V$$

La incertidumbre tipo B corresponde a un grado de libertad dada por la siguiente ecuación

$$\nu_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(u_i)}{u(u_i)} \right]^{-2}$$

$\frac{\Delta u(u_i)}{u(u_i)}$ : Es el nivel de inseguridad expresada en forma relativa

$$\nu_2 = \frac{1}{2} [0.05]^{-2}$$

$$\nu_2 = 200$$

➤ Incertidumbre especificación patrón

Rango: 20 V Nivel de confianza: 95%

Exactitud: [3.5 PPM de lectura + 0.2 PPM del rango]

$$\bar{V} = 4.9964 V$$

$$\text{Exactitud} = \pm \left[ \left( \frac{3.5}{1000000} \right) * 4.9964 V + \left( \frac{0.2}{1000000} \right) * 20V \right] = \pm 0.00002149 V$$

$$u_{ep}(\delta V_r) = \frac{0.00002149 V}{2} = 0.00001074 V$$

Al igual que la incertidumbre por resolución los grados de libertad para la incertidumbre patrón vendrá dada por:

$$\gamma_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(u_i)}{u(u_i)} \right]^{-2}$$

$\frac{\Delta u(u_i)}{u(u_i)}$ : Es el nivel de inseguridad expresada en forma relativa

$$\gamma_3 = \frac{1}{2} [0.05]^{-2}$$

$$\gamma_3 = 200$$

Incertidumbre expandida

$$u_c(V) = \sqrt{u_a^2(\bar{V}) + u_f^2(\bar{V}_f) + u_{cp}^2(\delta V) + u_r^2(\delta V) + u_{ep}^2(\delta V_r)}$$

$$u_c(V) = \sqrt{(0.00024495 V)^2 + (0.00000049 V)^2 + (0.000001 V)^2 + (0.000288675 V)^2 + (0.00001074 V)^2}$$

$$u_c(V) = 0.00037875 V$$

Grados efectivos de libertad

$$V_{eff} = \frac{u_c(V)^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(c_i * u_i)^4}{v_i}}$$

$$V_{eff} = \frac{(0.00037875 V)^4}{\frac{(0.00024495 V)^4}{4} + \frac{(0.00000049 V)^4}{200} + \frac{(0.000001 V)^4}{200} + \frac{(0.000288675 V)^4}{200} + \frac{(0.00001241 V)^4}{200}}$$

$$V_{eff} = 22.015$$

Calculando el coeficiente de cobertura k

Para calcular el coeficiente de cobertura es necesario el uso de la tabla t student, en la cual se busca su valor k correspondiente, basado en los grados de libertad obtenidos en el procedimiento de estimación de la incertidumbre de medida y su nivel de confianza, en este caso de estudio 95%.

Grados de libertad	NIVEL DE CONFIANZA Y SU RESPECTIVO FACTOR DE COBERTURA k														
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.6%	99.8%	99.9%
1	0.158	0.325	0.51	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.09	22.33	31.6
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.130	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.127	0.257	0.392	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.127	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.127	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.127	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.127	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.127	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.127	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646

Tabla de t de Student con factores de cobertura k a un nivel de confianza de 95% y diferentes grados de libertad

De la tabla t student para  $V_{eff} = 22$  y un nivel de confianza de 95% el coeficiente de cobertura será  $k = 2.074$

Por tanto la incertidumbre expandida vendrá dada por:

$$U = k * u_c$$
$$U = 2.074 * 0.00037875 V$$
$$U = 0.000785 V$$

La expresión correspondiente de nuestro mensurando será:

$$V = \bar{V} \pm U$$
$$V = 4.996 \pm 0.001 V$$

¿La medición realizada cumple con las especificaciones del fabricante para el equipo de medición utilizado?

Para poder responder a esta pregunta es necesario utilizar los criterios de aceptación, el primero de estos es la prueba de relación de incertidumbre TUR, que no es más que la relación de la exactitud del instrumento y la incertidumbre expandida, donde se toma en cuenta todos los factores de la medición. El segundo criterio es verificar que la medición realizada se encuentre dentro de los límites de tolerancia del equipo bajo calibración.

Se ha establecido el criterio 4:1 para estar acorde a la normativa.

De las especificaciones del fabricante del instrumento bajo prueba se tiene que:

Exactitud:  $\pm [0.5 \% \text{ de lectura} + 2 \text{ (cuentas)}]$

$$\text{Exactitud} = \pm \left[ \left( \frac{0.5}{100} \right) * 4.9964 V + (2) * 0.001V \right] = \pm 0.026982 V$$

$$TUR = \frac{\text{Tolerancia } ibc}{\text{incertidumbre expandida}} = \frac{0.026982 V}{0.00037875 V} = 34.37$$

Por tanto, cumple el primer criterio ya que la relación es mayor que la relación 4:1 establecido.

Para demostrar el siguiente criterio se calcula los límites de tolerancia del IBC y los límites de la incertidumbre de medición.

$$\text{limite superior de tolerancia} = \text{valor verdadero} + \text{tolerancia}$$

$$\text{limite superior de tolerancia} = 4.999828 \text{ V} + 0.026982 \text{ V} = 5.02681 \text{ V} \approx 5.027 \text{ V}$$

$$\text{limite inferior de tolerancia} = \text{valor verdadero} - \text{tolerancia}$$

$$\text{limite inferior de tolerancia} = 4.999828 \text{ V} - 0.026982 \text{ V} = 4.972846 \text{ V} \approx 4.973 \text{ V}$$

$$\text{limite superior de incertidumbre} = \text{valor medido} + \text{incertidumbre expandida}$$

$$\text{limite superior de incertidumbre} = 4.9964 \text{ V} + 0.000785 \text{ V} = 4.997185 \text{ V} \approx 4.9972 \text{ V}$$

$$\text{limite inferior de incertidumbre} = \text{valor medido} - \text{incertidumbre expandida}$$

$$\text{limite inferior de incertidumbre} = 4.9964 \text{ V} - 0.000785 \text{ V} = 4.995615 \text{ V} \approx 4.9956 \text{ V}$$

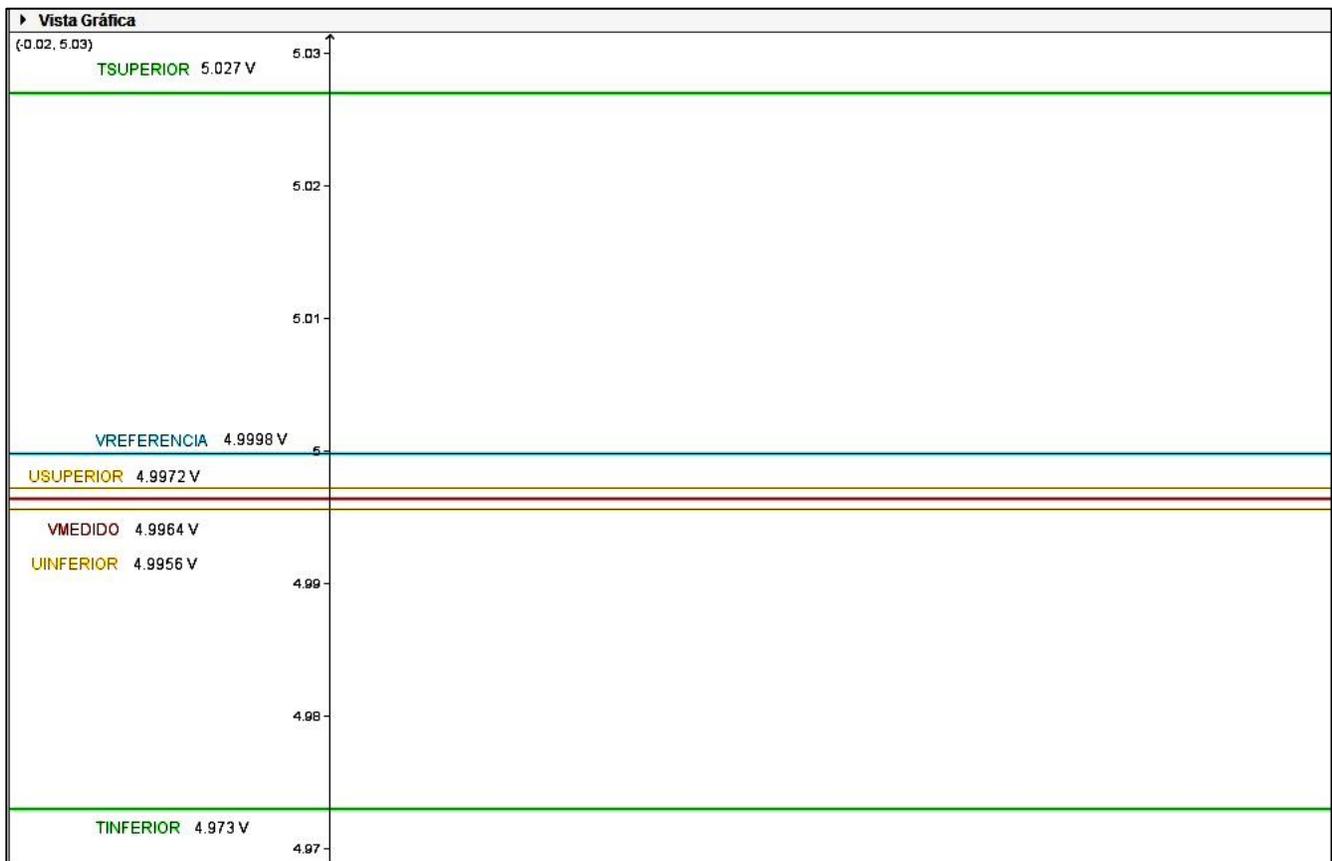


Figura 8. Vista gráfica de los límites de medición.

En la figura 8 se puede observar que la incertidumbre expandida se encuentra dentro de los límites que establece el fabricante para el equipo fluke 115 en el punto de medición analizado.

## PERFIL DE CALIBRACIÓN

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario:	12050-2606-823-0163
Equipo:	MULTÍMETRO
Marca:	FLUKE
Modelo:	115
N° de serie:	12850472
Fabricante y lugar de origen:	FLUKE CORPORATION / USA

### EQUIPO PATRÓN

Equipo:	MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC
Módulo:	8508A / 189
Resolución:	7 1/2, 4 1/2

### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

### ANALISTA

Nombre:	EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN	
Fecha calibración/ Hora:	13/12/2019	10:20:00 a.m.

### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura:	23 ± 5° C
Humedad relativa:	55%

### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-9.990	1.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.996	3.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.499	1.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.996	3.4E-03	0.0008	V	2.07	PASA
+10 V	60.00	9.999347	9.992	7.3E-03	0.0071	V	2.03	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	2.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.200	6.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.003	7.1E-04	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.8E-03	0.0071	kΩ	2.03	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	99.80	2.3E-01	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.9792	2.0E-02	0.0007	MΩ	2.03	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.01526	5.014	1.1E-03	0.0686	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.0618	10.04	2.2E-02	0.0939	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.8552	49.80	5.5E-02	0.2831	V	1.97	PASA
120 V AC	600.0	120.562	120.3	2.6E-01	1.0506	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
2	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
3	-9.99	-4.996	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
4	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
5	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.003	10.00	99.8	0.979
2	1.003	10.00	99.8	0.979
3	1.003	10.00	99.8	0.980
4	1.003	9.99	99.8	0.979
5	1.003	10.00	99.8	0.979

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10V		~50V		~120V	
1	5.0074	5.014	10.028	10.01	49.926	49.89	119.93	119.7
2	5.0162	5.016	10.047	10.02	49.815	49.70	120.79	120.5
3	5.0286	5.020	10.082	10.06	49.790	49.80	120.73	120.5
4	5.0143	5.016	10.080	10.06	49.969	49.88	120.65	120.4
5	5.0098	5.005	10.072	10.05	49.776	49.73	120.71	120.4

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura  $k$  según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
K: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa

#### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El cálculo de la estimación de la incertidumbre de medida, tal como se muestra en el capítulo 3.1, se repite para cada uno de los puntos de medición establecidos en el capítulo 2.5.3, y finalmente se emite el respectivo perfil de calibración con los resultados obtenidos. El estudio se basa en una muestra de equipos de medición utilizados en los laboratorios de la EIE. Esta muestra se clasificó en equipos no funcionales y funcionales, como se muestra a continuación.

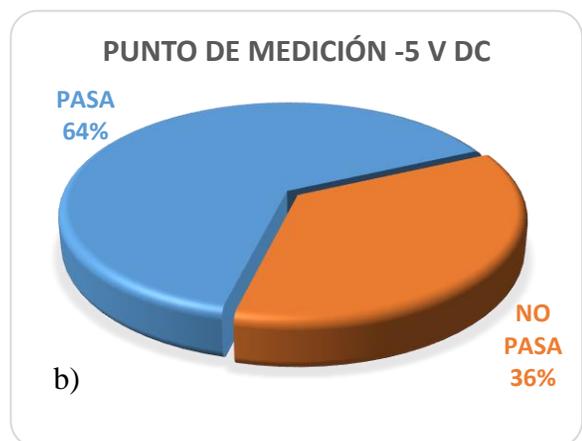
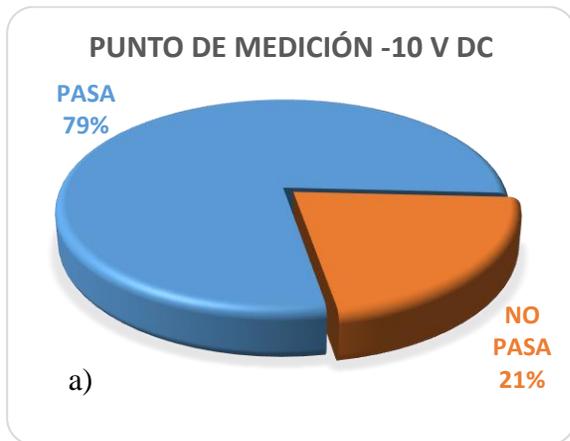
N°	# Inventario	Funcionales	No funcionales	Sin especificaciones del fabricante
1	12050-2606-823-0062	✓		
2	12050-2606-823-0072	✓		
3	12050-2606-823-0076	✓		
4	12050-2606-823-0080	✓		
5	12050-2606-823-0084	✓		
6	12050-2606-823-0093	✓		
7	12050-2606-823-0094		✓	
8	12050-2606-823-0095	✓		
9	12050-2606-615-0003	✓		
10	12050-2606-615-0004	✓		
11	12050-2606-823-0140		✓	
12	12050-2606-823-0142	✓		
13	12050-2606-823-0163	✓		
14	12050-2606-823-0164	✓		
15	12050-2606-823-0165	✓		
16	12050-2606-823-0166	✓		
17	12050-2606-823-0118	✓		✓
18	12050-2606-823-0119	✓		✓
19	12050-2606-823-0120	✓		✓
20	12050-2606-823-0121	✓		✓
21	12050-2606-823-0122	✓		✓
22	12050-2606-823-0123	✓		✓
23	12050-2606-823-0124	✓		✓
24	12050-2606-823-0125	✓		✓
25	12050-2606-823-0128		✓	✓
26	12050-2606-823-0129	✓		✓
27				
28				
29				
30				

Una vez identificado los equipos de medición funcionales se procedió a realizar su respectiva calibración a cada uno de ellos, obteniendo los resultados generales de cada punto de medida realizada, donde se verifica si su incertidumbre está dentro de la exactitud que establece el fabricante, establecido como “PASA” o de lo contrario “NO PASA”.

Como se expresó en el capítulo 3.1, se establecen dos criterios: la prueba de relación de incertidumbre TUR y la verificación de los límites establecidos del fabricante. El primer criterio dependerá muchas veces de la calidad y la fiabilidad en el uso del equipo de medición, o las especificaciones que el cliente establece. En el presente informe se establece con forme a la normativa ANSI/NCSL Z540.6-2006, donde se recomienda una relación  $TUR \geq 4$ . El segundo criterio y más importante nos establecerá que nuestro equipo de medición cumple las especificaciones del fabricante, siendo este óptimo o fiable para el uso del equipo de medición. [3]

A continuación, se presenta de manera general los gráficos de cada uno de los puntos de medición de la muestra de equipos funcionales que cumplen con las especificaciones del fabricante.

Con base en la muestra de catorce equipos funcionales y calibrados, se presentan las gráficas generales de los puntos de medida de tensión directa expresadas en porcentaje, de equipos de medición que cumplen las especificaciones “PASA” y “NO PASA”.



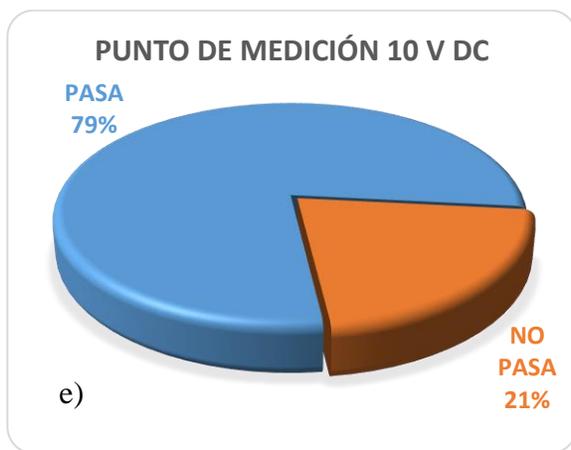
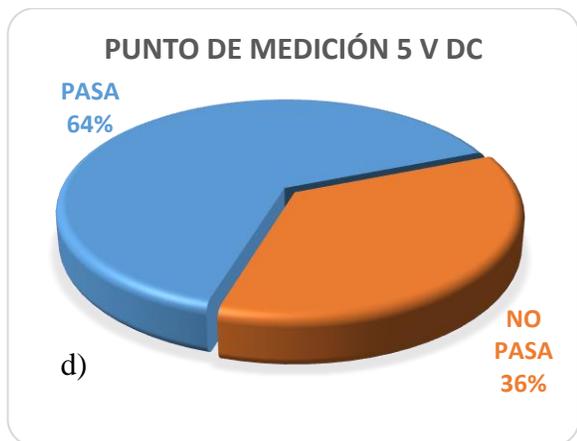
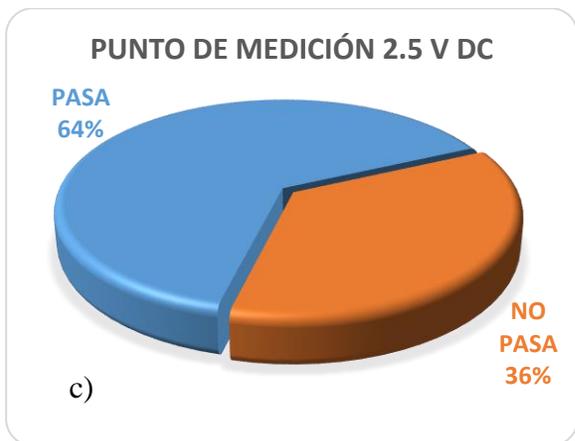


Figura 9. Vista gráfica de los puntos de medición de tensión directa: a) -10 V DC, b) -5 V DC, c) 2.5 V DC, d) 5 V DC y e) 10 V DC.

Con base en la muestra de catorce equipos funcionales y calibrados, se presentan las gráficas generales de los puntos de medida de corriente directa expresadas en porcentaje, de equipos de medición que cumplen las especificaciones “PASA” y “NO PASA”.

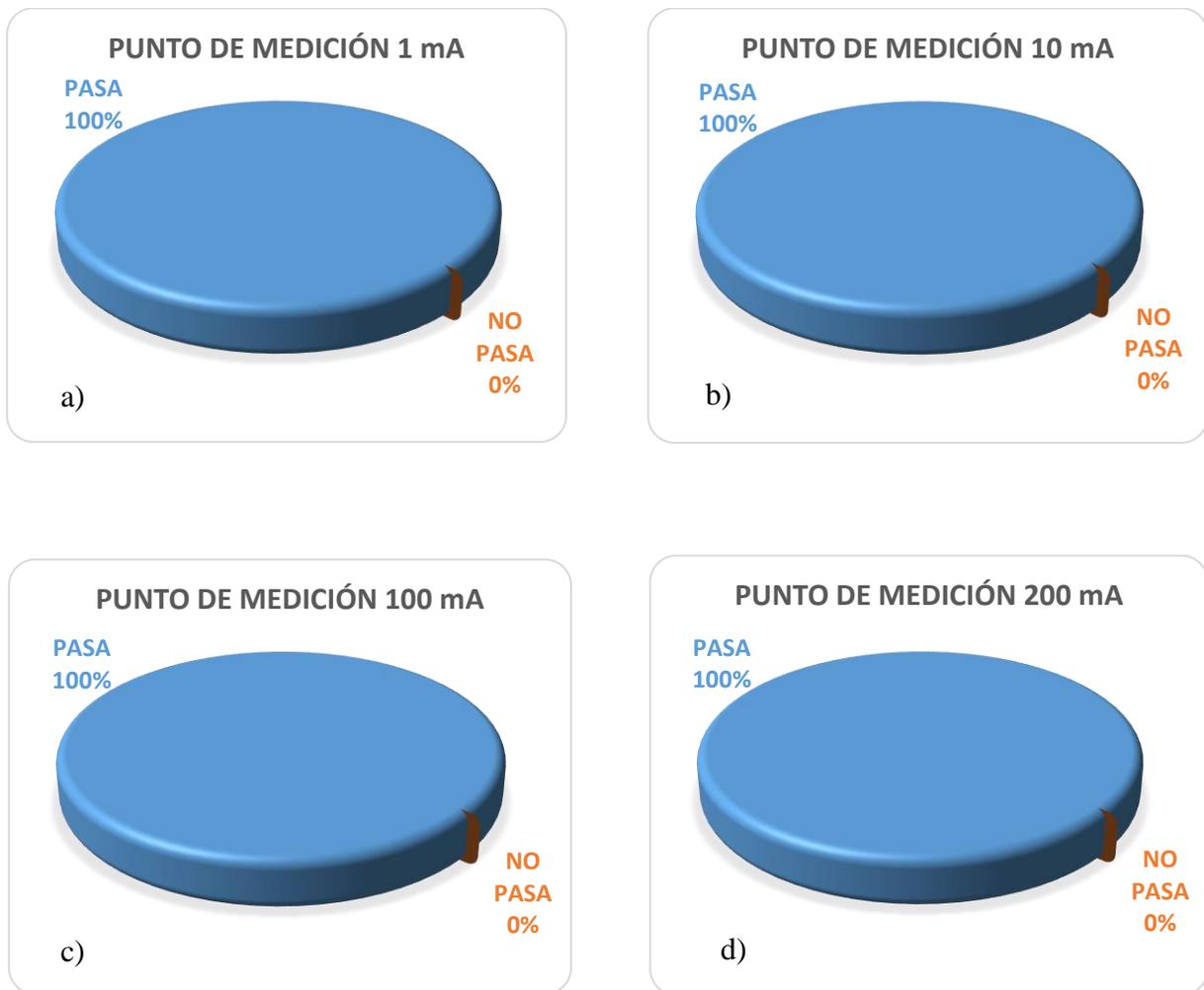


Figura 10. Vista gráfica de los puntos de medición de corriente directa: a) 1 mA DC, b) 10 mA DC, c) 100 mA DC y d) 200 mA DC.

Con base en la muestra de catorce equipos funcionales y calibrados, se presentan las gráficas generales de los puntos de medida de resistencias expresadas en porcentaje, de equipos de medición que cumplen las especificaciones “PASA” y “NO PASA”.

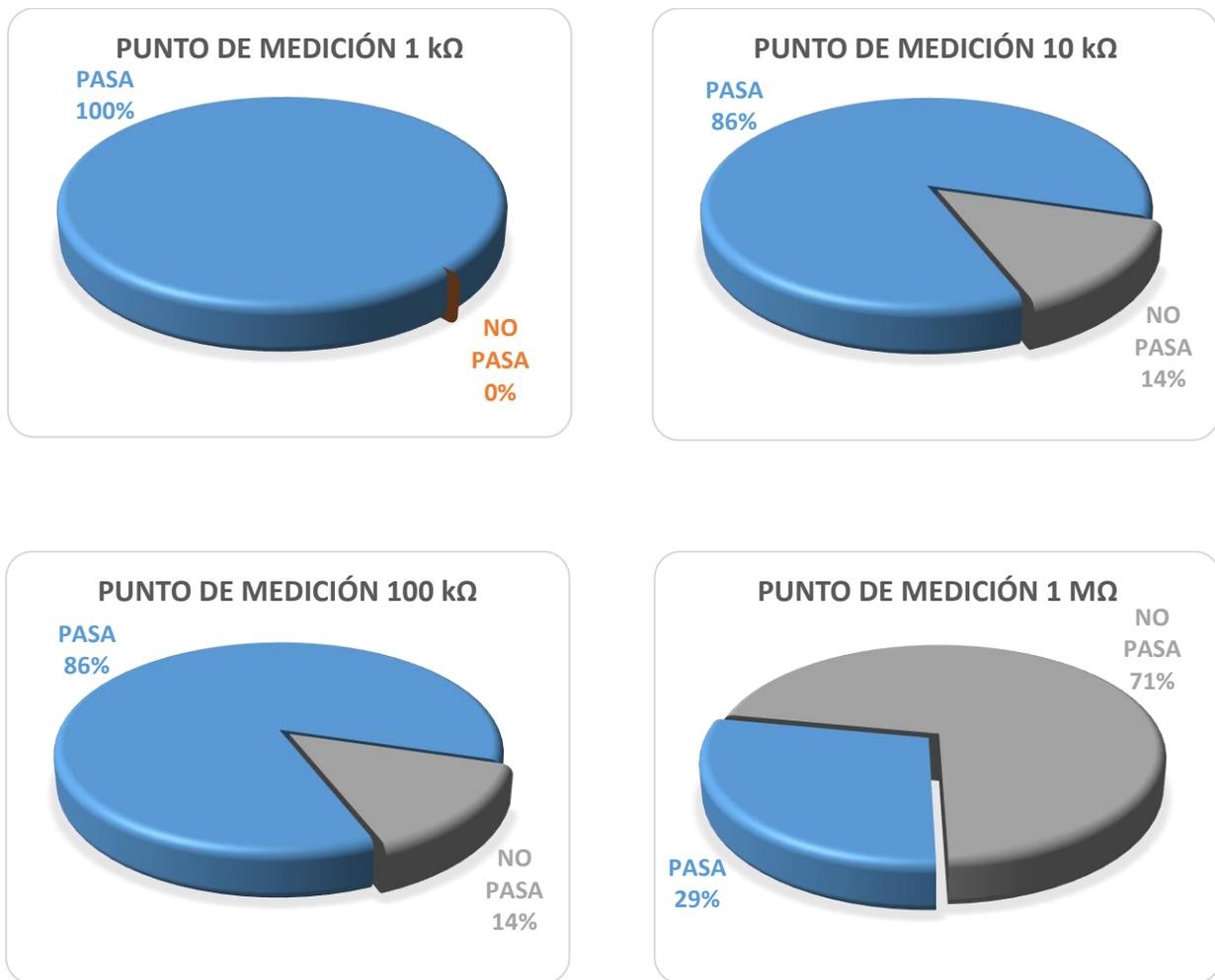


Figura 11. Vista gráfica de los puntos de medición de resistencia: a) 1 kΩ, b) 10 kΩ, c) 100 kΩ y d) 1 MΩ.

Con base en la muestra de catorce equipos funcionales y calibrados, se presentan las gráficas generales de los puntos de medida de tensión alterna expresadas en porcentaje, de equipos de medición que cumplen las especificaciones “PASA” y “NO PASA”.

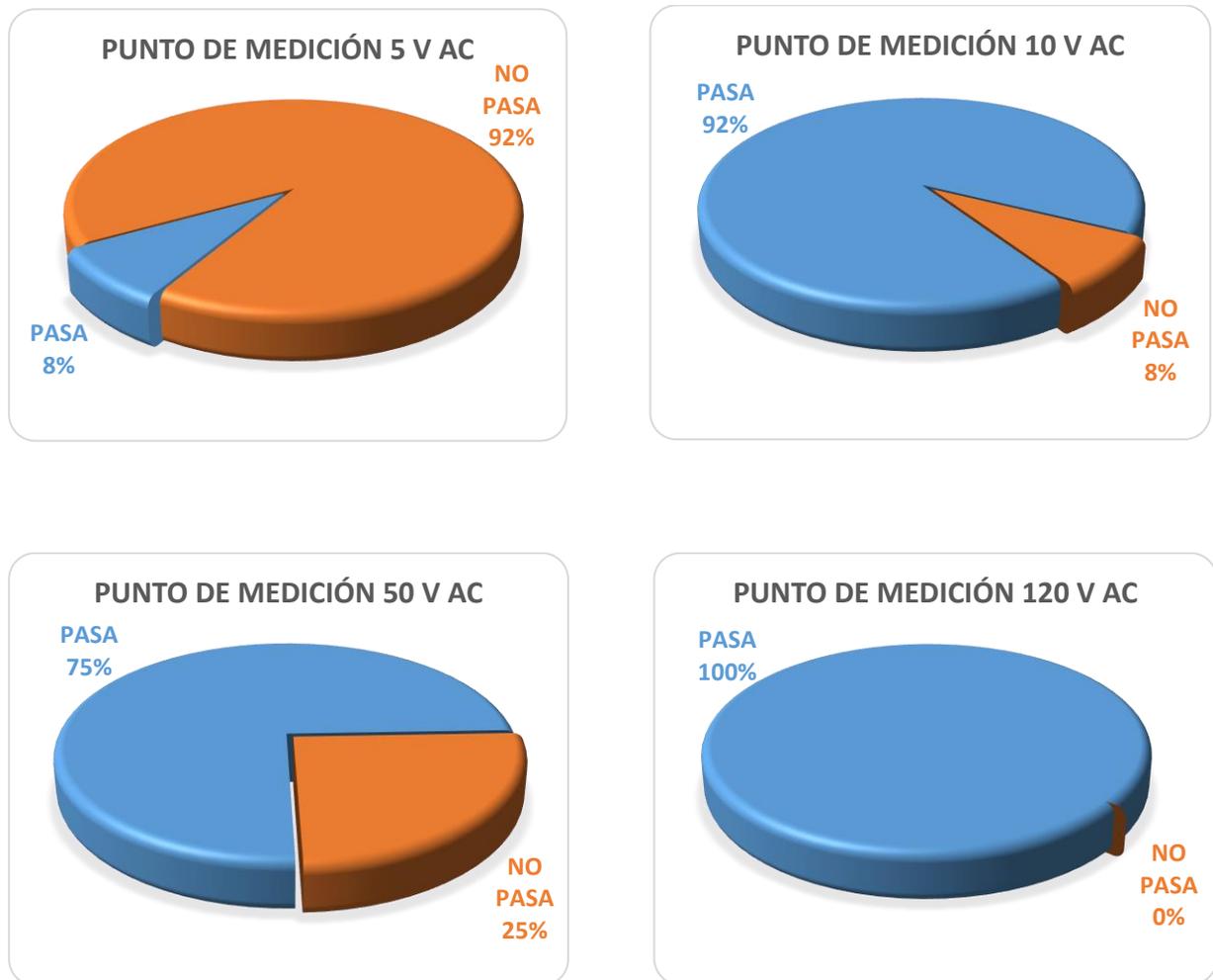


Figura 12. Vista gráfica de los puntos de medición de tensión AC: a) 5 V AC, b) 10 V AC, c) 50 V AC y d) 120 V AC.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Después de realizar la investigación del trabajo de graduación “Intercomparación de instrumentos de laboratorio en DC y baja frecuencia”, se concluye lo siguiente:

- Los requerimientos bajo los cuales se realizó el procedimiento de calibración a los instrumentos de medición, son los mínimos necesarios para realizar una prueba en un laboratorio, con base a la norma ISO/IEC-17025, “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, además de la normativa ISA-TR52.00.01-2006, “Recommended Environments for Standards Laboratories” ISA, North Carolina, 2006, la cual especifica características ambientales para la estandarización de laboratorios de mediciones o calibración.
- Los instrumentos de medición deben ser calibrados periódicamente por laboratorios certificados y en la medida de lo posible, en la misma región o país, con el fin de asegurar la calidad y confiabilidad en las mediciones para los cuales están destinados a utilizarse, en este caso, bajo las condiciones de uso del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- Con base a los resultados obtenidos en el estudio de especificaciones de exactitud del fabricante y en el respectivo cálculo de incertidumbre realizado a los instrumentos de medición (multímetros), objeto de este trabajo, se verifica que, existe un porcentaje significativo de instrumentos que no cumplen con las especificaciones de exactitud dadas por el fabricante.
- Los puntos de medición y las magnitudes en las cuales se evidencia un incumplimiento de las especificaciones de exactitud del fabricante son:  
Tensión dc: -10 V, -5 V, 2.5 V, 5 V y 10 V; resistencia: 10 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  y mayormente en 1 M $\Omega$ ; tensión ac: 5 V, 10 V y 50 V.
- La magnitud y respectivos puntos de medición del grupo de instrumentos a los cuales se le realizó el estudio que cumple en su totalidad con las especificaciones de exactitud del fabricante, es en la magnitud de intensidad de corriente dc, y los puntos de medición de: 1 mA, 10 mA, 100 mA y 200 mA.

- Una de las limitantes o inconformidad que existe en el proceso de calibración realizado a los instrumentos de medición, es que el multímetro de referencia utilizado como patrón, no posee un certificado reciente, ya que la última calibración realizada, en base a su respectivo certificado fue en el mes de septiembre del año 2008.
- Cierta grupo de instrumentos, específicamente los multímetros de la marca K-Night, que aún están en operación en el laboratorio, no fue posible realizar el proceso de calibración, debido a que no existe un manual técnico, ni físico ni digital, para verificar las especificaciones de exactitud del fabricante y así poder realizar el respectivo cálculo de incertidumbre.
- Se evidencia que existe la necesidad de realizar un programa de calibración no únicamente para el lote de instrumentos de medición incluidos en este trabajo de graduación, sino a los demás instrumentos y equipos de medición utilizados en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.
- A pesar que la metrología es base fundamental en el área de ingeniería y específicamente la metrología eléctrica, como Escuela de Ingeniería Eléctrica podemos evidenciar que no existe un laboratorio debidamente adecuado y equipado para la realización de las prácticas de los estudiantes. Esto se debe a los escasos recursos económicos existentes, lo que conlleva a una falta de recurso humano especializado en tan importante área, y que como Ingenieros desconocemos significativamente.
- Es de gran importancia, que, en el proceso de calibración de cualquier equipo o instrumento de medición, es inevitable cometer errores, sin embargo, es imprescindible que exista reflexión crítica, honradez intelectual y competencia profesional, de quien realiza dicho proceso, logrando así, resultados confiables y de calidad, en la obtención del valor del mensurando, lo más cercano posible al valor verdadero de las mediciones realizadas en el proceso de calibración.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Establecer un protocolo en la identificación de equipos de medición que requieran un ajuste y recalibración. Además, tomar una decisión con los equipos no funcionales, para continuar utilizándolos o retirarlos del laboratorio.
  
- ✓ Gestionar la adquisición de equipo especializado de medición para calibraciones, específicamente, un equipo calibrador o fuente en corriente alterna, variable en tensión y frecuencia para acompañar al calibrador de corriente directa y establecer una mejor fiabilidad en la calibración de equipos de medición. Y además, mejorar la fuente calibradora de este trabajo de graduación o si fuese posible adquirir un equipo especializado para calibraciones en corriente directa.
  
- ✓ Realizar un procedimiento de calibración periódica o verificación del estado actual de las especificaciones del fabricante para la totalidad de instrumentos utilizados en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, incluidos los multímetros objeto de este trabajo de graduación, para tener una referencia de comparación con los resultados obtenidos en esta investigación.
  
- ✓ Dar continuidad y esfuerzo en la mejora del laboratorio de calibración de equipos de medición en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, para formar profesionales con los conocimientos teórico-prácticos en metrología eléctrica necesarios para realizar procedimientos y verificación de la confiabilidad de los equipos de medición eléctrica bajo el cumplimiento de normas o estándares establecidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025-2005, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [2] C. E. d. Metrología, Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, Madrid: Centro Español de Metrología, 2012.
- [3] ANSI/NCSL Z540.3-2006 American National Standard for Calibration. Requirements for the Calibration of Measuring and Test Equipment.
- [4] ISA-TR52.00.01-2006, Recommended Environments for Standards Laboratories, ISA, North Carolina, 2006.
- [5] Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM), EDICIÓN DIGITAL 1 en español (traducción 1ª Ed. Sept. 2008) Primera edición septiembre 2008 (original en inglés) Centro Español de Metrología.
- [6] Springer Handbook of Metrology and Testing, 2a edición.
- [7] Seminar Applying Measurement Uncertainty To Digital Multimeter Calibration. Basics Of Measurement Uncertainty for DMM Calibration. FLUKE 2011.
- [8] Traducción de “Metrology - in short ” 3ª edición, Julio 2008, 2ª edición en español.

## ANEXOS

### Anexo A:

- I. Especificaciones técnicas de fabricante fluke 115
- II. Especificaciones técnicas de fabricante multímetro de referencia fluke 8508 A

### Anexo B:

- I. Perfiles de calibración de la muestra de equipos de medición del laboratorio EIE UES

# Fluke 115 Multimeter

## Technical Data



### Compact true-rms meter for field service technicians

The Fluke 115 is the solution for a wide variety of electrical and electronic testing applications. This true-rms meter provides easy one-handed operation in a compact package.

#### Features include:

- Resistance, continuity, frequency, capacitance, and diode test
- Measures 10 A (20 A overload for 30 seconds)
- Large white LED backlight to work in poorly lit areas
- Compact ergonomic design for one-handed operation
- Compatible with optional magnetic hanger (ToolPak™)
- True-rms for accurate measurements on non-linear loads
- Min/Max/Average with elapsed time to record signal fluctuations
- CAT III 600 V safety rated

#### General specifications

Accuracy is specified for 1 year after calibration, at operating temperatures of 18 °C to 28 °C, with relative humidity at 0 % to 90 %.

The accuracy specifications take the form of:  
± [ [ % of reading ] + [ counts ] ]

Maximum voltage between any terminal and earth ground	600 V
Surge protection	6 kV peak per IEC 61010-1 600 V CAT III, Pollution Degree 2
Fuse for A input	11 A, 1000 V FAST Fuse (Fluke PN 803293)
Display	Digital: 6,000 counts, updates 4/sec
Bar graph	33 segments, updates 32/sec
Operating temperature	-10 °C to + 50 °C
Storage temperature	-40 °C to + 60 °C
Battery	9 volt Alkaline, NEDA 1604A/IEC 6LR61
Battery life	400 hours typical, without backlight

Actual size



## Accuracy specifications

Measurement	Range	Resolution	Accuracy ± ([% of reading] + [counts])
DC millivolts	600.0 mV	0.1 mV	0.5 % + 2
DC volts	6.000 V	0.001 V	0.5 % + 2
	60.00 V	0.01 V	
	600.0 V	0.1 V	
Auto volts	600.0 V	0.1 V	2.0 % + 3 (dc, 45 Hz to 500 Hz) 4.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)
AC millivolts <sup>1</sup> true-rms	600.0 mV	0.1 mV	1.0 % + 3 (dc, 45 Hz to 500 Hz) 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)
AC volts <sup>1</sup> true-rms	6.000 V	0.001 V	1.0 % + 3 (45 Hz to 500 Hz) 2.0 % + 3 (500 Hz to 1 kHz)
	60.00 V	0.01 V	
	600.0 V	0.1 V	
Continuity	600 Ω	1 Ω	Beeper on < 20 off > 250 ; detects opens or shorts of 500 μs or longer.
Ohms	600.0 Ω	0.1 Ω	0.9 % + 2
	6.000 kΩ	0.001 kΩ	
	60.00 kΩ	0.01 kΩ	
	600.0 kΩ	0.1 kΩ	
	6.000 MΩ	0.001 MΩ	
	40.00 MΩ	0.01 MΩ	
Diode test	2.000 V	0.001 V	0.9 % + 2
Capacitance	1000 nF	1 nF	1.9 % + 2
	10.00 μF	0.01 μF	
	100.0 μF	0.1 μF	
	9999 μF	1 μF	
	100 μF to 1000 μF		
	> 1000 μF		
Lo-Z capacitance	1 nF to 500 μF		10 % + 2 typical
AC amps true-rms (45 Hz to 500 Hz)	6.000 A	0.001 A	1.5 % + 3
	10.00 A	0.01 A	
	20 A overload for 30 seconds max.		
DC amps	6.000 A	0.001 A	1.0 % + 3
	10.00 A	0.01 A	
	20 A overload for 30 seconds max.		
Hz (V or A input) <sup>2</sup>	99.99 Hz	0.01 Hz	0.1 % + 2
	999.9 Hz	0.1 Hz	
	9.999 kHz	0.001 kHz	
	50.00 kHz	0.01 kHz	

**Notes:**

<sup>1</sup> All ac voltage ranges are specified from 1 % to 100 % of range. Because inputs below 1 % of range are not specified, it is normal for this and other true-rms meters to display non-zero readings when the test leads are disconnected from a circuit or are shorted together. For volts, crest factor of ≤ 3 at 4000 counts, decreasing linearly to 1.5 at full scale. AC volts is ac coupled and ac mV is dc coupled.

<sup>2</sup> Frequency is ac coupled, 5 Hz to 50 kHz for ac voltage. Frequency is dc coupled, 45 Hz to 5 kHz for ac current.

### Ordering information

**Fluke-115 Multimeter**

**Included**

TL75 Test leads, holster, User's manual and 9 V battery (installed).



**Fluke. Keeping your world up and running.™**

**Fluke Corporation**  
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

**Fluke Europe B.V.**  
PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, The Netherlands

**For more information call:**  
In the U.S.A. (800) 443-5853 or  
Fax (425) 446-5116  
In Europe/M-East/Africa (31 40) 2 675 200 or  
Fax (31 40) 2 675 222  
In Canada (800)-36-FLUKE or  
Fax (905) 890-6866  
From other countries +1 (425) 446-5500 or  
Fax +1 (425) 446-5116  
Web access: <http://www.fluke.com>

©2006-2009 Fluke Corporation.  
Specifications subject to change without notice.  
Printed in U.S.A. 2/2009 2634043 D-EN-N Rev C

Modification of this document is not permitted without written permission from Fluke Corporation.

AII. Especificaciones técnicas de fabricante multímetro de referencia fluke 8508 A

**Electrical Measurement Specifications**

Note

Fluke guarantees 8508A performance verification using specifications stated to 99 % confidence level.

**DC Voltage**

**DC Voltage** <sup>[1] [2] [3]</sup>

Range	Full Scale <sup>[1][2]</sup>	Uncertainty Relative to Cal Stds			Absolute Uncertainties	
		± (ppm Reading + ppm Range) <sup>[4]</sup>				
		24 hour TCal ±1 °C	90 day TCal ±1 °C	365 day TCal ±1 °C	365 day TCal ±1 °C	365 day TCal ±5 °C
<b>95 % Confidence Level</b>						
200 mV	199.990 000	0.7 + 0.5	1.4 + 0.5	2.7 + 0.5	4.5 + 0.5	5.0 + 0.5
2 V	1.999 900 00	0.5 + 0.2	1.4 + 0.2	2.7 + 0.2	3.0 + 0.2	3.5 + 0.2
20 V	19.999 000 0	0.5 + 0.2	1.4 + 0.2	2.7 + 0.2	3.0 + 0.2	3.5 + 0.2
200 V	199.990 000	1.0 + 0.2	2.6 + 0.2	4.0 + 0.2	4.5 + 0.2	5.5 + 0.2
1000 V	1050.000 00	1.0 + 0.5	2.6 + 0.5	4.0 + 0.5	4.5 + 0.5	5.5 + 0.5
<b>99 % Confidence Level</b>						
200 mV	199.990 000	0.8 + 0.6	2.0 + 0.6	3.5 + 0.6	6.0 + 0.6	6.5 + 0.6
2 V	1.999 900 00	0.6 + 0.25	1.8 + 0.25	3.5 + 0.25	4.0 + 0.25	4.5 + 0.25
20 V	19.999 000 0	0.6 + 0.25	1.8 + 0.25	3.5 + 0.25	4.0 + 0.25	4.5 + 0.25
200 V	199.990 000	1.2 + 0.25	3.5 + 0.25	5.2 + 0.25	6.0 + 0.25	7.0 + 0.25
1000 V	1050.000 00	1.2 + 0.6	3.5 + 0.6	5.2 + 0.6	6.0 + 0.6	7.0 + 0.6

**DC Voltage (Secondary Specifications)** <sup>[1] [2] [3]</sup>

Range	Transfer Uncertainty 20 mins ±1 °C ± (ppm Reading+ ppm Range)	Temperature Coefficient		
		15 °C - 30 °C	5 °C - 15 °C 30 °C - 40 °C	5 °C - 40 °C <sup>[10]</sup>
		± ppm Reading/°C		± V/°C
200 mV	0.4 + 0.3	0.4	0.6	100 n
2 V	0.12 + 0.1	0.3	0.5	200 n
20 V	0.12 + 0.1	0.3	0.5	1 µ
200 V	0.4 + 0.1	0.7	1.0	20 µ
1000 V	0.4 + 0.3	0.7	1.0	100 µ

- Type ..... Multi-slope, multi-cycle A-D Converter
- CMRR (1 kΩ unbalance) <sup>[5]</sup> ..... 140 dB at DC and 1 - 60 Hz
- NMRR <sup>[5]</sup> .....
- Filter Out ..... 60 dB at 50/60 Hz ±0.09 %
- Filter In ..... 110 dB at 50/60 Hz ±0.09 %
- Protection (All ranges)..... 1 kV rms
- Input Impedance**
- 200 mV to 20 V Ranges..... > 10 GΩ
- 200 V & 1000 V Ranges ..... 10.1 MΩ ± 1 %
- Max Input Current ..... 50 pA
- Ratio Accuracy**
- Range to Range..... Apply an RSS summation of Net Front Input Accuracy and Net Rear Input Accuracy <sup>[17]</sup>
- Within Range ..... Using the 24 hour or 20 minute Transfer Uncertainty specifications as appropriate, apply an RSS summation of specified accuracy of the Front Input signal and the specified accuracy of the Rear Input signal <sup>[17]</sup>
- Settling Time** (to 10 ppm step size)
- Filter Out ..... < 50 ms
- Filter In ..... < 1 s

## DC Current

### DC Current <sup>[1][2][3]</sup>

Range	Full Scale <sup>[12]</sup>	Uncertainty Relative to Cal Stds			Absolute Uncertainties	
		$\pm$ (ppm Reading + ppm Range) <sup>[4]</sup>				
		24 hour TCal $\pm 1$ °C	90 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 5$ °C
<b>95 % Confidence Level</b>						
200 $\mu$ A	199.990 00	5.5 + 2.0	6.0 + 2.0	6.5 + 2.0	12 + 2.0	12 + 2.0
2 mA	1.999 900 0	5.5 + 2.0	6.0 + 2.0	6.5 + 2.0	12 + 2.0	12 + 2.0
20 mA	19.999 000	6.5 + 2.0	7.0 + 2.0	8.0 + 2.0	13 + 2.0	14 + 2.0
200 mA	199.990 00	28 + 4.0	30 + 4.0	33 + 4.0	36 + 4.0	48 + 4.0
2 A	1.999 900 0	80 + 8.0	125 + 8.0	170 + 8.0	170 + 8.0	185 + 8.0
20 A	19.999 000	200 + 20	290 + 20	380 + 20	380 + 20	400 + 20
<b>99 % Confidence Level</b>						
200 $\mu$ A	199.990 00	7.0 + 2.0	7.5 + 2.0	8.0 + 2.0	15 + 2.0	16 + 2.0
2 mA	1.999 900 0	7.0 + 2.0	7.5 + 2.0	8.0 + 2.0	15 + 2.0	16 + 2.0
20 mA	19.999 000	8.0 + 2.0	9.0 + 2.0	10 + 2.0	16 + 2.0	18 + 2.0
200 mA	199.990 00	35 + 4.0	37 + 4.0	40 + 4.0	45 + 4.0	60 + 4.0
2 A	1.999 900 0	100 + 8.0	150 + 8.0	205 + 8.0	210 + 8.0	225 + 8.0
20 A	19.999 000	250 + 20	350 + 20	450 + 20	455 + 20	500 + 20

### DC Current (Secondary Specifications) <sup>[1][2][3]</sup>

Range	Input Impedance ( $\Omega$ )		Temperature Coefficient		
			15 °C - 30 °C	5 °C - 15 °C 30 °C - 40 °C	5 °C - 40 °C <sup>[10]</sup>
	Front	Rear	$\pm$ ppm Reading/°C		$\pm$ A/°C
200 $\mu$ A	150	150	0.4	0.6	50 p
2 mA	15.2	15.2	0.4	0.6	300 p
20 mA	1.8	1.9	1.2	1.8	3 n
200 mA	1.2	1.3	6.0	9.0	50 n
2 A	0.3	0.4	8.0	12	500 n
20 A	0.04	-	15	20	10 $\mu$

Type..... Multi-slope, multi-cycle A-D Converter

#### Protection

Front Input..... 20 A rms

Rear Input..... 2 A rms, Rear Panel Fuse

#### Settling Time

200  $\mu$ A to 200 mA Ranges, to 10 ppm step size .... Filter Out < 50 ms, Filter In < 1 s

#### 2 A Range

to 100 ppm step size..... < 1 s

to 75 ppm step size..... < 30 s

to 30 ppm step size..... < 5 minutes

#### 20 A Range (at 10 A)

to 300 ppm step size..... < 1 s

to 250 ppm step size..... < 30 s

to 100 ppm step size..... < 5 minutes

## Resistance

### Resistance <sup>[1] [2] [3]</sup>

Range	Full Scale <sup>[1][2]</sup>	Mode <sup>[10]</sup>	Uncertainty Relative to Cal Stds			Absolute Uncertainties	
			$\pm$ (ppm Reading + ppm Range) <sup>[4]</sup>				
			24 hour TCal $\pm 1$ °C	90 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 1$ °C	365 day TCal $\pm 5$ °C
<b>95% Confidence Level</b>							
2 $\Omega$	1.999 900 00	Normal	5.0 + 2.0	8.0 + 2.0	10 + 2.0	15 + 2.0	17 + 2.0
20 $\Omega$	19.999 000 0	Normal	2.5 + 0.7	4.5 + 0.7	7.0 + 0.7	9.0 + 0.7	9.5 + 0.7
200 $\Omega$	199.990 000	Normal	1.5 + 0.25	4.0 + 0.25	7.0 + 0.25	7.5 + 0.25	8.0 + 0.25
2 k $\Omega$	1.999 900 00	Normal	1.0 + 0.25	3.5 + 0.25	7.0 + 0.25	7.5 + 0.25	8.0 + 0.25
20 k $\Omega$	19.999 000 0	Normal	1.0 + 0.25	3.5 + 0.25	7.0 + 0.25	7.5 + 0.25	8.0 + 0.25
200 k $\Omega$	199.990 000	Normal	1.0 + 0.25	3.5 + 0.25	7.0 + 0.25	7.5 + 0.25	8.0 + 0.25
2 M $\Omega$	1.999 900 00	Normal	2.0 + 0.5	4.0 + 0.5	7.0 + 0.5	8.5 + 0.5	9.0 + 0.5
20 M $\Omega$	19.999 000 0	Normal	3.5 + 5.0	6.0 + 5.0	9.0 + 5.0	15 + 5.0	20 + 5.0
200 M $\Omega$	199.990 000	Normal	20 + 50	25 + 50	30 + 50	60 + 50	120 + 50
2 G $\Omega$	1.999 900 00	Normal	250 + 500	350 + 500	500 + 500	525 + 500	1510 + 500
2 $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	5.0 + 2.0	8.0 + 2.0	10 + 2.0	15 + 2.0	17 + 2.0
20 $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	2.5 + 0.7	4.5 + 0.7	7.0 + 0.7	9.0 + 0.7	9.5 + 0.7
200 $\Omega$	199.990 000	Lo Current	2.5 + 0.7	5.0 + 0.7	7.0 + 0.7	7.5 + 0.7	8.0 + 0.7
2 k $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	2.5 + 0.7	5.0 + 0.7	7.0 + 0.7	7.5 + 0.7	8.0 + 0.7
20 k $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	2.5 + 0.7	5.0 + 0.7	7.0 + 0.7	7.5 + 0.7	8.0 + 0.7
200 k $\Omega$	199.990 000	Lo Current	5.0 + 0.5	6.5 + 0.5	7.0 + 0.5	7.5 + 0.5	8.0 + 0.5
2 M $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	7.0 + 0.5	8.0 + 0.5	9.0 + 0.5	10 + 0.5	15 + 0.5
20 M $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	20 + 5.0	20 + 5.0	25 + 5.0	35 + 5.0	90 + 5.0
200 M $\Omega$	199.990 000	Lo Current	250 + 500	350 + 500	500 + 500	515 + 500	1505 + 500
2 G $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	250 + 500	350 + 500	500 + 500	525 + 500	1510 + 500
20 M $\Omega$	19.999 000 0	High Voltage	2.0 + 0.5	4.0 + 0.5	7.0 + 0.5	15 + 0.5	17 + 0.5
200 M $\Omega$	199.990 000	High Voltage	3.5 + 5.0	6.0 + 5.0	9.0 + 5.0	60 + 5.0	65 + 5.0
2 G $\Omega$	1.999 900 00	High Voltage	20 + 50	25 + 50	30 + 50	150 + 50	180 + 50
20 G $\Omega$ <sup>[18]</sup>	19.999 000 0	High Voltage	250 + 500	350 + 500	500 + 500	525 + 500	1510 + 500
<b>99% Confidence Level</b>							
2 $\Omega$	1.999 900 00	Normal	6.0 + 2.5	10 + 2.5	12 + 2.5	19 + 2.5	22 + 2.5
20 $\Omega$	19.999 000 0	Normal	3.0 + 0.9	5.5 + 0.9	8.5 + 0.9	11.5 + 0.9	12.0 + 0.9
200 $\Omega$	199.990 000	Normal	1.8 + 0.3	5.0 + 0.3	8.5 + 0.3	9.5 + 0.3	10 + 0.3
2 k $\Omega$	1.999 900 00	Normal	1.2 + 0.3	4.5 + 0.3	8.5 + 0.3	9.5 + 0.3	10 + 0.3
20 k $\Omega$	19.999 000 0	Normal	1.2 + 0.3	4.5 + 0.3	8.5 + 0.3	9.5 + 0.3	10 + 0.3
200 k $\Omega$	199.990 000	Normal	1.2 + 0.3	4.5 + 0.3	8.5 + 0.3	9.5 + 0.3	10 + 0.3
2 M $\Omega$	1.999 900 00	Normal	2.5 + 0.6	5.0 + 0.6	8.5 + 0.6	10.5 + 0.6	12 + 0.6
20 M $\Omega$	19.999 000 0	Normal	4.5 + 6.0	7.5 + 6.0	12 + 6.0	20 + 6.0	25 + 6.0
200 M $\Omega$	199.990 000	Normal	25 + 60	30 + 60	35 + 60	75 + 60	150 + 60
2 G $\Omega$	1.999 900 00	Normal	325 + 600	450 + 600	650 + 600	675 + 600	1810 + 600
2 $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	6.0 + 2.5	10 + 2.5	12 + 2.5	19 + 2.5	22 + 2.5
20 $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	3.0 + 0.9	5.5 + 0.9	8.5 + 0.9	11.5 + 0.9	12.0 + 0.9
200 $\Omega$	199.990 000	Lo Current	3.0 + 0.9	6.5 + 0.9	8.5 + 0.9	9.5 + 0.9	10.0 + 0.9
2 k $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	3.0 + 0.9	6.5 + 0.9	8.5 + 0.9	9.5 + 0.9	10.0 + 0.9
20 k $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	3.0 + 0.9	6.5 + 0.9	8.5 + 0.9	9.5 + 0.9	10.0 + 0.9
200 k $\Omega$	199.990 000	Lo Current	6.0 + 0.6	8.0 + 0.6	9.0 + 0.6	9.5 + 0.6	10.0 + 0.6
2 M $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	8.0 + 0.6	10.0 + 0.6	12.0 + 0.6	13.0 + 0.6	17.0 + 0.6
20 M $\Omega$	19.999 000 0	Lo Current	25 + 6.0	25 + 6.0	30 + 6.0	45 + 6.0	110 + 6.0
200 M $\Omega$	199.990 000	Lo Current	325 + 600	450 + 600	650 + 600	670 + 600	1810 + 600
2 G $\Omega$	1.999 900 00	Lo Current	325 + 600	450 + 600	650 + 600	675 + 600	1810 + 600
20 M $\Omega$	19.999 000 0	High Voltage	2.5 + 0.6	5.0 + 0.6	8.5 + 0.6	19 + 0.6	20 + 0.6
200 M $\Omega$	199.990 000	High Voltage	4.5 + 6.0	7.5 + 6.0	12 + 6.0	75 + 6.0	80 + 6.0
2 G $\Omega$	1.999 900 00	High Voltage	25 + 60	30 + 60	35 + 60	195 + 60	230 + 60
20 G $\Omega$ <sup>[18]</sup>	19.999 000 0	High Voltage	325 + 600	450 + 600	650 + 600	675 + 600	1810 + 600

BI. Perfiles de calibración de la muestra de equipos de medición del laboratorio EIE UES.



Universidad de El Salvador  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Escuela de Ingeniería Eléctrica

**PERFIL DE CALIBRACIÓN**

**FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:**

N° de inventario: 12050-2606-823-0062  
Equipo: MULTÍMETRO  
Marca: PHILIPS  
Modelo: PM2518  
N° de serie: DY0202333  
Fabricante y lugar de origen: PHILIPS/ HOLANDA

**EQUIPO PATRÓN**

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
Módulo: 8508A / 189  
Resolución: 7 1/2, 4 1/2

**MÉTODO**

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

**ANALISTA**

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
Fecha calibración/ Hora: 09/12/2019 11.45 a. m.

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura: 23 ± 5° C  
Humedad relativa: 55%

**RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:**

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	10.00	-10.000	-9.997	0.003	0.001	V	1.97	PASA
-5 V	10.00	-4.9996	-4.998	0.002	0.001	V	1.97	PASA
+2.5 V	10.00	2.500436	2.499	0.001	0.001	V	2.03	PASA
+5 V	10.00	4.999829	4.998	0.002	0.001	V	1.97	PASA
+10 V	10.00	9.999347	9.995	0.004	0.001	V	2.07	PASA
INTENSIDAD DC (B)								
1 mA	20.00	1.00081	1.010	9.2E-03	0.006	mA	1.97	PASA
10 mA	20.00	10.0088	10.03	2.1E-02	0.006	mA	1.97	PASA
100 mA	200.0	100.026	100.1	7.4E-02	0.057	mA	1.97	PASA
200 mA	2.000	200.066	200.4	3.3E-01	0.572	mA	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	10.00	1.00229	1.010	0.008	0.001	kΩ	2.03	PASA
10 kΩ	100.0	9.999846	10.01	0.006	0.01	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	1.000	100.032	100.1	0.030	0.06	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	10.000	0.99925	1.015	0.016	0.001	MΩ	1.97	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	10.000	5.01732	5.047	0.0295	0.080	V	2.00	NO PASA
10 V AC	100.00	10.0088	10.02	0.0142	0.09	V	1.97	PASA
50 V AC	100.00	49.9298	50.07	0.1362	0.68	V	1.97	NO PASA
120 V AC	1000.0	119.766	119.82	0.0540	1.04	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [mA]	10 mA [mA]	100 mA [mA]	200 mA [mA]
1	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.995	1.01	10.03	100.1	200.4
2	-9.997	-4.998	2.500	4.998	9.995	1.01	10.03	100.1	200.4
3	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.996	1.01	10.03	100.1	200.4
4	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.995	1.01	10.03	100.1	200.4
5	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.996	1.01	10.03	100.1	200.4

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.010	10.01	100.1	1.015
2	1.010	10.01	100.1	1.015
3	1.01	10.01	100.1	1.015
4	1.01	10.01	100.1	1.015
5	1.009	10.01	100.1	1.015

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0152	5.124	9.986	9.998	49.931	50.02	120.03	120.1
2	5.0186	5.03	10.008	10.014	49.899	50.02	120.18	120.1
3	5.0131	5.018	10.009	10.023	49.961	50.06	119.88	119.9
4	5.0215	5.034	10.026	10.045	49.958	50.13	119.38	119.5
5	5.0182	5.028	10.015	10.035	49.9	50.1	119.36	119.5

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC, 50 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa



**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [mA]	10 mA [mA]	100 mA [mA]	200 mA [mA]
1	-9.938	-4.969	2.485	4.969	9.936	1.00	9.98	99.6	199.3
2	-9.938	-4.969	2.485	4.969	9.937	1.00	9.98	99.5	199.3
3	-9.938	-4.969	2.485	4.969	9.937	1.01	9.98	99.6	199.3
4	-9.938	-4.969	2.485	4.969	9.936	1.00	9.98	99.6	199.3
5	-9.938	-4.969	2.485	4.968	9.937	1.00	9.98	99.6	199.3

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.000	9.94	99.5	0.992
2	1.000	9.94	99.5	0.993
3	1	9.94	99.5	0.992
4	1	9.94	99.5	0.992
5	1.000	9.94	99.5	0.992

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1								
2								
3								
4								
5								

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de -10 V DC, -5 V DC, 2.5 V DC, 5 V DC, 10 V DC, 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 1 mA

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
k: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0076  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: PHILIPS  
 Modelo: PM2518  
 N° de serie: DY0202357  
 Fabricante y lugar de origen: PHILIPS/ HOLANDA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 12/12/2019 04:00:00 p.m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	100.00	-10.000	-10.017	0.017	0.006	V	1.97	PASA
-5 V	10.000	-4.9996	-5.009	0.009	0.001	V	2.07	NO PASA
+2.5 V	10.000	2.500436	2.5046	0.004	0.001	V	2.08	NO PASA
+5 V	10.000	4.999829	5.008	0.008	0.001	V	2.03	NO PASA
+10 V	100.00	9.999347	10.0158	0.016	0.006	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (B)								
1 mA	20.000	1.00081	1.01	9.2E-03	0.006	mA	1.97	PASA
10 mA	20.000	10.0088	10.050	4.1E-02	0.006	mA	1.97	PASA
100 mA	200.000	100.026	100.300	2.7E-01	0.057	mA	1.97	PASA
200 mA	2.000	200.066	200.700	6.3E-01	0.570	mA	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	10.000	1.00229	1.0068	0.005	0.001	kΩ	2.03	PASA
10 kΩ	100.00	9.999846	10.02	0.016	0.01	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	1.0	100.032	100.23	0.198	0.06	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	10.000	0.99925	1.02	0.021	0.0006	MΩ	1.97	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	10.000	5.05074	5.0282	0.0225	0.069	V	1.97	NO PASA
10 V AC	100.00	10.1004	10.1034	0.0030	0.11	V	2.00	PASA
50 V AC	100.00	50.091	50.228	0.1370	0.69	V	1.97	NO PASA
120 V AC	1000.0	120.17	120.2	0.0300	1.0	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-10.018	-5.009	2.505	5.008	10.016	1.01	10.05	100.3	200.7
2	-10.017	-5.009	2.504	5.009	10.016	1.01	10.05	100.3	200.7
3	-10.018	-5.008	2.505	5.008	10.015	1.01	10.05	100.3	200.7
4	-10.017	-5.009	2.505	5.008	10.016	1.01	10.05	100.3	200.7
5	-10.017	-5.008	2.504	5.008	10.016	1.01	10.05	100.3	200.7

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.007	10.02	100.2	1.02
2	1.006	10.02	100.2	1.02
3	1.007	10.02	100.2	1.020
4	1.007	10.02	100.2	1.02
5	1.007	10.02	100.2	1.02

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0291	5.039	10.078	10.103	50.036	50.15	119.99	120.1
2	5.0149	5.025	10.058	10.001	50.029	50.19	120.2	120.1
3	5.181	5.031	10.118	10.134	50.189	50.32	120.28	120.2
4	5.0098	5.021	10.128	10.144	50.075	50.23	120.25	120.3
5	5.0189	5.025	10.12	10.135	50.126	50.25	120.13	120.3

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de -5 V DC, 2.5 V DC, 5 V DC, 1 MΩ, 5 V AC, 50 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
k: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0080  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: PHILIPS  
 Modelo: PM2518  
 N° de serie: DY0202345  
 Fabricante y lugar de origen: PHILIPS/ HOLANDA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 12/12/2019 2.40 p. m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura:  $23 \pm 5^\circ \text{C}$   
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	10.00	-10.000	-9.965	0.035	0.001	V	2.07	NO PASA
-5 V	10.000	-4.9996	-4.983	0.017	0.001	V	2.07	NO PASA
+2.5 V	10.000	2.500436	2.492	0.008	0.001	V	1.97	NO PASA
+5 V	10.000	4.999829	4.983	0.017	0.001	V	2.07	NO PASA
+10 V	10.00	9.999347	9.964	0.035	0.001	V	1.97	NO PASA
INTENSIDAD DC (B)								
1 mA	20.000	1.00081	1.008	7.2E-03	0.007	mA	2.03	PASA
10 mA	20.000	10.0088	10.000	8.8E-03	0.006	mA	1.97	PASA
100 mA	200.000	100.026	99.800	2.3E-01	0.057	mA	1.97	PASA
200 mA	200.000	200.066	199.700	3.7E-01	0.077	mA	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 k $\Omega$	10.000	1.00229	0.9996	0.003	0.001	k $\Omega$	2.08	PASA
10 k $\Omega$	10.00	9.999846	9.95	0.046	0.00	k $\Omega$	2.03	NO PASA
100 k $\Omega$	100.0	100.032	99.62	0.412	0.01	k $\Omega$	1.97	NO PASA
1 M $\Omega$	10.000	0.99925	1.015	0.016	0.0006	M $\Omega$	1.97	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	10.000	4.99952	4.984	0.0155	0.068	V	1.97	NO PASA
10 V AC	100.00	10.0368	10.0006	0.0362	0.09	V	1.97	PASA
50 V AC	100.00	50.0622	49.938	0.1242	0.69	V	1.97	NO PASA
120 V AC	1000.0	119.748	119.28	0.4680	1.0	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [mA]	10 mA [mA]	100 mA [mA]	200 mA [mA]
1	-9.965	-4.983	2.492	4.983	9.964	1.01	10.00	99.8	199.7
2	-9.966	-4.983	2.492	4.983	9.964	1.01	10.00	99.8	199.7
3	-9.965	-4.983	2.492	4.982	9.964	1.00	10.00	99.8	199.7
4	-9.965	-4.982	2.492	4.983	9.964	1.01	10.00	99.8	199.7
5	-9.966	-4.982	2.492	4.982	9.964	1.01	10.00	99.8	199.7

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.000	9.95	99.6	1.015
2	1.000	9.95	99.6	1.015
3	0.999	9.95	99.6	1.015
4	0.999	9.96	99.6	1.015
5	1.000	9.95	99.6	1.015

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.004	4.985	10.025	9.992	50.011	49.92	119.64	119.2
2	5.0041	4.987	10.017	9.986	49.997	49.85	119.59	119.1
3	4.9987	4.984	10.01	9.975	50.011	49.91	119.78	119.4
4	5.0003	4.985	10.066	10.025	50.135	50.01	119.81	119.3
5	4.9905	4.979	10.066	10.025	50.157	50	119.92	119.4

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de -10 V DC, -5 V DC, 2.5 V DC, 5 V DC, 10 V DC, 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ, 5 V AC, 50 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 1 mA, 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
k: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa



**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-10.020	-5.010	2.505	5.010	10.018	1.02	10.06	100.5	201.1
2	-10.020	-5.010	2.505	5.010	10.018	1.01	10.07	100.5	201.1
3	-10.020	-5.010	2.506	5.010	10.018	1.01	10.07	100.5	201.0
4	-10.019	-5.010	2.505	5.010	10.018	1.01	10.07	100.5	201.1
5	-10.020	-5.010	2.505	5.010	10.018	1.01	10.07	100.5	201.1

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.006	10.00	100.0	1.014
2	1.006	10.00	100.0	1.013
3	1.006	10.00	100.0	1.014
4	1.006	10.00	100.0	1.014
5	1.006	10.00	100.0	1.014

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1								
2								
3								
4								
5								

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de -5 V DC, 2.5 V DC, 5 V DC, 1 MΩ
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 1 mA

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0093  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: PHILIPS  
 Modelo: PM2518  
 N° de serie: DY0202338  
 Fabricante y lugar de origen: PHILIPS/ HOLANDA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 09/12/2019 10.15 a. m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	10.00	-10.000	-9.997	0.003	0.001	V	2.03	PASA
-5 V	10.00	-4.9996	-4.998	0.002	0.001	V	1.97	PASA
+2.5 V	10.00	2.500436	2.4992	0.001	0.001	V	2.03	PASA
+5 V	10.00	4.999829	4.998	0.002	0.001	V	1.97	PASA
+10 V	10.00	9.999347	9.995	0.005	0.001	V	2.03	PASA
INTENSIDAD DC (B)								
1 mA	20.00	1.00081	1.000	8.1E-04	0.006	mA	1.97	PASA
10 mA	20.00	10.0088	10.02	1.3E-02	0.007	mA	2.03	PASA
100 mA	200.0	100.026	100.2	1.7E-01	0.057	mA	1.97	PASA
200 mA	2.000	200.066	200.4	3.5E-01	0.573	mA	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	10.00	1.00229	1.012	0.010	0.001	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	100.00	9.999846	10.071	0.071	0.01	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	100.0	100.032	99.92	0.112	0.01	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	10.000	0.99925	1.0168	0.018	0.0007	MΩ	2.03	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	10.000	5.05354	5.0664	0.0129	0.069	V	1.97	NO PASA
10 V AC	100.00	9.9856	10.0102	0.0246	0.09	V	1.97	PASA
50 V AC	100.00	50.1344	50.322	0.1876	0.69	V	1.97	NO PASA
120 V AC	1000.0	120.408	120.46	0.0520	1.02	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [mA]	10 mA [mA]	100 mA [mA]	200 mA [mA]
1	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.994	1.00	10.02	100.2	200.5
2	-9.996	-4.998	2.500	4.998	9.995	1.00	10.02	100.2	200.4
3	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.995	1.00	10.02	100.2	200.4
4	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.995	1.00	10.02	100.2	200.4
5	-9.997	-4.998	2.499	4.998	9.995	1.00	10.03	100.2	200.4

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.012	10.07	99.9	1.017
2	1.012	10.07	99.9	1.017
3	1.012	10.07	99.9	1.017
4	1.012	10.07	99.9	1.017
5	1.012	10.07	99.9	1.016

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0678	5.078	10.018	10.031	50.004	50.17	120.28	120.1
2	5.0564	5.073	9.992	10.022	50.29	50.49	120.51	120.6
3	5.0593	5.072	9.986	10.012	50.048	50.23	120.42	120.5
4	5.0464	5.061	9.964	9.992	50.268	50.44	120.31	120.5
5	5.0378	5.048	9.968	9.994	50.062	50.28	120.52	120.6

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC, 50 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
k: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa



**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [mA]	10 mA [mA]	100 mA [mA]	200 mA [mA]
1	-9.803	-4.901	2.451	4.901	9.802	1.01	10.05	100.5	201.0
2	-9.803	-4.901	2.451	4.901	9.802	1.01	10.05	100.5	201.0
3	-9.803	-4.901	2.451	4.901	9.802	1.01	10.05	100.5	201.0
4	-9.803	-4.901	2.451	4.901	9.802	1.01	10.06	100.5	201.0
5	-9.803	-4.901	2.451	4.901	9.802	1.01	10.06	100.5	201.0

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.006	10.02	100.2	1.017
2	1.006	10.02	100.2	1.017
3	1.006	10.02	100.2	1.017
4	1.006	10.02	100.2	1.016
5	1.006	10.02	100.2	1.017

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1								
2								
3								
4								
5								

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M\_IBC \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de -10 V DC, -5 V DC, 2.5 V DC, 5 V DC, 10 V DC, 1 MΩ
- 2) Si cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en todos los puntos de medida

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-615-0003  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 117  
 N° de serie: 38260870WS  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / CHINA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 05/12/2019 11.15 a. m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-10.000	1.9E-04	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.997	2.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.499	1.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.997	2.8E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+10 V	60.00	9.999347	10	6.5E-04	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	2.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.200	6.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.005	2.7E-03	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.5E-04	0.0057	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	100.00	3.2E-02	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	1.002	2.7E-03	0.0006	MΩ	1.97	PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.02222	5.020	1.8E-03	0.0688	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.0418	10.036	5.8E-03	0.0933	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.9988	49.99	6.8E-03	0.2827	V	1.97	PASA
120 V AC	600.0	120.18	120.08	1.0E-01	1.0107	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
2	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
3	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
4	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
5	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.005	10.00	100.0	1.002
2	1.005	10.00	100.0	1.002
3	1.005	10.00	100.0	1.002
4	1.005	10.00	100.0	1.002
5	1.005	10.00	100.0	1.002

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.032	5.031	10.013	10.01	50.102	50.07	120.13	120
2	5.0288	5.027	10.058	10.05	49.983	49.95	119.99	119.9
3	5.0128	5.011	10.061	10.06	49.975	49.99	120.18	120.2
4	5.0212	5.019	10.053	10.04	49.891	49.88	120.38	120.2
5	5.0163	5.014	10.024	10.02	50.043	50.07	120.22	120.1

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-615-0004  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 117  
 N° de serie: 38260727WS  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / CHINA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 05/12/2019 09:45:00 a.m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-10.000	1.9E-04	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.997	2.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.499	1.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.997	2.6E-03	0.0007	V	2.03	PASA
+10 V	60.00	9.999347	10	6.5E-04	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	2.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.200	6.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.005	2.7E-03	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.5E-04	0.0057	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	100.00	3.2E-02	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	1.0004	1.1E-03	0.0008	MΩ	2.08	PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.0205	5.021	3.0E-04	0.0685	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.068	10.054	1.4E-02	0.0917	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.929	49.89	4.3E-02	0.2934	V	1.98	PASA
120 V AC	600.0	120.026	119.82	2.1E-01	1.0062	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
2	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
3	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
4	-10.00	-4.997	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
5	-10.00	-4.997	2.499	4.998	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.005	10.00	100.0	1.001
2	1.005	10.00	100.0	1
3	1.005	10.00	100.0	1.000
4	1.005	10.00	100.0	1.001
5	1.005	10.00	100.0	1

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0185	5.019	10.064	10.05	49.936	49.89	119.91	119.8
2	5.013	5.018	10.072	10.06	49.774	49.73	120.04	119.9
3	5.0289	5.024	10.068	10.05	49.851	49.81	120.15	119.9
4	5.0257	5.025	10.065	10.05	50.048	50.01	119.97	119.7
5	5.0164	5.018	10.071	10.06	50.036	49.99	120.06	119.8

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA**

## NOTA1

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

## ABREVIATURAS

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

## PERFIL DE CALIBRACIÓN

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0142  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 112  
 N° de serie: 84220064  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / USA

### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 13/12/2019 09:05:00 a.m.

### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-10.020	2.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-5.002	2.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.502	1.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	5.002	2.2E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+10 V	60.00	9.999347	10.02	2.1E-02	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0	1.0E-03	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	4.0E-04	0.0022	A	2.57	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.102	2.0E-03	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.202	1.9E-03	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.004	1.7E-03	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.8E-03	0.0071	kΩ	2.03	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	100.00	3.2E-02	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.986	1.3E-02	0.0006	MΩ	1.97	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.00194	5.018	1.6E-02	0.0686	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	9.9904	10.034	4.4E-02	0.0926	V	1.97	NO PASA
50 V AC	60.00	49.888	49.97	8.0E-02	0.2955	V	1.98	PASA
120 V AC	600.0	119.622	119.78	1.6E-01	1.0715	V	1.98	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-10.02	-5.002	2.502	5.002	10.02	0	0.012	0.102	0.202
2	-10.02	-5.002	2.502	5.002	10.02	0	0.011	0.102	0.202
3	-10.02	-5.002	2.502	5.002	10.02	0	0.009	0.102	0.202
4	-10.02	-5.002	2.502	5.002	10.02	0	0.012	0.102	0.202
5	-10.02	-5.002	2.502	5.002	10.02	0	0.008	0.102	0.202

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.004	10.00	100.0	0.986
2	1.004	10.00	100.0	0.986
3	1.004	9.99	100.0	0.986
4	1.004	10.00	100.0	0.986
5	1.004	10.00	100.0	0.986

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	4.9982	5.018	9.973	10.02	49.852	49.91	119.96	120.2
2	5.0132	5.028	9.992	10.04	49.889	49.93	119.32	119.1
3	5.0047	5.021	9.98	10.01	49.745	49.89	119.57	119.7
4	5.0004	5.016	10.005	10.05	49.868	49.92	119.64	120
5	4.9932	5.009	10.002	10.05	50.086	50.19	119.62	119.9

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC, 10 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 10 mA, 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

## PERFIL DE CALIBRACIÓN

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0163  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 115  
 N° de serie: 12850472  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / USA

### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 13/12/2019 10:20:00 a.m.

### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-9.990	1.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.996	3.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.499	1.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.996	3.4E-03	0.0008	V	2.07	PASA
+10 V	60.00	9.999347	9.992	7.3E-03	0.0071	V	2.03	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	2.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.200	6.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.003	7.1E-04	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.8E-03	0.0071	kΩ	2.03	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	99.80	2.3E-01	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.9792	2.0E-02	0.0007	MΩ	2.03	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.01526	5.014	1.1E-03	0.0686	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.0618	10.04	2.2E-02	0.0939	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.8552	49.80	5.5E-02	0.2831	V	1.97	PASA
120 V AC	600.0	120.562	120.3	2.6E-01	1.0506	V	1.97	PASA

## MEDICIONES OBTENIDAS

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
2	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
3	-9.99	-4.996	2.499	4.997	10.00	0.001	0.010	0.100	0.200
4	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
5	-9.99	-4.996	2.499	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.003	10.00	99.8	0.979
2	1.003	10.00	99.8	0.979
3	1.003	10.00	99.8	0.980
4	1.003	9.99	99.8	0.979
5	1.003	10.00	99.8	0.979

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0074	5.014	10.028	10.01	49.926	49.89	119.93	119.7
2	5.0162	5.016	10.047	10.02	49.815	49.70	120.79	120.5
3	5.0286	5.020	10.082	10.06	49.790	49.80	120.73	120.5
4	5.0143	5.016	10.080	10.06	49.969	49.88	120.65	120.4
5	5.0098	5.005	10.072	10.05	49.776	49.73	120.71	120.4

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

## NOTA

### NOTA1

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

### ABREVIATURAS

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

### PERFIL DE CALIBRACIÓN

#### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0164  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 116  
 N° de serie: 12850471  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / USA

#### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

#### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

#### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 06/12/2019 03:05:00 p.m.

#### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

#### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-9.990	1.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.994	5.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.498	2.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.995	4.8E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+10 V	60.00	9.999347	9.99	9.3E-03	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.002	1.0E-03	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.011	1.0E-03	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.101	7.7E-04	0.0007	A	2.03	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.201	5.3E-04	0.0008	A	2.07	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.005	2.7E-03	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.5E-04	0.0057	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	99.78	2.5E-01	0.0713	kΩ	2.03	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.984	1.5E-02	0.0006	MΩ	1.97	NO PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.04768	5.048	8.0E-05	0.0692	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.0226	9.996	2.7E-02	0.0917	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	50.0304	49.97	6.4E-02	0.2757	V	1.97	PASA
120 V AC	600.0	120.072	119.7	3.7E-01	1.0057	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-9.99	-4.994	2.498	4.995	9.99	0.002	0.011	0.101	0.200
2	-9.99	-4.994	2.498	4.995	9.99	0.002	0.011	0.100	0.201
3	-9.99	-4.994	2.498	4.995	9.99	0.002	0.011	0.101	0.201
4	-9.99	-4.994	2.498	4.995	9.99	0.002	0.011	0.101	0.200
5	-9.99	-4.994	2.498	4.995	9.99	0.002	0.011	0.101	0.201

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.005	10.00	99.8	0.984
2	1.005	10.00	99.8	0.984
3	1.005	10.00	99.7	0.984
4	1.005	10.00	99.8	0.984
5	1.005	10.00	99.8	0.984

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0314	5.032	10.02	9.99	50.029	49.95	120.05	119.7
2	5.0525	5.052	10.021	9.99	50.001	49.94	120.03	119.7
3	5.0618	5.061	10.014	9.99	50.036	49.98	120.18	119.8
4	5.0472	5.048	10.026	10	50.088	50.03	120.18	119.7
5	5.0455	5.045	10.032	10.01	49.998	49.93	119.92	119.6

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 1 MΩ, 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

## PERFIL DE CALIBRACIÓN

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario: 12050-2606-823-0165  
 Equipo: MULTÍMETRO  
 Marca: FLUKE  
 Modelo: 115  
 N° de serie: 12850470  
 Fabricante y lugar de origen: FLUKE CORPORATION / USA

### EQUIPO PATRÓN

Equipo: MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC  
 Modelo: 8508A / 189  
 Resolución: 7 1/2, 4 1/2

### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

### ANALISTA

Nombre: EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN  
 Fecha calibración/ Hora: 04/12/2019 01:45:00 p.m.

### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura: 23 ± 5° C  
 Humedad relativa: 55%

### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-9.990	1.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.996	3.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.499	1.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.997	2.8E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+10 V	60.00	9.999347	9.99	9.3E-03	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	2.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.200	6.6E-05	0.0006	A	1.97	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.003	7.1E-04	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.5E-04	0.0057	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	100.00	3.2E-02	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.9976	1.7E-03	0.0008	MΩ	2.08	PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	5.03548	5.037	1.5E-03	0.0686	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.0988	10.072	2.7E-02	0.0924	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.9826	49.93	5.5E-02	0.2743	V	1.97	PASA
120 V AC	600.0	120.284	119.86	4.2E-01	1.0097	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
2	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
3	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
4	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200
5	-9.99	-4.996	2.499	4.997	9.99	0.001	0.010	0.100	0.200

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.003	10.00	100.0	0.997
2	1.003	10.00	100.0	0.998
3	1.003	10.00	100.0	0.997
4	1.003	10.00	100.0	0.998
5	1.003	10.00	100.0	0.998

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	5.0417	5.044	10.074	10.09	50.002	49.94	120.29	119.9
2	5.0391	5.04	10.107	10.07	50.009	49.96	120.43	120
3	5.035	5.037	10.098	10.06	50.003	49.94	120.3	119.9
4	5.0291	5.03	10.097	10.06	49.959	49.91	120.27	119.8
5	5.0325	5.034	10.118	10.08	49.94	49.89	120.13	119.7

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M_REF:	Medición de referencia (patrón)
M_IBC:	Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)
ERROR	Error absoluto de medición =   (M_REF) - (M_IBC)
U:	Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%
k:	Factor de cobertura
Vref:	Tensión de referencia
Vmed:	Tensión de medición
VDC:	Tensión de corriente directa
IDC:	Intensidad de corriente directa

## PERFIL DE CALIBRACIÓN

### FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO:

N° de inventario:	12050-2606-823-0166
Equipo:	MULTÍMETRO
Marca:	FLUKE
Modelo:	115
N° de serie:	12850473
Fabricante y lugar de origen:	FLUKE CORPORATION / USA

### EQUIPO PATRÓN

Equipo:	MULTÍMETRO REFERENCIA DC / MULTÍMETRO 189 AC
Módulo:	8508A / 189
Resolución:	7 1/2, 4 1/2

### MÉTODO

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN MEDICIÓN DIRECTA

### ANALISTA

Nombre:	EVER OSWALDO VICENTE, JOSÉ JAVIER ESPINOZA ALEMÁN	
Fecha calibración/ Hora:	06/12/2019	09:45:00 a.m.

### CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura:	23 ± 5° C
Humedad relativa:	55%

### RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

TODAS LAS INCERTIDUMBRES TOMANDO UN NIVEL DE CONFIANZA DE 95%

PUNTO	ESCALA	M_REF	M_IBC	ERROR	U	UNIDAD	k	ESTADO
TENSIÓN DC								
-10 V	60.00	-10.000	-9.990	1.0E-02	0.0057	V	1.97	PASA
-5 V	6.000	-4.9996	-4.995	4.6E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+2.5 V	6.000	2.500436	2.498	2.4E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+5 V	6.000	4.999829	4.996	3.8E-03	0.0006	V	1.97	PASA
+10 V	60.00	9.999347	9.99	9.3E-03	0.0057	V	1.97	PASA
INTENSIDAD DC (A)								
1 mA	6.000	0.00100	0.001	8.1E-07	0.0006	A	1.97	PASA
10 mA	6.000	0.01000	0.010	8.8E-07	0.0006	A	1.97	PASA
100 mA	6.000	0.10003	0.100	3.7E-04	0.0008	A	2.08	PASA
200 mA	6.000	0.20007	0.201	7.3E-04	0.0007	A	2.03	PASA
RESISTENCIA								
1 kΩ	6.000	1.00229	1.004	1.7E-03	0.0006	kΩ	1.97	PASA
10 kΩ	60.00	9.999846	10.00	1.5E-04	0.0057	kΩ	1.97	PASA
100 kΩ	600.0	100.032	100.00	3.2E-02	0.0569	kΩ	1.97	PASA
1 MΩ	6.000	0.99925	0.9966	2.7E-03	0.0008	MΩ	2.08	PASA
TENSIÓN AC 60 [Hz]								
5 V AC	6.000	4.99634	4.994	2.1E-03	0.0684	V	1.97	NO PASA
10 V AC	60.00	10.1374	10.104	3.3E-02	0.0924	V	1.97	PASA
50 V AC	60.00	49.9944	49.94	5.4E-02	0.2915	V	1.98	PASA
120 V AC	600.0	120.024	119.6	4.2E-01	1.0131	V	1.97	PASA

**MEDICIONES OBTENIDAS**

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VDC					PUNTOS DE MEDICIÓN IDC [B]			
	-10 V [V]	-5 V [V]	2.5 V [V]	5 V [V]	10 V [V]	1 mA [A]	10 mA [A]	100 mA [A]	200 mA [A]
1	-9.99	-4.995	2.498	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.201
2	-9.99	-4.995	2.498	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.201
3	-9.99	-4.995	2.498	4.996	9.99	0.001	0.010	0.101	0.200
4	-9.99	-4.995	2.498	4.996	9.99	0.001	0.010	0.101	0.201
5	-9.99	-4.995	2.498	4.996	9.99	0.001	0.010	0.100	0.201

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN RESISTENCIA			
	1 kΩ [kΩ]	10 kΩ [kΩ]	100 kΩ [kΩ]	1 MΩ [MΩ]
1	1.004	10.00	100.0	0.996
2	1.004	10.00	100.0	0.996
3	1.004	10.00	100.0	0.997
4	1.004	10.00	100.0	0.997
5	1.004	10.00	100.0	0.997

N°	PUNTOS DE MEDICIÓN VAC							
	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed	Vref	Vmed
	~5V		~10 V		~50V		~120V	
1	4.991	4.991	10.15	10.12	50.054	50	120.07	119.7
2	4.997	4.988	10.146	10.11	50.022	49.97	119.9	119.5
3	4.9985	4.998	10.123	10.09	50.075	50.04	119.99	119.6
4	4.9994	4.999	10.134	10.1	49.997	49.94	120.32	119.8
5	4.9958	4.995	10.134	10.1	49.824	49.75	119.84	119.4

Para cada punto de medición por repetibilidad, se tomaron cinco mediciones. Se tomó la estimación del mensurando como el promedio de dicha repetibilidad.

**NOTA****NOTA1**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada de medición por el factor de cobertura k según grados de libertad correspondientes, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre de medida se ha determinado en base al método general en medición directa.

La representación del mensurando en cuestión viene dada por:

$$Y = M_{IBC} \pm U$$

En base a los resultados obtenidos del cálculo de incertidumbre de medición del IBC

- 1) NO cumple las especificaciones de tolerancia del fabricante, en el punto de medición de 5 V AC
- 2) No cumple el criterio de la relación 4:1 de la incertidumbre expandida vrs tolerancia del fabricante, en los puntos de medida 5 V AC, 10 V AC, 50 V AC, 120 V AC

**ABREVIATURAS**

M\_REF: Medición de referencia (patrón)  
M\_IBC: Medición de instrumento bajo calibración (multímetro)  
ERROR: Error absoluto de medición = | (M\_REF) - (M\_IBC) |  
U: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95%  
k: Factor de cobertura  
Vref: Tensión de referencia  
Vmed: Tensión de medición  
VDC: Tensión de corriente directa  
IDC: Intensidad de corriente directa