

**GUÍA DE CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN
EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA EL LABORATORIO INTERMETRO-
IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL: ELABORACIÓN
Y APLICACIÓN**

JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRÍGUEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

**GUÍA DE CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN
EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA EL LABORATORIO INTERMETRO-
IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL: ELABORACIÓN
Y APLICACIÓN.**

JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRÍGUEZ

Trabajo de grado en la modalidad de Practica empresarial presentado para
obtener el título de **INGENIERO ELECTRICISTA**

DIRECTOR

GERARDO LATORRE BAYONA

Doctor en Ingeniería Industrial

Área: Ingeniería Eléctrica

CODIRECTOR

GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

Doctor en Ingeniería Industrial

DIRECTOR EXTERNO

OSWALDO ROSSI JUNIOR

Especialista en Administración de Empresas

**DIRECTOR LABORATORIO INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E
COMERCIALIZAÇÃO.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

Este logro, es dedicado a mis padres, German Eduardo Sarmiento Peña, Pilar Rodríguez Ruiz, quienes, con su infinita confianza, amor, apoyo y consejo permitieron la realización de tantos sueños en mi vida. Uno de estos mi grado como ingeniera UIS.

A mi tía Rosa Isabel Rodríguez por todo el apoyo, consejos, oportunidades, palabras de fuerza, por estar presente durante toda mi formación profesional.

A Jonny mi compañero de batalla que me acompañó en las buenas y malas, sus consejos y ayudas enriquecieron mi vida convirtiéndose en un apoyo en los momentos más difíciles.

A todos los amigos que hice en la universidad, quienes sacaron muchas sonrisas, y quienes se me brindaron momentos inolvidables, ¡gracias y espero verlos afuera Ingenieros!

A todos y cada uno de los miembros de mi familia que me ayudaron a estar aquí, y la realización de mis metas, convirtiéndose en un impulso constante para lograr todos mis objetivos en la vida.

A todos ellos “Gracias” y que “Dios los bendiga”

JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a Dios por siempre ser el pilar, guía y protector en este camino, a mi familia, en especial a mis Padres German y Pilar por siempre haberme apoyado en esta etapa tan gratificante de mi formación profesional, a mi tía Rosa Isabel por la confianza depositada, y abrirme las puertas en caminos que complementaron mi formación como ingeniera. Agradezco por la educación brindada a la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad industrial de Santander, a todos los docentes que tuve la fortuna de conocer; en especial a: a) las profesoras María Alejandra Mantilla, Ana Beatriz Ramírez, b) Los profesores Jairo Fabian Jaimes, Hermann Vargas, Gabriel Ordóñez, José Amaya, que me brindaron de su apoyo, confianza, conocimiento y sobre todo su experiencia que me fortalecieron y contribuyeron en este paso de mi formación como profesional integra.

A los profesores Doctores Gabriel Ordóñez Plata, Gerardo Latorre Bayona por haber depositado su confianza, orientación y experiencia, por ser los gestores y mentores de la primera práctica empresarial Internacional que se realizaba en la escuela de Ingenierías E3T. Por brindar su apoyo, disposición, acompañamiento en el desarrollo del proyecto; enriqueciendo mi formación como ingeniera Electricista y como persona. Por último, agradezco por los mejores e incontables conocimientos que fueron transmitidos desde sus aulas y fuera de ella, todo el esfuerzo depositado, forman profesionales de calidad.

A todo el prestigioso cuerpo de directivas y docentes de la escuela E3T, al grupo de relaciones exteriores, que apoyaron y orientaron la realización de la práctica empresarial.

Al Doctor Oswaldo Rossi Junior, Director de la empresa anfitriona por la maravillosa oportunidad brindada, todos los conocimientos transmitidos y el apoyo incondicional en la estancia. Por abrir las puertas de su prestigiosa empresa de calibración y metrología Intermetro - importação e comercialização.

Al Ingeniero Rafael Ricotta, coordinador del laboratorio de calibración por su apoyo, su paciencia, por haber depositado su confianza en todo el trabajo realizado, por el acompañamiento, disposición y numerosos conocimientos compartidos, por compartir su experiencia en el campo profesional y todas sus enseñanzas que me van a ser de mucha utilidad en mi vida, gracias.

Con mucho amor agradezco a la familia Kodama Sadako por abrir las puertas de su casa, me sentí en casa, amor de familia, personas encantadoras que estuvieron siempre presentes y pendiente, compartiendo sus costumbres, sus festividades, sus alegrías, sus preocupaciones, en resumidas palabras porque fueron como una familia para mí, familia que llevaré para siempre en mi corazón. Agradezco a mis hermanas mayores que gané, mis hermanitas que, aunque hablemos idiomas diferentes siempre intentaron entenderme y corregirme. A Midori, Elisa, Akemy, hermanitas para toda la vida, a el nuevo integrante de la casa; sobrina. Los voy a extrañar demasiado, los espero en Colombia con los brazos bien abiertos, Familias unidas, mi casa es la casa de ustedes.

La realización de este trabajo fue posible gracias al apoyo y colaboración de un número grande de personas, entre ellos mis amigos, que siempre apoyaron y confiaron en el trajo en equipo, gracias a ellos por su compañerismo, fuerza, ayuda, dedicación, aguante, consejos, risas, trasnochadas, momentos buenos y los que no lo eran, a todos ellos gracias: Harold Díaz, Miguel Pérez, Edinson Moreno, Xiomara silva que no solo estuvieron durante esta práctica sino en todo el camino de formación académica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	20
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3 OBJETIVO GENERAL	23
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
2. MARCO METODOLÓGICO	25
2.1 METROLOGÍA	25
2.1.1 Implementación de la Metrología en las empresas.....	26
2.1.2 Categorías de la Metrología.....	26
2.1.3 Medición.....	27
2.1.3.1 Precisión y exactitud.	28
2.1.3.2 Precisión.	28
2.1.3.3 Exactitud.	28
2.1.4 Errores de la Medición.	29
2.1.4.1 Error grosero.....	29
2.1.4.2 Error sistemático.	30
2.1.4.3 Error aleatorio	31
2.1.5 Calibración de Equipos.	31
2.1.6 Definición de calibración de un equipo.	32
2.1.7 Motivo de calibrar un equipo.	32
2.1.8 Plan de Calibración.....	34
2.1.9 Resultado de la Medición.....	35
2.1.10 Incertidumbre de la Medición.	35

2.1.11 Componentes de Incertidumbre.....	36
2.1.12 Criterio de Aceptación.....	37
2.2 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN POR LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN	39
2.2.1 Consideraciones Generales.....	41
2.2.2 Evaluación de la incertidumbre estándar tipo A.	41
2.2.3 Evaluación de la incertidumbre estándar tipo B. La evaluación de la	43
2.2.4 Incertidumbre expandida de la medición en el laboratorio de calibración intermetro- importação e comercialização.	44
2.2.5 Trazabilidad de las Mediciones.....	45
3. REQUERIMIENTOS NORMATIVOS (BRASILEROS) ESTABLECIDOS EN EL PROCESO DE LA CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS: ISO/IEC 17025:2017	49
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN EN COLOMBIA.....	54
5. CONDICIONES GENERALES PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES Y GENERADORES DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS.....	57
5.1 CONDICIONES GENERALES DE CALIBRACIÓN.....	59
5.1.1 Condición pre-Calibración.....	59
5.1.2 Evaluación del equipo a calibrar.	60
5.1.3 Definición general de los puntos de medición.....	60
5.1.4 Consideraciones generales para la realización de las lecturas.....	60
5.2 CALIBRACIÓN DE MEDIDORES Y GENERADORES de magnitudes ELÉCTRICAS	61
5.2.1 Calibración de Medidores y Generadores de Tensión Eléctrica (PCE 015)..	62
5.2.1.1 Medidor de tensión eléctrica DC (Voltímetro ó Alicata amperímetro).	62
5.2.1.2 Medidor de tensión eléctrica AC (voltmetro o alicata ampermetro).....	63

5.2.1.3 Calibración de generadores de tensión eléctrica en DC.	65
5.2.1.4 Calibración de generadores de tensión eléctrica en AC	66
5.2.2 Calibración de Medidores y Generadores de Resistencia Eléctrica (Pce 013).	68
5.2.2.1 Calibración de Resistencia: Medidor (Ohmímetro).	68
5.2.2.2 Calibrador medidor de resistencia mediante década resistiva patrón.	69
5.2.2.3 Generadores de Resistencia (Cajas de décadas resistivas).....	70
5.2.3 Calibración de Medidores y Generadores de Corriente (Pce 014).....	72
5.2.3.1 Calibración de medidores de corriente eléctrica DC (multímetro - ampermetro)	72
5.2.3.2 Calibración de medidores de corriente Eléctrica AC (multímetro - ampermetro).	74
5.2.3.3 Calibración de medidores de corriente eléctrica DC [Pinza Alicate - Ampermetro].	76
5.2.3.4 Corriente Eléctrica AC (Pinza Alicate – Ampermetro).....	78
5.2.3.5 Calibración de Generadores de Corriente Eléctrica DC.....	80
5.2.4 Calibración de generadores de corriente eléctrica AC.....	81
5.2.5 Cálculo de incertidumbre.	82
5.2.6 Criterio de aceptación calibración realizada.....	82
5.2.7 Registro de resultados.	84
5.3 PLANILLA DE CALIBRACIÓN DE CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA EL LABORATORIO INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO	85
6. CONCLUSIONES	91
7. RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXOS.....	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cálculo de incertidumbre de medidores de tensión en corriente continua.	40
Tabla 2. Lista de patrones, instrumentos y equipos de apoyo para la calibración medidores y generadores de tensión.....	58
Tabla 3. Lista de patrones, instrumentos y equipos de apoyo para la calibración medidores y generadores de resistencia.	58
Tabla 4. Lista de patrones, instrumentos y equipamiento de apoyo para la calibración medidores y generadores de Corriente.....	59
Tabla 5. Ítems para la estimación de la incertidumbre de la medición.....	83
Tabla 6. Registro de los valores indicados en el instrumento de medición	86
Tabla 7. Presentación del certificado de calibración del patrón en la variable Tensión [V].....	86
Tabla 8. Cálculo de incertidumbres mediante interpolación.....	87
Tabla 9. Incertidumbre por intervalo de calibración	87
Tabla 10. Incertidumbre combinada y expandida, variable Tensión Eléctrica DC .	89
Tabla 11. Certificado de calibración multímetro Fluke 287, Tensión DC.	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Identificación de las fuentes de incertidumbre	36
Figura 2. Atribuciones de incertidumbre en la calibración de equipos de medición de energía eléctrica	37
Figura 3. Ilustración del criterio de aceptación con el resultado de la medición:	38
Figura 4. Ilustración de valor de referencia, tolerancia, medición registrada e incertidumbre.	39
Figura 5. Trazabilidad Metrológica Brasil (Izquierda) y mundial.....	46
Figura 6. Servicios de calibración acreditados por regiones [10].....	55
Figura 7. Servicios de Calibracion de equipos por magnitud de trabajo	55
Figura 8. Actividad economica a la cual pertenecen los laboratorios de calibracion [10].....	56
Figura 9. Calibrador Multifunción en función DC, conectado al multímetro en calibración.....	62
Figura 10. Calibrador multifunción en función AC, conectado al multímetro sometido al proceso de calibración.....	64
Figura 11. Configuración del multímetro patrón (HP 34401).....	65
Figura 12. Conexión Calibrador con equipo en prueba.....	66
Figura 13. Configuración del multímetro patrón (HP 34401).....	67
Figura 14. Conexión equipo Calibrador con equipo en prueba.....	67
Figura 15. Conexión calibrador multifunción con instrumento en calibración	68
Figura 16. Conexión calibrador multifunción con equipo a calibrar.....	70
Figura 17. Configuración Multímetro Patrón HP 34401(4 hilos), con década resistiva.....	71
Figura 18. Configuración Multímetro Patrón HP 34401(2 hilos), con década resistiva.....	71

Figura 19. Conexión entre calibrador multifunción modo Corriente DC con el equipo en prueba.	73
Figura 20. Esquema para calibración de corriente DC mayor a 2 Amper	74
Figura 21. Conexión calibrador multifunción modo corriente AC con el equipo en Calibración.	75
Figura 22. Esquema para calibración de corriente AC mayor a 2 Amper	76
Figura 23. Conexión para la calibración de Corriente Eléctrica DC < 2 [A] con medidor a calibrar.	77
Figura 24. Esquema de conexión para la calibración de Corriente Eléctrica DC mayor a 2 A.....	78
Figura 25. Conexión para la calibración de Corriente Eléctrica AC < 2[A] con medidor a calibrar.	78
Figura 26. Conexión del sistema de calibración de corriente eléctrica AC > 2[A] con medidor sometido a calibración.....	79
Figura 27. Configuración Multímetro Patrón HP 34401, Corriente Electrica DC. ...	80
Figura 28. Conexión entre el multímetro patrón y el equipo obre calibración.	81
Figura 29. Esquema para la calibración de generadores de corriente eléctrica AC.	82
Figura 30. Indicadores de Desempeño- Resultados de rendimiento laboratorio acreditado RBC área Eléctrica 2018.....	85

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Glosario de Términos	97
Anexo B. Factores de Alcance Obtenidos a partir de los Grados de Libertad Efectivos	100
Anexo C. Tabla de Distribución t-student.....	102
Anexo D. Certificado de calibración RBC de un medidor de Multímetro digital por el laboratorio de calibración INTERMETRO.	103
Anexo E. Certificado de calibración RBC de un medidor de Multímetro digital por el laboratorio de calibración INTERMETRO.	105
Anexo F. Certificado de calibración RBC de un medidor de Ampermetro digital por el laboratorio de calibración INTERMETRO	107
Anexo G. Certificado de calibración RBC de un medidor de Ampermetro digital por el laboratorio de calibración INTERMETRO	109
Anexo H. Certificado de calibración RBC de un medidor de Multímetro Fluke 270 digital por el laboratorio de calibración INTERMETRO	111
Anexo I. Carta actividades realizadas en la partica empresarial en laboratorio INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL	114
Anexo J. Carta invitación al laboratorio INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL.....	115
Anexo K. Carta acompañamiento en proceso de acreditación RBC en el área eléctrica durante la partica empresarial en laboratorio INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL.....	116
Anexo L. Certificado de entrenamiento para la capacitación laboratorial en cálculo de incertidumbre de las mediciones, REMESP	117
Anexo M. Certificado de entrenamiento para la capacitación laboratorial en interpretación de la norma ISO/IEC 17025:2017, REMESP	118

RESUMEN

TÍTULO: GUÍA DE CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA EL LABORATORIO INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL: ELABORACIÓN Y APLICACIÓN*

AUTORES: JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRÍGUEZ**

PALABRAS CLAVES: Metrología, medición directa, incertidumbre, cálculo de incertidumbre.

DESCRIPCIÓN:

En esta práctica empresarial se elaboró una guía para la calibración de equipos de medición y generación de parámetros de variables eléctricas que es utilizada en el laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**, esto teniendo en cuenta normatividad establecida y procedimientos realizados por el laboratorio¹ anteriormente como base fundamental y orientación para la elaboración de la guía de calibración parámetros de variables eléctricas, además de la norma ABNT ISO/IEC 17025: 2017. El documento es una guía en la que se describen los diferentes aspectos de la metrología industrial eléctrica brasilera. Se describe en base a la calibración de parámetros de variables eléctricas en equipos que midan y generen señales de tensión, corriente y resistencia eléctrica, el estudio de criterios en la estimación de incertidumbres en medidas, y los demás procedimientos en la presentación de certificados de calibración aptos para su comercialización. Esto también incluyendo los diferentes entrenamientos, certificaciones y soportes realizados en la estancia como practicante; resaltando la importancia en el cumplimiento de los requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración y ensayo, pilar de cada uno de los procedimientos que se realizan en la empresa **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**.

*Trabajo de grado

**Universidad Industrial de Santander, Escuelas de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Director Gerardo Latorre Bayona, Codirector Gabriel Ordóñez Plata, Director Externo Oswaldo Rossi Junior

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração ISO/IEC 17025 A. Tercera edición, 2017.

ABSTRACT

TITLE: CALIBRATION GUIDE FOR ELECTRICAL VARIABLE PARAMETERS IN MEASUREMENT EQUIPMENT FOR THE INTERMETRO- IMPORTAÇÃO AND COMERCIALIZAÇÃO LABORATORY, SÃO PAULO / BRAZIL: DEVELOPMENT AND APPLICATION*

AUTHORS: JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRÍGUEZ**

KEY WORDS: Metrology, direct measurement, uncertainty, calculation of uncertainty.

DESCRIPTION:

In this intership is seeked a guide was prepared for the calibration guide of measurement and generation equipment of parameters of electrical variables that is used in the INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO / BRAZIL laboratory, considering into account established regulations and procedures performed by the previous laboratory² as a fundamental basis and guidance for the preparation of the calibration guide for parameters of electrical variables, in addition to the ABNT ISO/IEC 17025: 2017 standard. The document is a guide in which are described the different aspects of Brazilian electrical industrial metrology. It is described based on the calibration of parameters of electrical variables in equipment that measure and generate voltage, current and electrical resistance signals, the study of uncertainties in measurement estimation criteria, and the other procedures in the presentation of qualified calibration certificates suitable for marketing and commercialization. This also includes the different trainings, certifications and supports carried out in the ranch as a practitioner; highlighting the importance in the fulfillment of the general requirements for the competence of calibration and testing laboratories, pillar of each of the procedures carried out in the company INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO / BRAZIL.

* Dissertation

**Universidad Industrial de Santander, Escuelas de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Director Gerardo Latorre Bayona, Codirector Gabriel Ordóñez Plata, Director Externo Oswaldo Rossi Junior

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração ISO/IEC 17025 A. Tercera edição, 2017.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la metrología pasó a formar parte de nuestro día a día, el conocimiento de esta temática es esencial para cualquier profesional en las ramas de las ciencias aplicadas y administrativas³, donde la calidad del resultado de investigaciones y la calidad de los productos deben estar ligadas a una certificación de los procesos de medición. Por ejemplo, los consumos diarios de agua, la energía eléctrica, el teléfono, los radares en las calles, los exámenes de sangre, la temperatura controlada de un aire acondicionado, entre otras magnitudes, se miden y pagamos por los resultados de las mediciones realizadas.

Los instrumentos de medida sirven como una extensión de las facultades humanas, y ser tan simple como una regeneración. Con la evolución de la tecnología y de las técnicas de medición, los instrumentos pasaron a ser más elaborados y de mejor exactitud, de múltiples recursos y usos, exigiendo de su operador el conocimiento del principio de funcionamiento y de los recursos incorporados, para utilizarlos de manera eficiente⁴.

La calibración de equipos y sistemas de medición de variables Eléctricas, en cualquier campo que se requiera su uso, tiene la rigurosidad de cumplir normativas nacionales (y/o internacionales; cuando sea necesario) de competencia para la prestación de servicios de calidad y seguridad para el consumidor. La necesidad de estos procedimientos radica en qué condiciones de envejecimiento, cambio de temperatura, estrés mecánico y/o mal uso sobre el equipo, que conlleva al deterioro de sus funciones y a la generación de mediciones erradas que pueden afectar la seguridad industrial y la calidad del producto.

³ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

⁴ ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

En la industria la medición se utiliza para controlar sus procesos, sus materias primas y sus productos finales, garantizando la calidad y garantía de sus negocios. La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad, fiabilidad y trazabilidad de que las mediciones obtenidas van a reunir las especificaciones necesarias para su aplicación. Todas ellas sin excepción, requieren de la existencia de un órgano de supervisión encargado de mantener la calidad dentro de los trabajos y servicios de la empresa interesada, la cual organice y controle una periódica calibración de los instrumentos de medición y ensayo dependiendo su importancia, cantidad de uso o exigencia de norma a seguir; en otras palabras, contar con un control metrológico que se encargue de mantener la confiabilidad y calidad de las mediciones realizadas⁵.

El concepto de incertidumbre como atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de la medición. En los años 30 se promulgó la primera legislación en el marco de una "Ley de Metrología". Sin embargo, la implantación de un control metrológico a nivel nacional (Brasil, ubicación empresa anfitriona), sólo se inició a partir de los años 60 con la creación del Instituto Nacional de Pesos y Medidas – INPM⁶.

La Guía de calibración esta destinada al campo de las mediciones de parámetros de variables eléctricas en equipos de medición y generación, realizada para el análisis de las fuentes de error en el ejercicio práctico de la ciencia de medir para el laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**. Se establece una serie las reglas y procedimientos generales para la evaluación, calibración y expresión de la incertidumbre de las medidas. La Guía tiene como base las Recomendaciones del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), comité para electricidad y Magnetismo (CEM): Instituto Nacional

⁵ GOSS, Treg. Better Calibration. En: Better Quality, No. 5 Ways to Improve Both. 2016.

⁶ ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

de Metrología, Calidad y Tecnología “INMETRO, Rio de Janeiro” y la reglamentación exigida por la norma ISO/IEC 17025.

En la actualidad el Laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO**, trabaja bajo el área de ensayo no destructivos (END), siendo en Brasil este método considerado uno de los más desarrollados y con un alto nivel de implementación. Los END son usados para la evaluación de la integridad de los materiales, equipos, productos, y como herramienta de apoyo de análisis de evaluación de riesgo en la operación de instalaciones industriales.

En el desarrollo de esta práctica se aportó en: a) Los procedimientos de calibración en medidores de variables eléctricas, como: multímetro, ampermetro, ampermetro tipo pinza, década resistiva, Telurómetro, Megometro, entre otros, b) Los formularios para el cálculo de la mejor incertidumbre (capacidad del laboratorio) y c) La actualización y mejora de la planilla de registro de calibración, la cual fue creada para el Laboratorio Intermetro en el proceso de acreditación, y enviada al Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología (INMETRO) para la certificación y acreditación de ésta.

Este trabajo de grado elaboró la guía para la calibración de parámetros de variables eléctricas que es utilizada en el laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO** - teniendo en cuenta normativas vigentes y procedimientos realizados por la empresa - y permite presentar un informe de calibración de equipos eléctricos.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

A continuación, se muestra las generalidades del proyecto realizado, las cuales permitirán al lector conocer un poco más acerca de este trabajo.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad los laboratorios de metrología y calibración de equipos se han convertido en uno de los principales aliados en la producción investigativa, comercial e industrial; ya que permiten garantizar la calidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan, tanto así, que ofrece mayor seguridad en la toma de datos, previene fallas y accidentes, y promueve resultados más aptos para el consumidor⁷.

Los laboratorios de calibración y metrología que prestan este servicio deben tener competencia al ofrecer sus actividades, además de ser certificados por una entidad rastreable, y del cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025. Esto permitirá demostrar que el laboratorio está técnicamente capacitado y es competente para de generar resultados confiables y validos técnicamente⁸.

En las aplicaciones investigativas, industriales y comerciales, así como en las áreas de la salud y de la seguridad industrial, es necesario proporcionar un intervalo donde el resultado de la medición se encuentre, este va directamente relacionado con la incertidumbre del resultado, el cual dará a conocer el rango donde se espera encontrar la mayor cantidad de valores medidos, es decir que la forma correcta de evaluar y expresar el resultado de una medición es mediante la magnitud atribuida al mensurando, adicionando la incertidumbre de ésta. Concluyendo en este proceso

⁷ BRASIL. CONFEDERCAO NACIONAL DA INDUSTRIA. Metrología conhcendo e aplicando na sua empresa. Basilia. 2002

⁸ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

la medición un rango o intervalo en el cual se encuentre la medición con un nivel de confianza esperado, requerido y/o exigido normativamente por cada país en su interés⁹.

El término de metrología está íntimamente relacionada a la normalización, evaluación y conformidad; las tres funciones interfieren directamente con la calidad de un producto o servicio; la búsqueda de la metrología como diferenciador tecnológico y comercial para las empresas es hoy en día una verdadera cuestión de sobrevivencia en el mercado¹⁰.

La Guía de calibración cobra importancia para la adopción del sistema de calidad y acreditación del laboratorio, ya que uno de los principales pasos es la creación y actualización de toda la documentación relacionada con cada uno de los procesos que se realizan en el laboratorio, y es en este momento donde la norma ISO/IEC 17025 se convierte en uno de los principales modelos de apoyo que rigen el buen desarrollo de los procesos, ofreciendo credibilidad, confiabilidad y reconocimiento a los procedimientos que se realizaran bajo la norma.

En este campo, el laboratorio empresa **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO**, sigue diariamente los esfuerzos en dirección de construir una infraestructura ejemplar de las redes de laboratorios nacionales de metrología, que sin duda tiene un papel fundamental en el desarrollo de la competencia de la industria brasilera.

Es por esto por lo que se plantea el diseño La Guía de calibración de parámetros de variables eléctricas en equipos de medición para el laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**. Donde se presentan para las magnitudes de tensión, resistencia y corriente Eléctrica

⁹ GOSS, Treg. Better Calibration. En: Better Quality, No. 5 Ways to Improve Both. 2016.

¹⁰ BRASIL. CONFEDERCAO NACIONAL DA INDUSTRIA. Metrología conhcendo e aplicando na sua empresa. Basília. 2002.

(principalmente) un sistema de calibración y certificación en estas unidades. Esta guía se realiza con supervisión y apoyo en el fortalecimiento de los procedimientos de calidad y certificación del reconocido laboratorio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento tecnológico y la rigurosidad legislativa del el sector eléctrico han ocasionado en los últimos años que la metrología y la calibración de equipos tengan una gran aceptación, por esto las diferentes empresas de energía eléctrica deben ceñirse a procedimientos exigidos en normas.

En el caso del sector colombiano se tiene entre otras: RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) y las resoluciones de la CREG (*Comisión de Regulación de Energía y Gas*), las cuales hacen énfasis en los requisitos técnicos y la idoneidad de organismos de certificación e inspección, así como laboratorios de ensayo y de metrología.

En todo el proceso de compra y venta de energía eléctrica, es importante contar con mediciones de variables eléctricas adecuadas; es decir, con el mínimo margen de incertidumbre y con la confiabilidad que el valor obtenido puede ser usado. Esto debido a que una mala medición afectaría tanto a la empresa encargadas de generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica, como al usuario final. En consecuencia, la empresa debe contar con un certificado de calibración vigente de los parámetros eléctricos que miden sus equipos, y estar sometidos a un aseguramiento metrológico; actividad que se realiza en un laboratorio de metrología que debe ser competente e idóneo (acreditado por el organismo nacional de acreditación), para determinar la aptitud o funcionamiento de los equipos de medición.

Las empresas deben relacionarse con el término de calibración de los equipos de medición, ya que es un componente muy importante en función de la calidad de los procesos productivos, de esa forma deben incorporarse a las actividades normativas de fabricación. La calibración es una oportunidad de mejora constante y proporciona ventajas diferenciales a las empresas como son: la reducción de variaciones en producción, la prevención de defectos, evita desperdicio de material, compatibilidad de las mediciones referenciadas a los patrones nacionales e internacionales el cual brindan aseguramiento técnico del desempeño y agregan competitividad en el mercado a las empresas.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía para la calibración de parámetros de variables eléctricas que pueda ser utilizada en el laboratorio **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL** - teniendo en cuenta normativas vigentes y procedimientos realizados por la empresa - y presentar un informe de calibración de equipos eléctricos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los requerimientos normativos (brasileros) establecidos en el proceso de la calibración de parámetros de variables eléctricas, para los equipos utilizados en la Empresa **INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**.
- Recopilar información de calibraciones de parámetros de variables eléctricas realizadas en laboratorios de metrología colombianos, con el fin de apoyar la ejecución de la primera fase del proyecto y anexarlos como punto de partida en el desarrollo de la guía de calibración de equipos eléctricos.
- Referenciar los procedimientos utilizados en la calibración de parámetros de variables eléctricas, mediante la caracterización de métodos y cálculos

matemáticos empleados para la estimación de la incertidumbre en la medición; con soporte en la norma ISO/IEC 17025.

- Emplear los procedimientos de calibración para la realización de los informes y certificados de calibración para el laboratorio de metrología **INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL.**

2. MARCO METODOLÓGICO

Los sistemas de calidad industrial se desarrollan con el fin de minimizar los problemas durante la producción y fabricación asegurando que todos los productos sean satisfactorios¹¹, para atender esta necesidad la asociación brasilera de normas técnicas (ABNT) acogió los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración (ISO /IEC 17025:2017), y bajo este criterio surgieron organizaciones de acreditación encargadas de asegurar el cumplimiento metrológico.

El objetivo de una medición es determinar el valor de una magnitud, esto es la representación particular de una cantidad medible. En general el resultado de una medición es una aproximación o una estimación, y para ello la medición solo es admisible si está acompañado por la incertidumbre¹².

A continuación, se contextualizará la terminología para comprender este trabajo, basado en el estudio de la calibración de equipos de variables eléctricas, además se establecen los principios y requisitos para la evaluación de la incertidumbre de la medición en la calibración de equipos. Y finalmente se resaltarán algunos puntos de la norma ISO/IEC 17025:2017.

2.1 METROLOGÍA

Palabra de origen griego (metro, medida, logos, tratado), es la ciencia de los pesos y medidas o, si se quiere, la ciencia de la instrumentación y de las medidas con ella realizadas. Actualmente, esta designación está más estrechamente vinculada al ámbito de las medidas de alta exactitud.

¹¹ GOSS, Treg. Better Calibration. En: Better Quality, No. 5 Ways to Improve Both. 2016.


¹² BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Tercera edición. Rio de Janeiro. 2013.

El objetivo central de Metrología es la determinación del valor numérico de una magnitud mensurable mediante la ejecución de un conjunto de operaciones, medida o medición, utilizando dispositivos apropiados, aparatos o instrumentos de medida o de medición^{13,14}.

El concepto de magnitud medible es aplicable a todo atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia susceptible de ser caracterizado cualitativa y cuantitativamente. Aunque la medida de algunas magnitudes físicas elementales ha sido iniciada hace miles de años, se puede decir que sólo en el siglo XVI con los trabajos del polaco Nicolau Copérnico (1473-1543) y especialmente del danés Tycho Brahe (1546-1601), nace la ciencia y la medida como tal¹⁵.

2.1.1 Implementación de la Metrología en las empresas. El motivo de la implantación de la metrología viene en relación con la garantía de la calidad y la confiabilidad en los sistemas de medición, esto en función de la normatividad nacional y/o internacional que proporcione las condiciones de aceptación de productos finales. Es decir, que independientemente del lugar de fabricación, si las directrices del control sobre los instrumentos de medición de una empresa se mantienen se va a proporcionar las condiciones de aceptación en el montaje y encaje de las partes de productos finales. Es en este punto es donde nace la necesidad de implantar un proceso metrológico certificado el cual es un diferenciador tecnológico y comercial para las empresas¹⁶.

2.1.2 Categorías de la Metrología. La metrología se divide en 3 grandes áreas:

 **Metrología científica:** Utiliza instrumentos de laboratorio, investigaciones y metodologías científicas, que se basan en estándares de medición nacionales e internacionales, para el alcance de altos niveles de calidad metrológica.

¹³ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. Ginebra, 1993.

¹⁴ BIRCH, Keith. Estimating Uncertainties in Testing. United Kingdom. HMSO. 2003.

¹⁵ ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

¹⁶ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

- ✚ **Metrología industrial:** Su función es calibrar y controlar todos los equipos de medición empleados en producción, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de normatividad en este ámbito. En caso de medición de parámetros eléctricos los seguimientos de los equipos realizados se realizan a frecuencias establecidas. La calibración debe hacerse con equipos que cuenten con certificados de calibración.
- ✚ **Metrología legal:** Procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por autoridades públicas que especifican y aseguran de forma regulatoria o contractual la calidad y credibilidad de las mediciones¹⁷.

2.1.3 Medición. Se entiende por medición un conjunto de operaciones que tiene por objetivo asignar un valor a una magnitud de un determinado fenómeno. Por ejemplo, evaluar el consumo de energía eléctrica, detectar fallas o defectos, minimizar o eliminar los riesgos en la línea de producción, etc¹⁸.

Desde el punto de vista metrológico se espera que una medición sea exacta, precisa y reproducible, para ello se deben aclarar primero estos tres términos:

- ✚ **EXACTA:** Más próximo al valor de referencia
- ✚ **PRECISA (REPETITIVA):** Poca o ninguna diferencia entre las mediciones realizadas, demuestra la fidelidad, además hacer referencia a la dispersión de las mediciones.
- ✚ **REPRODUCIBILIDAD:** Poca o ninguna diferencia entre las mediciones realizadas sobre diferentes condiciones ambientales, profesional encargado de la medición, procedimiento certificado¹⁹.

¹⁷ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

¹⁸ BRASIL. INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia. Rio de Janeiro, 2009

¹⁹ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

2.1.3.1 Precisión y exactitud. En metrología, los términos "exactitud" y "precisión" se consideran características de un proceso de medición. La exactitud está asociada a la proximidad del valor verdadero y la precisión está asociada a la dispersión de los valores resultantes de una serie de medidas.

2.1.3.2 Precisión. Característica de un instrumento de medición para proporcionar resultados repetitivos cuando se mide el mismo mensurando, bajo las mismas condiciones. Define la capacidad de un instrumento en reproducir los resultados indicados por el equipo en una medición; tener en cuenta que, aunque no sea correcto el valor medido, el instrumento puede ser preciso.

Matemáticamente la precisión se define mediante la desviación estándar de una serie de medidas de una misma muestra o un mismo punto. Cuanto mayor sea la desviación estándar, menor es la precisión del equipo; **ecuación (2.3)**^{20,21}.

2.1.3.3 Exactitud. Característica de un instrumento para dar respuestas cercanas al valor verdadero medido. Capacidad que el instrumento de medición proporcione un resultado correcto. Un equipo exacto es el que después de una serie de mediciones nos muestra el valor medio cercano al real. Un equipo puede tener una desviación estándar elevada; presenta una baja precisión, pero ser exacto.

Un equipo preciso e inexacto es capaz de proporcionar resultados reproductivos, pero incorrectos, y un equipo exacto e impreciso, es capaz de proporcionar resultados correctos, pero con una gran variación entre las medidas. Esto significa que, en este caso, es necesario un gran número de mediciones para tener un resultado medio confiable, y estadísticamente válido.

²⁰ ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015

²¹ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

La exactitud está relacionada con la incertidumbre sistemática de la medición (Valor medio- valor de referencia); esta se evaluará mediante la calibración del instrumento^{22,23}.

2.1.4 Errores de la Medición. Difícilmente se obtienen resultados en las calibraciones 100% exactas, es decir, exenta de errores. En realidad, lo que se debe es conocer y mantener estos errores dentro de límites aceptables. El operador debe dominar al menos tres tipos de error que provocan una influencia aditiva en error de medición: el error grosero, el error sistemático y el error aleatorio.

2.1.4.1 Error grosero. El error grosero es aquel cuyo valor encontrado difiere mucho de todos los demás; en un conjunto de mediciones. Los errores groseros, normalmente, corresponden a un solo valor que debe ser considerado cuando se identifica.

Las causas para la aparición de este error pueden ser:

- ✚ Lectura errónea.
- ✚ Defecto del sistema de medición.
- ✚ Manipulación indebida.
- ✚ Anotación incorrecta.
- ✚ Descuento con paralaje.
- ✚ Defecto en el sistema de medición, entre otras.

Aunque la eliminación completa del error grosero es imposible, su causa debe ser detectada y reducida, principalmente con entrenamiento del personal involucrado. Los errores los groseros ocurren cuando se atribuye falta de cuidado o malos hábitos.

²² ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

²³ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

2.1.4.2 Error sistemático. El error sistemático instrumental es básicamente el error que resulta de la calibración de un equipo de medición. Además del error de calibración inicial se debe tener en cuenta que el proceso de calibración puede ser alterado en función a diferentes factores, tales como temperatura, alteración de las características de los materiales y componentes, desgaste electrónico y demás factores mecánicos y/o eléctricos.

El error sistemático más común es debido al efecto de paralaje en la lectura, este error en un instrumento analógico es consecuencia de una alineación incorrecta del técnico con el equipo de medición.

Estos tipos de errores, en principio, pueden ser reducidos o llegar hasta prácticamente ser eliminados por medio de una re-calibración y ajuste al instrumento de medición o corrección de los resultados^{24,25}.

Este error puede deberse a varios motivos, como:

- ✚ Desgaste del sistema de medición.
- ✚ Ajustes en el instrumento de medición.
- ✚ Factores constructivos
- ✚ Método de medición
- ✚ Condiciones ambientales

La mayoría de las veces el error sistemático no es constante en el rango de operación del sistema de medición, haciéndolo de difícil previsión. Este error puede ser eliminado en la calibración, pues normalmente se presenta linealmente.

²⁴ ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

²⁵ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

2.1.4.3 Error aleatorio. El error aleatorio es la diferencia entre el resultado de una medición y el promedio de un determinado número de mediciones. Los factores que contribuyen a la aparición del error aleatorio pueden deberse a:

- ✚ Fricciones
- ✚ Vibraciones
- ✚ Fluctuaciones en la red de alimentación
- ✚ Inestabilidad interna
- ✚ Condiciones ambientales

Estos errores difícilmente pueden ser eliminados, pues ocasionan mediciones esparcidas más o menos simétricamente alrededor del valor medio²⁶.

2.1.5 Calibración de Equipos. El término "calibración" es originado antes del advenimiento de los actuales sistemas de gestión calidad. Las normas reglamentarias fueron producidas hasta los años 80 donde denominaban la calibración de equipos a aquella actividad habitual de verificar si los equipos utilizados en los procesos de END estaban operando correctamente antes del inicio de las operaciones mediante la verificación simplificada del rendimiento operativo de los mismos²⁷.

La moderna nomenclatura de metrología internacional expresada a través del documento VIM-Vocabulario Internacional de Metrología (adoptado oficialmente en Brasil y publicado por el INMETRO- Instituto Nacional de metrología) aclara ampliamente el concepto de calibración; definiéndola como una actividad específica y periódica, diferenciada del día a día de los trabajos normales, realizada en condiciones especiales, predefinidas, controladas y absolutamente reproducibles, aplicadas bajo procedimientos escritos y previamente validados, utilizando patrones

²⁶ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

²⁷ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

específicos y calibrados, rastreables a patrones de mayor jerarquía nacional y de forma controlada²⁸.

2.1.6 Definición de calibración de un equipo. Calibrar un equipo o instrumento de medición es comparar los resultados de las medidas presentadas por el equipo con los valores presentados por estándares o patrones de alta confiabilidad, en condiciones controladas de laboratorio. El patrón es considerado la referencia y el valor más cercano al verdadero. Por condiciones controladas de laboratorio se entiende que el ejecutor de la calibración deba utilizar^{29,30}:

- Patrones de reconocida idoneidad, jerárquica y metrológicamente superiores al instrumento a calibrar.
- Procedimientos propios, con especificaciones y validados para el uso por organismo de acreditación.
- Mano de obra (técnica) específicamente entrenada para la actividad de calibración.
- Condiciones ambientales conocidas, controladas y reproducibles.
- Un criterio de frecuencia o de periodicidad para la re-calibración de los patrones de calibración.

2.1.7 Motivo para calibrar un equipo. La calibración de equipos tiene como objetivo asegurar que los instrumentos de medida sean estables y pueden proporcionar valores de medición fiables en cualquier condición de trabajo para las cuales fue diseñado, producido y destinado. Es un hecho que instrumentos y equipos que ejecutan medidas y que estén fuera de la tolerancia (OOT - Out of Tolerance) de la precisión y de la exactitud planeadas para el mismo, pueden generar falsas informaciones que lleva a productos sin fiabilidad, insatisfacción de

²⁸ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013.

²⁹ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

³⁰ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

los clientes, pérdida de material, pérdida de trabajo, y principalmente, ocasionando un aumento del riesgo del uso del material o del equipo ensayado^{31,32}.

A menudo los usuarios de instrumentos no entienden el por qué un instrumento de medición debe ser calibrados, los motivos e importancia de mantener la calidad y seguridad metrológica en la producción. Las empresas y sus colaboradores deben entender que la calibración de los equipos de medición es un componente importante en la función de calidad del proceso productivo y, de esa forma, deben incorporarla a sus actividades normales de producción. Para ello la norma ISO-9000 establece los requerimientos seguir en las empresas que contribuyen a la calidad de servicios prestados³³.

La calibración es una oportunidad de mejora constante y proporciona ventajas, tales como:

- ✚ Reducción en la variación de las especificaciones técnicas de los productos. Productos más uniformes representan una ventaja competitiva frente a los competidores.
- ✚ Prevención de los defectos. La reducción de pérdidas por la pronta detección de desviaciones en el proceso productivo evita el desperdicio y la producción de residuos.
- ✚ Compatibilidad de las mediciones.
- ✚ Cuando las calibraciones se refieren a los patrones nacionales o internacionales, aseguran el cumplimiento de los requisitos de rendimiento.

Es necesario un patrón reconocido nacionalmente y/o internacionalmente. Se hace necesaria una metodología aplicada y debidamente validada, cálculos de incertidumbre para todas las medidas, ambiente controlado para la temperatura,

³¹ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

³² GOSS, Treg. Better Calibration. En: Better Quality, No. 5 Ways to Improve Both. 2016.

³³ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

humedad, ruido, vibración y presión atmosférica (sí es necesario), y una serie de otros factores que influyen directamente en los resultados de una calibración.

El laboratorio de calibración debe garantizar:

- ✚ La calidad de sus mediciones
- ✚ Que su sistema de calidad es eficaz
- ✚ La trazabilidad de sus patrones
- ✚ Que su personal es competente

La norma ABNT NBR ISO / IEC 17025 es uno de los documentos que los laboratorios (inclusive los de las industrias) utilizan para realizar sus manuales, instrucciones y procedimientos.

2.1.8 Plan de Calibración. Además de la calibración es necesario un "Plan de Calibración" definido por el usuario informando la fecha de la última y la fecha de la próxima calibración. Cada instrumento o sistema de medición debe tener una ficha con todo su historial de calibración, mantenimiento, ajustes, etc., es decir, de todo lo que ocurrió con el instrumento. El contenido mínimo es el siguiente^{34,35}:

- ✚ Nombre del equipo.
- ✚ Nombre del fabricante, modelo y número de identificación.
- ✚ Comprobar que el equipo cumple con las especificaciones.
- ✚ Ubicación actual, si es apropiado.
- ✚ Instrucciones importantes del fabricante.
- ✚ Fechas, resultados y copia de todos los certificados.
- ✚ Criterios de aceptación.
- ✚ Plan de mantenimiento, cuando sea necesario.
- ✚ Cualquier daño, mal funcionamiento, reparaciones, etc.

³⁴ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

³⁵ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

2.1.9 Resultado de la medición. En la expresión del resultado de la medición se puede observar la precisión y exactitud de un equipo de medición, de este depende el error sistemático y la incertidumbre de la medida; es decir que la medición se encuentra incompleta hasta no presentar y declarar la incertidumbre asociada dentro de la cual el valor verdadero del mensurando se encontrará con un nivel de confianza establecido. Para el cálculo cuantitativo del resultado de la medición se tiene en cuenta la siguiente expresión^{36,37}:

Resultado = Média (de las medidas) – Error sistemático \pm Incertidumbre de medición (2.1)

2.1.10 Incertidumbre de la Medición. Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser fundamentalmente atribuidos al mensurando (ISO GUM VER. 1995)

La incertidumbre de la medición refleja la falta de conocimiento del valor de la medida, entiéndase como medición a la mejor estimación del mensurando. Por lo tanto, se hace necesario realizar la adecuada aplicación metroológica para llevar a cabo el procedimiento de calibración de variables eléctricas^{38,39}. La Figura 1 muestra las fuentes de incertidumbre de un proceso de medida.

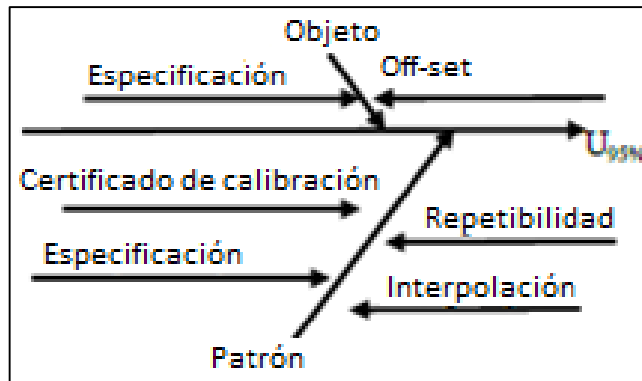
³⁶ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

³⁷ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

³⁸ BRASIL. INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia. Rio de Janeiro, 2009

³⁹ CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008

Figura 1. Identificación de las fuentes de incertidumbre⁴⁰.



Como se observa en la Figura 1, para hallar la incertidumbre combinada de la medición, es preciso identificar y cuantificar las fuentes de incertidumbre implicadas en la medida, para evaluar a partir de éstas sus respectivas incertidumbres estándar. Se hará entonces un análisis de las fuentes de incertidumbre en cada uno de los dos equipos, se evaluarán las incertidumbres estándar aportadas por cada equipo para luego mezclar estas en una sola incertidumbre combinada total asociada al error de medición^{41,42}.

2.1.11 Componentes de Incertidumbre. Se recomienda que para a la evaluación de la incertidumbre de medición, se tengan al menos en cuenta los siguientes componentes de incertidumbre en la calibración de equipos de variables eléctricas^{43,44,45}:

- ✚ La variabilidad de las lecturas;
- ✚ La resolución del instrumento bajo calibración;

⁴⁰ BRASIL. INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO (ITEP). Procedimento de calibração orientado a otimização do processo. Recife.

⁴¹ LLAMOSA, Luis Enrique; GÓMEZ, José Del C.; RAMÍREZ, Andrés Felipe. Metodología para la estimación de la incertidumbre en mediciones directas. En: Scientia et technica, 2009, vol. 1, no 41.

⁴² MARTINEZ, Wolfgang, SCHMID, Rubén y LAZOS, Juan. Guía para la estimación de incertidumbre de la medición CENAN. Mexico: El Marqués. 2000.

⁴³ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

⁴⁴ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

⁴⁵ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

- ✚ Las condiciones ambientales;
- ✚ La resolución, efectivamente utilizada, de lectura del estándar;
- ✚ La incertidumbre de calibración del patrón utilizado, declarada en el certificado de calibración;
- ✚ La exactitud del patrón utilizado.

Figura 2. Atribuciones de incertidumbre en la calibración de equipos de medición de energía eléctrica⁴⁶.



En la Figura 2 se ilustran las atribuciones de incertidumbre que se deben tener en cuenta en la calibración de equipos de medición de energía eléctrica.

2.1.12 Criterio de Aceptación. Todos los instrumentos que se utilizan en la línea de producción y que afecten calidad del producto deben ser calibrados, y todos los instrumentos de las mediciones que se calibran deben tener un criterio de aceptación definido en base a la exigencia normativa, de la empresa, o de los resultados finales presentados en el certificado de calibración⁴⁷.

Para determinar un criterio de aceptación de un determinado instrumento es necesario tener conocimientos de:

- ✚ Normas técnicas
- ✚ Proceso de medición

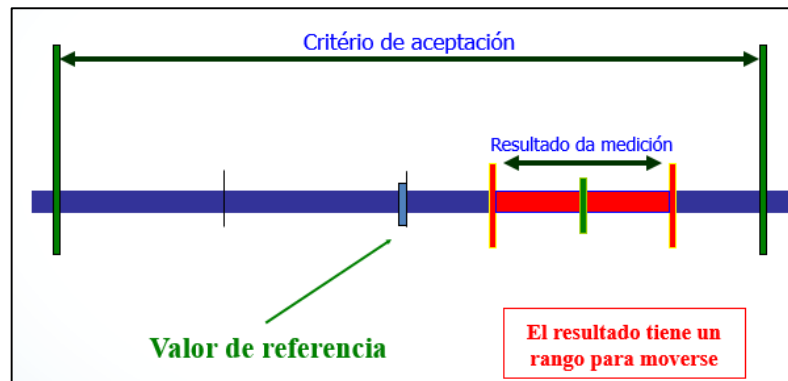
⁴⁶ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

⁴⁷ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

- ✚ Características del instrumento (especificaciones técnicas)
- ✚ Incertidumbre de medición obtenida en la calibración

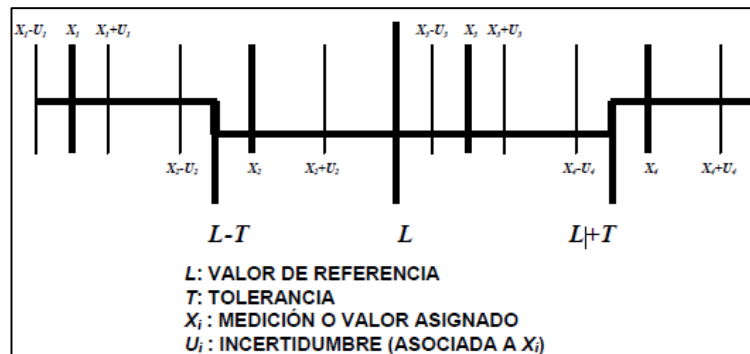
Tener conocimientos sobre las normas técnicas vigentes, el proceso de medición y las características del instrumento son fundamentales para determinar un criterio de aceptación. Sin embargo, INMETRO (Instituto Nacional de metrología) recomienda que el criterio de aceptación sea entre 3 y 10 veces el valor de la incertidumbre de medición para que tenga una pista en la que el error puede variar. Donde, el usuario solicita al laboratorio una propuesta de calibración, el mismo indica cuál es el rango de medición y la menor incertidumbre que se logra en esta calibración, de ahí el usuario decide si calibrar o no en este laboratorio con la previsión de la incertidumbre de medición informada^{48,49}.

Figura 3. Ilustración del criterio de aceptación con el resultado de la medición^{50,51}.



⁴⁸ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013
⁴⁹ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.
⁵⁰ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012
⁵¹ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

Figura 4. Ilustración de valor de referencia, tolerancia, medición registrada e incertidumbre⁵².



En la Figura 4, se observa la ilustración del criterio de aceptación con el resultado de la medición, el cual es donde es admisible que el resultado pueda moverse en ese rango. En la Figura 5, se tiene la relación de valor de referencia, tolerancia, medición registrada e incertidumbre de cuatro (4) diferentes equipos medidores de energía X1, X2, X3, y X4, donde se muestra su error e incertidumbre de cada uno de ellos. Se observa que el único medidor que cuenta con las condiciones para ser aprobado es el equipo X3, ya que su error e incertidumbre son menores al criterio de aceptación.

2.2 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN POR LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN

La NMX-CH-140-IMNC-2002 “Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones” define la incertidumbre como: parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando^{53,54}. Es decir, se define como el intervalo estadístico dentro del cual se tiene una probabilidad de encontrar el valor verdadero.

⁵² COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA COMERCIO, LABORATORIO DE POTENCIA Y ENERGÍA. Expresión de incertidumbre en la calibración de equipos de medición. 2009.

⁵³ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

⁵⁴ CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008.

2.2.1 Consideraciones Generales. La incertidumbre de la medición asociada a las estimaciones de entrada se evalúa de acuerdo con los métodos de evaluación del Tipo A y del Tipo B. La evaluación de la incertidumbre estándar Tipo A es el método de evaluación de la incertidumbre por análisis estadístico de una serie de observaciones. En este caso, la incertidumbre estándar Tipo A es la desviación estándar experimental de la media que se obtiene de un procedimiento de cálculo de la media aritmética o de un análisis de regresión aritmética de los datos. La evaluación de la incertidumbre tipo B es el método de evaluación por otros medios que no se vean involucrados análisis estadístico de una serie de observaciones. En este caso, la evaluación de la incertidumbre Tipo B se basa en algún otro conocimiento científico⁵⁵.

2.2.2 Evaluación de la incertidumbre estándar tipo A. La evaluación de la incertidumbre típica Tipo A se utiliza cuando se han hecho varias observaciones independientes para la caracterización de las magnitudes de entrada bajo las mismas condiciones de medición. En caso de que haya suficiente resolución en el proceso de medición, habrá una dispersión o esparcimiento en los valores obtenidos⁵⁶.

La estimación de la incertidumbre tipo A se obtiene mediante el análisis de los valores registrados, donde para efectos académicos se asignaron a los valores medidos la letra Q, con un número n de observaciones o lectura. Para el cálculo de esta incertidumbre asociada a la medición se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

⁵⁵ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

⁵⁶ COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA COMERCIO, LABORATORIO DE POTENCIA Y ENERGÍA. Expresión de incertidumbre en la calibración de equipos de medición. 2009.

Realizar repetidamente la medición, y con los datos registrados obtener la media aritmética, sabiendo que el valor leído será representado con la letra q y la cantidad de repeticiones con la letra n , por ende se tiene q_j ($j = 1, 2, \dots, n$).

$$X_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (2.2)$$

La estimación de la varianza de la distribución de probabilidad fundamental es la varianza experimental $s^2(q)$ de los valores de q_j está dada por:

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (2.3)$$

La dispersión de los resultados de la medición $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, para una magnitud de entrada X_i , se estima la desviación estándar experimental. El valor (positivo) de la raíz cuadrada de $S^2(q)$ se denomina desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (2.4)$$

La incertidumbre estándar Tipo A $u(x_i)$ de X_i se obtiene mediante el cálculo de la desviación estándar; valor (positivo) de la raíz cuadrada de $s^2(\bar{q})$ dada por:

$$s^2(\bar{q}) = u^2(x_i) = \frac{s^2(q)}{n} \quad (2.5)$$

El valor (positivo) de la raíz cuadrada de $S^2(\bar{q})$ se llama la desviación estándar experimental media. La incertidumbre estándar $U(q)$ asociado con la estimación de entrada q es la desviación estándar experimental promedio:

$$u(x_i) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

$$U(\bar{q}) = s(q) \quad (2.7)$$

Así que la incertidumbre estándar que resulta de X_i es:

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2n}} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (2.8)$$

Cabe mencionar que “n” es el número de mediciones repetidas para evaluar $x_i = \bar{q}$ según la ecuación (2.1), mientras que s_p se determinó por un número de mediciones^{57,58, 59}.

En general, cuando el número “n” de mediciones repetidas es menor a 10 ($n < 10$)⁶⁰, la fiabilidad de una evaluación del Tipo A de la incertidumbre estándar, según lo expresado por la ecuación (2.5) debe ser considerada y analizada para su uso; sin embargo, no se puede dar una recomendación general para el número ideal de repeticiones n, ya que esto depende de las condiciones y exigencias para el cálculo de incertidumbre^{61,62}.

2.2.3 Evaluación de la incertidumbre estándar tipo B. La evaluación de la incertidumbre estándar de tipo B es la evaluación de la incertidumbre asociada con una Calculo x_i de una magnitud de entrada X, hechas por otros medios que el análisis estadístico de una serie de observaciones. La incertidumbre estándar $u(x_i)$ es valorado en el juicio científico basado en toda la información disponible sobre la posible variabilidad de X_i . Los valores pertenecientes a la incertidumbre Tipo B pueden obtenerse a partir de:

⁵⁷ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

⁵⁸ HERNÁNDEZ, M^a Mar Pérez. Estimación de incertidumbres. Guía GUM. En: Revista Española de Metrología, 2012, vol. 1, p. 113-130.

⁵⁹ FLORES, Horacio; DELGADO, Evangelina; ITANDEHUI MARTÍNEZ, Evangelina y MARTÍNEZ, Mayra. Estimación de la incertidumbre en métodos de ensayos de construcción. Sanfandila, Qro: Publicación Técnica No. 275, 2005.

⁶⁰ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

⁶¹ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

⁶² BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

- ✚ Datos de las mediciones.
- ✚ Experiencia o conocimiento general del comportamiento y las propiedades de los materiales.
- ✚ Instrumentos pertinentes.
- ✚ Las especificaciones del fabricante.
- ✚ Los datos procedentes de la calibración y otros certificados.
- ✚ Incertidumbres atribuidas a datos de referencia procedentes de manuales o publicaciones.

El uso adecuado de la información disponible para una evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar de medición requiere discernimiento basado en la experiencia y el conocimiento general, siendo una habilidad que se puede aprender de la práctica. Una evaluación del Tipo B de la incertidumbre bien fundamentada puede ser tan confiable como una evaluación del Tipo A, especialmente en una situación de medición en la que la evaluación del Tipo A se basa solamente en un número comparativamente pequeño de observaciones estadísticamente independientes^{63,64,65}.

2.2.4 Incertidumbre expandida de la medición en el laboratorio de calibración Intermetro- importação e comercialização. El laboratorio de calibración Intermetro fue acreditado en el proceso de la práctica, para el cual se le fue exigido declarar una incertidumbre de medida expandida U mínima a ofrecer en el proceso de calibración según sus equipos de calibración y otras atribuciones de incertidumbre, ello se obtiene multiplicando la incertidumbre estándar $u(y)$ de la estimación de salida por el factor de cobertura k :

$$U = k * u(y) \quad (2.9)$$

⁶³ DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

⁶⁴ HERNÁNDEZ, M^a Mar Pérez. Estimación de incertidumbres. Guía GUM. En: Revista Española de Metrología, 2012, vol. 1, p. 113-130.

⁶⁵ FLORES, Horacio; DELGADO, Evangelina; ITANDEHUI MARTÍNEZ, Evangelina y MARTÍNEZ, Mayra. Estimación de la incertidumbre en métodos de ensayos de construcción. Sanfandila, Qro: Publicación Técnica No. 275, 2005.

Donde $u(y)$ hace referencia a la incertidumbre estándar asociada a la estimación de la salida y ; es decir, la incertidumbre resultante⁶⁶.

En los casos en que una distribución normal (Gaussiana) pueda ser asignada al mensurando y la incertidumbre estándar asociada a la estimación de salida tiene suficiente confiabilidad, el factor de la cobertura estándar de $k = 2$ puede ser utilizado. La incertidumbre expandida asignada corresponde a una probabilidad de cobertura que es de aproximadamente el 95%; estas condiciones se cumplen en la mayoría de los casos de servicios de calibración.

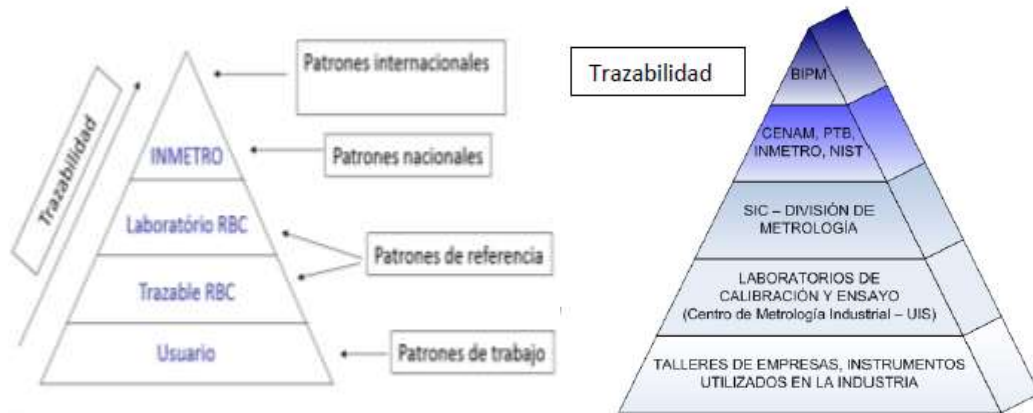
2.2.5 Trazabilidad de las Mediciones. En el VIM (Vocabulario Internacional de metrología) encontramos la definición de trazabilidad, el cual declara esta como la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón al estar relacionado con referencias establecidas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones ininterrumpida y documentada de calibraciones⁶⁷, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida, todas teniendo incertidumbres establecidas. VIM – INMETRO / ed. 2009⁶⁸.

⁶⁶ CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008

⁶⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração ISO/IEC 17025 A. Tercera edición, 2017

⁶⁸ BRASIL. INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia. Rio de Janeiro, 2009

Figura 5. Trazabilidad metrológica de Brasil (Izquierda) y mundial ^{69,70}.



La pirámide de trazabilidad de los laboratorios de diferentes niveles del Brasil (Izquierda) y mundial, se muestra en la Figura 5.

Nota 1: Las siglas de los laborarías metrológicos que cuentan con patrones nacionales e internacionales son:

- ✚ **BIMP:** Bureau International des Poids et Mesures, Paris (**patrón internacional**)
- ✚ **PBT:** Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Alemania (**Patron nacional**)
- ✚ **INMETRO:** Instituto nacional de metrología, Brasil (**Patron nacional**)
- ✚ **CENAM:** Centro Nacional de Metrología, México (**Patron nacional**)
- ✚ **NIST:** National Institute of Standards and Technology, Estados Unidos (**Patron nacional**)
- ✚ **ONAC:** Organizacion nacional de acreditacion colombiana, Colombia (**Patron nacional**)

⁶⁹ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

⁷⁰ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

Nota 2: La trazabilidad de los patrones de medición sigue de la base más grande de la pirámide a la parte menor (arriba).

RBC: Red metrológica de calibración.

Patrón Internacional (Patrón primario): Patrón reconocido por un acuerdo internacional para servir como base para establecer valores a otros estándares a que se refiere.

Patrón Nacional (Patrón primario): Patrón reconocido por una decisión nacional para servir como base para establecer valores a otros patrones a que se refiere.

Patrón de medición (Patrón de referencia): Un patrón de referencia tiene la función básica de servir como referencia para las mediciones realizadas. Por convención se considera al Observatorio Nacional como el valor verdadero convencional

Patrón de referencia - Laboratorio RBC (Red Brasileña de Calibración) - (Patrón secundario): Conjunto de laboratorios acreditados por el INMETRO para realizar servicios de calibración. patrones que deben ser calibrados por los Patrones nacionales.

Patrón de referencia - Laboratorio Rastreable a la RBC - (patrón secundario): Laboratorios que no son acreditados por el INMETRO, pero que tienen su sistema de gestión de la calidad según ISO / IEC 17025 y que tienen patrones trazables a órganos reconocidos por el INMETRO. Normas que deben ser calibradas en Laboratorios RBC o en el INMETRO o en otro órgano reconocido por el INMETRO.

Estándar de trabajo: Estándar utilizado por el usuario en las mediciones del día a día.

Todos los equipos, incluidos los de mediciones auxiliares, deberán calibrarse antes de colocados en uso, pues es necesario saber si los mismos están midiendo correctamente, de acuerdo con sus características y especificaciones.

Cuando no sea posible la trazabilidad al SI (Sistema Internacional de Medidas, el laboratorio debe proporcionar confianza en las mediciones mediante la trazabilidad a patrones apropiados, como:

- ✚ Uso de materiales de referencia certificados
- ✚ Uso de métodos especificados y / o estándares consensuados

En cuanto a los patrones **primarios, secundarios y de trabajo**, el concepto de exactitud es pertinente, ya que se puede tomar como base los estándares internacionales. De este modo, la calidad metrológica más importante de un patrón es su exactitud, la jerarquía primaria, secundaria y de trabajo, que corresponde a una escala creciente de imprecisiones. A esta jerarquía corresponde también, una escala decreciente de costos de los estándares.

Generalmente, las precisiones exigidas para la calibración de equipos no son las mismas en todas las áreas y situaciones de medida, es por ello por lo que, para una misma magnitud, un patrón de trabajo puede ser suficiente para su calibración, además de ser más económico que un patrón primario. Es decir, la inversión metrológica depende de los diferentes tipos de patrones se encuentran en diferentes tipos de laboratorio^{71,72,73}.

⁷¹ OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012

⁷² BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

⁷³ BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

3. REQUERIMIENTOS NORMATIVOS (BRASILEROS) ESTABLECIDOS EN EL PROCESO DE LA CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS: ISO/IEC 17025:2017

La norma ISO/IEC 17025:2017 fue desarrollada con el objetivo de promover la confianza en la operación de laboratorios, encontrando en ella cada uno de los requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, con el fin que puedan demostrar la operación eficiente y competente de generar resultados válidos.

Este documento normativo requiere que el laboratorio planifique e implemente acciones para abordar riesgos y oportunidades en su proceso de producción. El enfoque de los riesgos y las oportunidades establece una base para aumentar la eficacia del sistema de gestión, lograr mejores resultados y prevenir efectos negativos.

En el análisis de las normas técnicas, debemos tener en cuenta las siguientes formas verbales:

"Debe" indica un requisito.

✚ "Conviene" indica una recomendación.

✚ "Puede" (may / can) indica un permiso, posibilidad o capacidad.

La ISO/IEC 17025:2017 especifica los requisitos generales para la competencia, imparcialidad y operación consistente de laboratorios de ensayo y calibración. Es aplicable a todas las organizaciones que realizan actividades de laboratorio, y es independiente la cantidad de personal que cuente la empresa.

La norma toma como base las siguientes referencias:

- ✚ ABNT ISO/IEC Guia 99, Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM) 1
- ✚ ABNT NBR ISO/IEC 17000, Avaliação da conformidade – Vocabulário e princípios gerais

La norma consta de 8 capítulos que describen cada uno de los aspectos para tener en cuenta para la competencia de un laboratorio de calibración y ensayo.

Los requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración consideran los siguientes aspectos: la imparcialidad durante todas y cada uno de los sectores involucrados en la calibración, la objetividad de la imparcialidad implica la ausencia de conflictos de interés, a modo que esta no pueda influenciar de forma adversa a las actividades realizadas por el laboratorio.

Todo el personal del laboratorio, interno o externo, que pueda influenciar a las actividades del laboratorio, debe actuar con imparcialidad. Otros términos para entender imparcialidad son: independencia, ausencia de conflictos de interés, ausencia de tendencias, no discriminación, neutralidad, equidad, justicia, desprendimiento, equilibrio.

La imparcialidad del laboratorio puede verse amenazada con base en la propiedad, gobierno, gestión, personal, recursos compartidos, finanzas, contratos, pago de comisión, y otros beneficios para la indicación de nuevos clientes. En caso de que sea identificado este riesgo, el laboratorio debe ser capaz de demostrar como eliminarlo o minimizarlo.

El laboratorio debe ser responsable de mantener todas las informaciones del cliente de manera confidencial, por medio de compromisos legalmente exigidos, esto incluye desde el personal contratado por el laboratorio hasta los miembros del

comité, la gestión de la información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio deben ser conocidas como confidenciales.

Un agregado en la estructura organizacional y gerencial del laboratorio que tuvo la norma ISO/IEC 17025: 2017 en comparación con ISO/IEC 17025: 2005 es la creación de un gerente para garantizar la calidad del laboratorio encargado de verificar los trabajos que afecten los resultados del laboratorio, identificando e implementando acciones para evitar o minimizar riesgos que afecten la eficacia de las actividades del laboratorio.

El laboratorio de calibración debe tener procedimientos para la selección, capacitación, supervisión, autorización, monitoreo de competencia de personal, además de guardar cada uno de los resultados con el objetivo de asegurar que el personal contratado tenga la competencia de realizar cada una de las actividades por las cuales es responsable.

Las instalaciones y condiciones ambientales de un laboratorio deben ser documentadas y adecuadas a sus actividades. Debe tener un registro de monitoreo y control periódico de las influencias que pueden afectar la validez de los resultados, la cuales pueden incluir, pero no están limitadas a, contaminación microbiológica, polvo, disturbios electromagnéticos, radiación, humedad, alimentación eléctrica, temperatura, sonido y vibración.

El laboratorio debe establecer un programa de calibración, el cual debe ser analizado y ajustado conforme sea necesario para mantener la confianza en la calibración de equipos. Todo equipo que necesite calibración o tenga un periodo de validez definido debe ser etiquetado o identificado de alguna forma que permita al usuario del equipo una visualización de la situación de calibración o periodo de validez del equipo.

Los equipos que evidencien la reproducción de resultados cuestionables ya que fueron sometidos a una sobrecarga o una manipulación incorrecta, deben ser retirados de servicio, el equipo debe ser aislado para evitar su utilización o ser marcado como fuera de servicio hasta ser verificado nuevamente su funcionamiento correcto.

Para la garantía de la validez de los resultados laboratorio debe monitorizar su desempeño mediante comparaciones con los resultados de otros laboratorios, cuando sea posible y apropiado. Esto tiene el nombre de comparación Inter-laboratorial.

La competencia técnica, de un laboratorio, garantiza proporcionar información fiable sobre los errores e incertidumbres de los equipos de medición. Cuando el laboratorio desea demostrar la cualificación técnica, se inicia un proceso de acreditación el cual demuestra que tan competente es el laboratorio para realizar las mediciones, convirtiendo a la acreditación en una herramienta de negocio y mercadeo para la empresa.

Uno de los elementos más importantes en la calibración de equipos es el certificado de calibración, en el marco de la norma, los resultados de la calibración deben ser analizados críticamente y autorizados antes de su liberación al cliente. Cuando se contrata un laboratorio que es acreditado y / o reconocido por la norma ABNT NBR ISO / IEC 17025, se garantiza que este certificado contiene toda la información necesaria para su interpretación y análisis.

El laboratorio debe ser responsable de todas las informaciones proporcionadas al cliente. Procesos que afecten la calidad del producto deben ser calibrados en laboratorios acreditados y / o reconocidos por la Norma ABNT NBR ISO / IEC 17025, pues así está garantizada la confiabilidad en la calibración y en las propias informaciones contenidas en el certificado de calibración.

Los requisitos específicos para la presentación de certificados hechas por laboratorio de calibración deben incluir: 1) La incertidumbre de la medición en el certificado de calibración, la cual se presenta en la misma unidad de medida de mensurando; 2) Las condiciones ambientales sobre las cuales fue hecha la calibración; 3) La declaración de los resultados de la medición metrológicamente trazables.

Para evitar problemas no deseados con la incertidumbre o con su certificado, se define claramente el procedimiento de calibración empleado por la empresa, teniendo los puntos de calibración definidos de acuerdo con el rango de uso del instrumento, la resolución del instrumento, que debe ser adecuada a la capacidad de medición requerida, la mejor capacidad de medición (incertidumbre mínima proporcionada por el laboratorio).

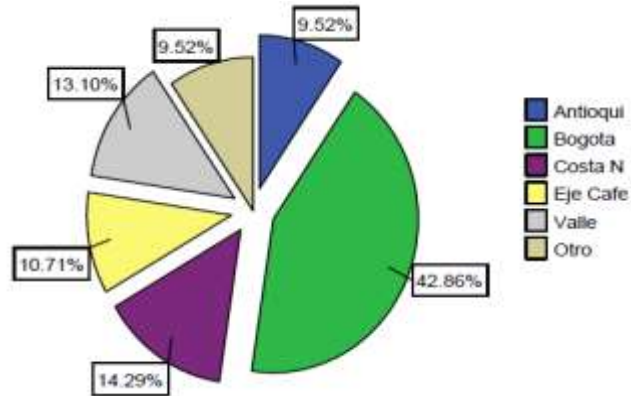
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN EN COLOMBIA

Con el propósito de mejorar la competitividad de las empresas colombianas, se creó el 15 de diciembre de 2008 el Organismo Nacional de Acreditación Colombiano (ONAC). Cuya función principal es acreditar los organismos de conformidad como: organismos de inspección, certificación de personas, productos, sistemas de gestión, laboratorios clínicos, metrología y ensayos.

En Colombia al igual que en Brasil, los laboratorios de calibración acreditados y postulantes a la acreditación, así como los laboratorios que realizan calibración interna, deben estimar la incertidumbre de la medición de acuerdo con la Guía para la Expresión de la incertidumbre de medición GUM, publicada por primera vez en el año 1993. Las directrices impartidas en el documento ILAC-P14:01/2013: "ILAC Policy for Uncertainty in Calibration", y el uso consistente de la Capacidad de Medición y Calibración (CMC). A su vez, se encuentran vinculados al cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma ISO/IEC 17025.

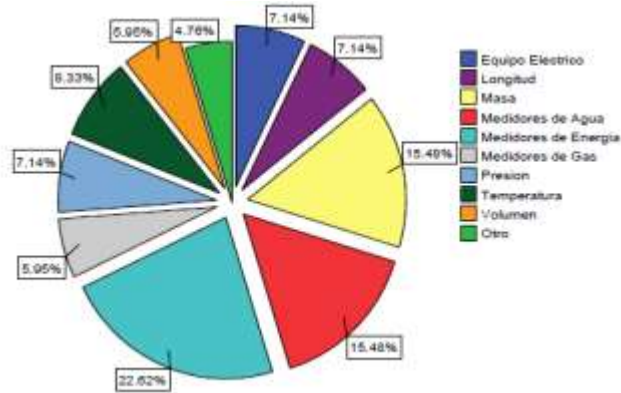
El decreto 2269 de 1993 organiza el sistema nacional de normalización, certificación y metrología, este define los laboratorios de calibración que tendrán por objeto procurar uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en Colombia, tanto lo concerniente a las transacciones comerciales y de servicios, como los procesos industriales y sus respectivos trabajos de investigación científica y desarrollo tecnológico.

Figura 6. Servicios de calibración acreditados por regiones⁷⁴



Según la ONAC en Colombia se han acreditado 138 laboratorios hasta la fecha (en comparación con la red de calibración brasilera, INMETRO declara 406 laboratorios acreditados). de los cuales como se muestra en la Figura 6, la mayoría se encuentran concentrados en las regiones de Cundinamarca, Costa Norte, y Valle del Cauca⁷⁵. cabe resaltar que la región de los santanderes tiene poca participación en el servicio de laboratorios de calibración acreditados en Colombia.

Figura 7. Servicios de calibración de equipos por magnitud de trabajo

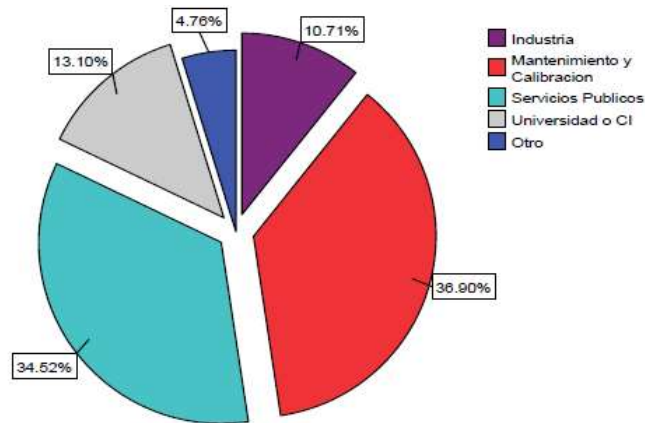


⁷⁴ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

⁷⁵ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

En la Figura 7 se observa que la mayor oferta en servicios de calibración en Colombia se encuentra en el sector de la prestación de servicios públicos domiciliarios con el 44% del total de servicios de calibración de equipos prestados en el país: (agua 16%, medidores de energía 23%, medidores de gas 5%)⁷⁶.

Figura 8. Actividad económica a la cual pertenecen los laboratorios de calibración⁷⁷



En la Figura 8 se observa que la naturaleza de las organizaciones a las cuales pertenecen los laboratorios en su mayoría son de los sectores de mantenimiento y calibración de equipos, también se observa una fuerte presencia de empresas de servicios públicos con un 35%. Universidades y centros de investigación han venido aumentando la oferta de este tipo de servicios llegando a abarcar el 13% del total y sigue en aumento.

⁷⁶ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

⁷⁷ MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

5. CONDICIONES GENERALES PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES Y GENERADORES DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS

El procedimiento de calibración tiene la finalidad de orientar a los técnicos del laboratorio Intermetro- Importação e Comercialização en la realización de calibración de medidores y generadores de tensión, corriente y resistencia eléctrica de tipos analógicos y digitales.

Para esto se debe tener en cuenta los siguientes aspectos generales en el proceso de calibración de equipos:

- ❖ **Aplicación:** Este procedimiento se aplica en calibraciones de instrumentos que tengan características de generador y medidor de tensión, corriente y resistencia eléctrica.

Este procedimiento solo se aplica bajo las condiciones establecidas y dentro del ambiente del laboratorio.

- ❖ **Normas de referencia:** DOQ – CGCRE – 018 - ORIENTAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ANALÓGICOS Y DIGITAIS DE MEDIÇÃO NA ÁREA DE ELETRICIDADE - Inmetro - Rev.01 – 2011 y ABNT ISO/IEC 17025.
- ❖ **Instrumentos en calibración:** El procedimiento de calibración fue diseñado para los siguientes equipos de medición de variables eléctricas:

Tensión eléctrica:

- ✚ Voltmetro: Medidor de tensión eléctrica [AC o DC].
- ✚ Generado de tensión: Fuente de tensión eléctrica [AC o DC].

Resistencia eléctrica:

- ✚ Ohmetro: Medidor de resistencia eléctrica
- ✚ Caja década de resistencias: Instrumento de resistencia variable, mediante la variación de conmutadores.

Corriente eléctrica:

- ✚ Ampermetro: Medidor de corriente eléctrica [AC o DC].
- ✚ Generador de corriente eléctrica: Fuente de corriente eléctrica [AC o DC].

❖ Patrones, Instrumentos y equipos de apoyo:

El laboratorio INTERMETRO cuenta con una variedad de equipos para la calibración de tensión, corriente y resistencia, el cual se lista en las tablas 2 a 4:

Tabla 2. Lista de patrones, instrumentos y equipos de apoyo para la calibración medidores y generadores de tensión.

DESCRIPCIÓN	MARCA / MODELO	IDENTIFICACIÓN
Calibrador multifunción	Fluke 5101B	Patrón 101
Fuente de Alimentación DC	INSTRUTHERM FA-2030	Patrón 26A
Multímetro digital	Fluke 87V	Patrón 117
Multímetro digital	HP / 34401 A	Patrón 104
Variador de tensión	VM 115	10 A
Cabos de conexión	---	---

Tabla 3. Lista de patrones, instrumentos y equipos de apoyo para la calibración medidores y generadores de resistencia.

DESCRIPCIÓN	MARCA / MODELO	IDENTIFICACIÓN
Calibrador multifunción	Fluke 5101B	Patrón 101
Multímetro digital	HP / 34401 A	Patrón 104
Multímetro digital	Fluke 87V	Patrón 117
Década resistiva	INSTRUTHERM DR-800 o DANBRIDGE DINAMARCA	Patrón 088 o 124
Cables de conexión	---	---

Tabla 4. Lista de patrones, instrumentos y equipamiento de apoyo para la calibración medidores y generadores de corriente.

DESCRIPCIÓN	MARCA / MODELO	IDENTIFICACIÓN
Calibrador multifunción	Fluke 5101B	Patrón 101
Fuente de Alimentación DC	INSTRUTHERM FA-2030	26A
Multímetro digital	Fluke 87V	Patrón 117
Multímetro digital	HP /34401 A	Patrón 104
Variador de tensión	VM 115	10A
Bobina Multiplicadora	Fluke 5500A/COIL	24A
Cabos de conexión	- - -	- - -

5.1 CONDICIONES GENERALES DE CALIBRACIÓN

A continuación, se presentan las condiciones que se deben tener en cuenta antes de realizar la calibración de equipos de medición de variables eléctricas.

Ambiente de Trabajo:

El ambiente del trabajo se desarrolla con las siguientes condiciones:

- ✚ Temperatura: $(23 \pm 3) ^\circ \text{C}$.
- ✚ Humedad Relativa do Ar: $(50 \pm 25) \%$.

5.1.1 Condición pre-Calibración. Se requiere el encendido de todos los patrones eléctricos involucrados en el procedimiento de calibración y esperar 30 minutos para la correspondiente estabilización. Los modelos de patrones HP 34401 (multímetro digital) no pueden tener un tiempo de calentamiento inferior a 120 minutos. Además de estas restricciones, los instrumentos del cliente que son alimentados a través de baterías no necesitan tiempo de estabilización. Los que se alimentan a través de la red eléctrica, tienen estipulado el tiempo de acuerdo con el manual del fabricante, en el caso que este tiempo no esté definido, este será estipulado por un mínimo de 30 minutos; sí el equipo es modelo HP 34401 también tiene un tiempo de calentamiento de 120 minutos.

5.1.2 Evaluación del equipo a calibrar. El instrumento sometido a calibración debe ser evaluado de la siguiente forma:

- ✚ Verificar que el equipo encienda. Sí tiene algún daño en la carcasa o en la pantalla debe ser informado al cliente.
- ✚ Verificar que las baterías del equipo no estén descargadas ("Low bat"), en caso de que estén descargadas, estas deben ser sustituidas o recargadas.
- ✚ Sí el instrumento es analógico, realizar el ajuste de cero mecánico.
- ✚ En caso de que el instrumento en proceso de calibración sea un alicate ampermetro, se debe desmagnetizar la pinza con el botón de cero cuando sea posible.
- ✚ Para la realización de calibraciones de los instrumentos conectados a la red eléctrica, se debe verificar la tensión de alimentación en el manual del fabricante.

5.1.3 Definición general de los puntos de medición. Para definir estos puntos se plantean las siguientes dos hipótesis:

- ✚ Cuando el cliente no informa de los puntos a ser calibrados: La calibración debe ser realizada en por lo menos en tres puntos bien distribuidos por cada uno de los rangos (10%, 50% y 95%) como mínimo en cada intervalo a ser calibrado.
- ✚ Cuando el cliente informe puntos e intervalos que deben ser calibrados: el laboratorio debe realizar la calibración de estos como mínimo requisito, además el laboratorio podrá adicionar puntos en la calibración en dado caso que el técnico lo determine.

5.1.4 Consideraciones generales para la realización de las lecturas. La variabilidad de las lecturas en una fuente de incertidumbre citada en el literal 2.8, debe ser estipulada con un número de tres (3) repeticiones tomadas en un mismo punto, intervalo, técnico y condiciones ambientales; Este número de datos se ha determinado a partir de la experiencia del laboratorio en el proceso de calibración.

Al realizar las lecturas en instrumentos de indicación digital, durante una calibración, el estímulo aplicado se debe mantener en la misma condición sin cambio. Además de las siguientes observaciones:

- ✚ Tiempo mínimo entre lecturas, debe ser igual o mayor que el tiempo de resolución o tiempo de integración de cada instrumento usado.
- ✚ Inexistencia de efectos de la oscilación o de la deriva lenta.
- ✚ -Cuando existan efectos significativos de la oscilación, deben ser registradas las lecturas mínima y máxima, o simplemente la amplitud de oscilación, estas servirán para determinar la variabilidad correspondiente al punto de calibración en cuestión.
- ✚ Mediante la existencia de una derivación lenta, tanto como la calibración de los instrumentos de indicación analógica y digital, esta podrá ser ignorada, esto sí la lectura fue tomada durante un período de tiempo definido.
- ✚ En caso en que el instrumento de calibración sea de indicación analógica, una variabilidad puede ser despreciable desde que se observe la inexistencia de efectos significativos de histéresis y la oscilación sea mínima.

5.2 CALIBRACIÓN DE MEDIDORES Y GENERADORES DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS

Este documento aplica al laboratorio de calibración Intermetro y se refiere a procedimientos evaluados y acreditados por los especialistas de acreditación de laboratorios de calibración en el área de electricidad de INMETRO. En virtud de lo aquí expuesto y con base en las normas antes referidas, el laboratorio Intermetro obtuvo la acreditación el 02 de febrero de 2018.

Antes de iniciar con cada procedimiento de calibración de equipos de variables eléctricas se va a consignar la orientación básica necesaria a tener en cuenta antes

de llevar a cabo la calibración de instrumentos analógicos y digitales de medición del área eléctrica

5.2.1 Calibración de medidores y generadores de tensión eléctrica (PCE 015).

El procedimiento de calibración tiene la finalidad de orientar a los técnicos del laboratorio Intermetro- Importação e Comercialização en la realización de calibración de medidores y generadores de tensión eléctrica de tipo analógicos y digitales.

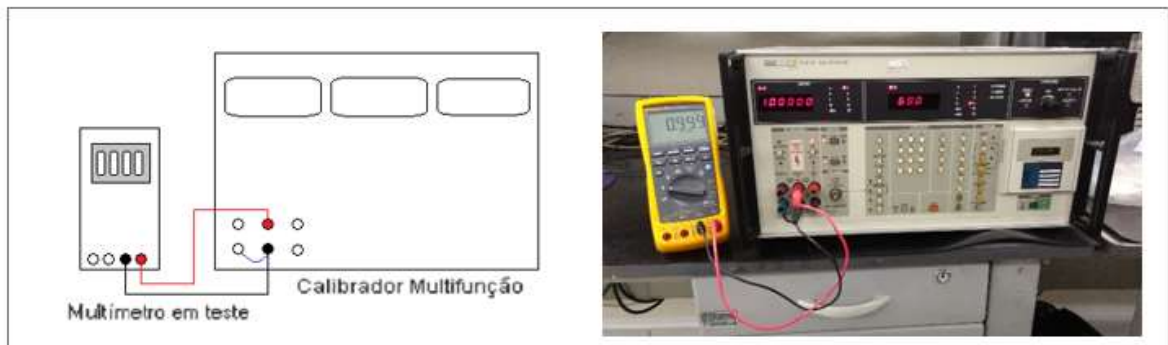
❖ Descripción del método de calibración:

La descripción del procedimiento de calibración de equipos medidores y generadores de tensión se describe a continuación:

5.2.1.1 Medidor de tensión eléctrica DC (voltmetro o alicate ampermetro). El procedimiento a seguir en la calibración de medidor de tensión eléctrica DC es el siguiente:

- ❖ Conectar el calibrador Multifunción DC al multímetro en prueba, conforme se muestra en la Figura 9:

Figura 9. Calibrador Multifunción en función DC, conectado al multímetro en calibración.



En el calibrador multifunción aplicar la tensión deseada, y seguir los siguientes parámetros del menú:

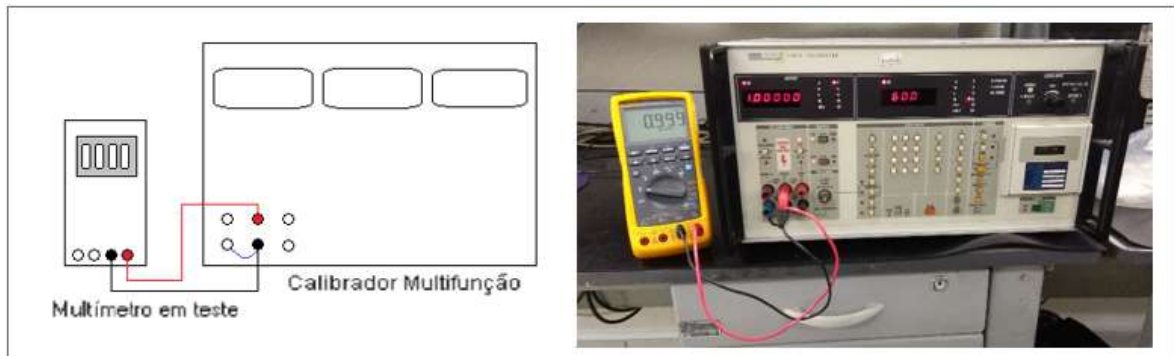
- ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipamiento
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μ V, mV, V, kV]
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de tensión y la unidad seleccionada.
 - ✚ Oprimir: Menú control; opr ◀ ▶ stdby, oprimir opr para liberar la señal de tensión en los bornes de salida del calibrador multifunción.
-
- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
 - ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
 - ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
 - ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
 - ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados.

5.2.1.2 Medidor de tensión eléctrica AC (voltmetro o alicata ampermetro). Para equipos alimentados con la red eléctrica, la medición cada magnitud AC con frecuencia de 60 Hz, puede ser interferida por la frecuencia de alimentador de red (60 Hz), por ende, la calibración de tensión alterna debe ser realizada a una frecuencia diferente a la frecuencia de la red. Por ejemplo 50 Hz.

El procedimiento por seguir en la calibración de medidor de tensión eléctrica AC es el siguiente:

- ❖ Conectar el calibrador multifunción con el multímetro en prueba, Como se muestra en la Figura 10:

Figura 10. Calibrador multifunción en función AC, conectado al multímetro sometido al proceso de calibración



- ❖ Calibrador multifunción: Para medir la tensión AC, seguir los siguientes pasos:
 - ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipamiento
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μ V, mV, V, kV]
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de tensión y la unidad seleccionada.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, introducir la frecuencia de trabajo.
 - ✚ Oprimir: Menú control; opr ◀ ▶ stdb, oprimir opr para liberar la señal de tensión en los bornes de salida del calibrador multifunción.

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.

Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

5.2.1.3 Calibración de generadores de tensión eléctrica en DC. El procedimiento a seguir en la calibración de un generador de tensión eléctrica DC es el siguiente:

- ❖ Conectar la fuente (generador) de alimentación DC a ser calibrado al multímetro patrón como se muestra en la Figura 12, y configure el multímetro patrón con la especificación mostrada en la Figura 11.

Figura 11. Configuración del multímetro patrón (HP 34401)



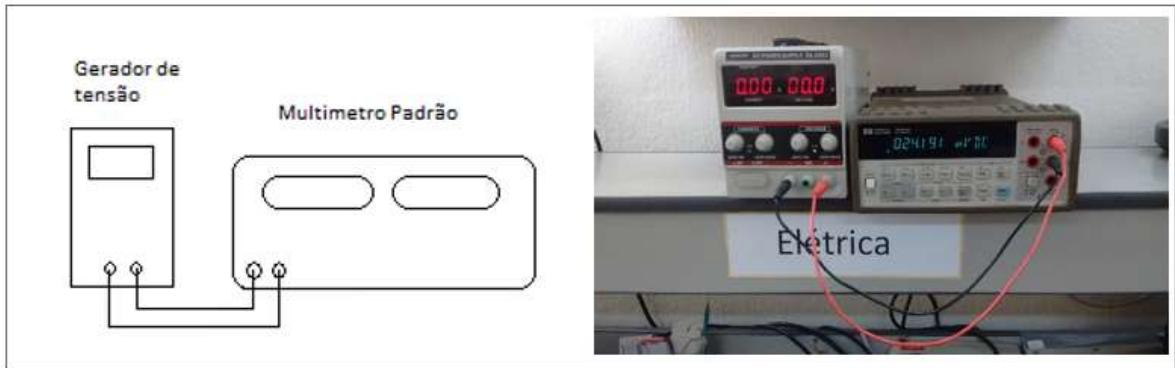
Función DC [V]

Resolución: 6 dígitos/ Slow

Rango automático

Nota: La configuración mencionada está de acuerdo con las especificaciones del certificado de calibración del patrón 104.

Figura 12. Conexión del sistema de calibración con equipo en prueba.



Una vez se realice la conexión del equipo patrón con el equipo en prueba, se procede con la calibración del equipo siguiendo los siguientes pasos:

El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados.

5.2.1.4 Calibración de generadores de tensión eléctrica en AC. El procedimiento a seguir en la calibración de un generador de tensión eléctrica es el siguiente:

- ❖ Conectar el generador de tensión AC a ser calibrado en el multímetro patrón, y configure la fuente para generar tensión AC/60Hz, con los respectivos valores de tensión como se muestra en la Figura 14.
- ❖ Configure el multímetro patrón 34401 como se muestra en la Figura 13:

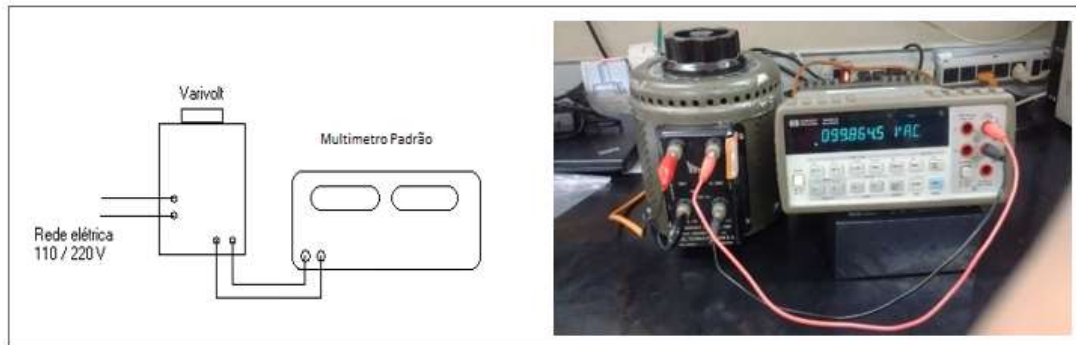
Figura 13. Configuración del multímetro patrón (HP 34401)



Función V AC

Resolución: 6 dígitos/ Slow

Figura 14. Conexión equipo Calibrador con equipo en prueba



El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.

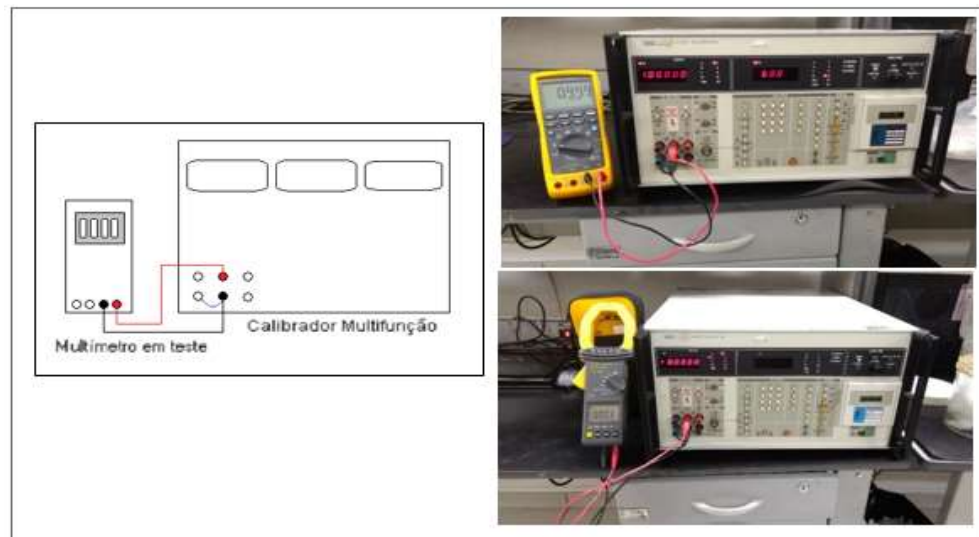
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

5.2.2 Calibración de medidores y generadores de resistencia eléctrica (PCE 013). El procedimiento de calibración tiene la finalidad de orientar a los técnicos del laboratorio Intermetro- Importação e Comercialização en la realización de calibración de medidores y generadores de resistencia eléctrica.

5.2.2.1 Calibración de Resistencia: Medidor (Ohmetro). El procedimiento a seguir en la calibración de medidor de resistencia es el siguiente:

- ❖ Conectar el calibrador multifunción DC al equipo que se está calibrando, tal como se muestra en la Figura 15:

Figura 15. Conexión del sistema calibrador con el instrumento sometido a calibración.



En el calibrador multifunción: Para medir la resistencia, seguir los siguientes pasos:

- ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipo.
- ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [Ω , $k\Omega$, $M\Omega$]
- ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de resistencia y la unidad seleccionada.
- ✚ Oprimir: Menú data entry, oprimir: menú control; opr ◀ ▶ stdby, oprimir opr para liberar la resistencia en los bornes de salida del calibrador multifunción.

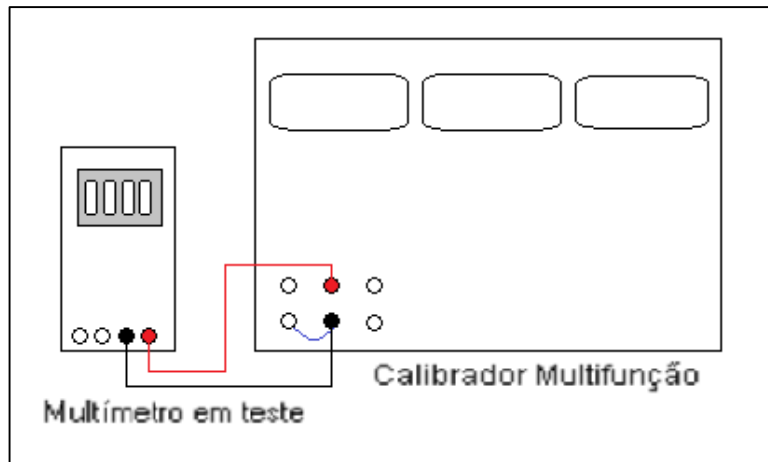
El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

5.2.2.2 Calibrador medidor de resistencia mediante década resistiva patrón. El procedimiento a seguir en la calibración de década resistiva se realiza mediante el siguiente paso a paso:

Conectar la década resistiva en el multímetro o ampermetro en prueba, como se muestra en la Figura 16:

Figura 16. Conexión del sistema calibrador con equipo cometido a calibración.



El procedimiento es el siguiente

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

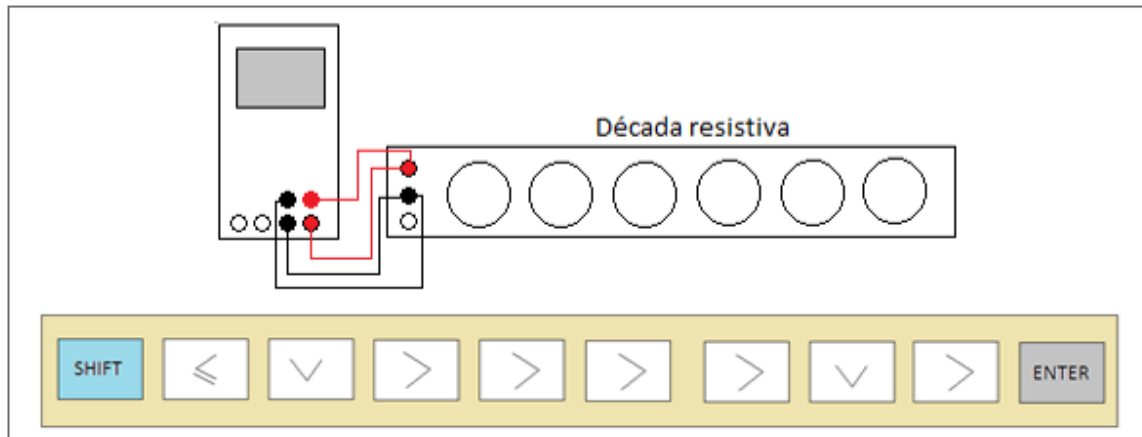
5.2.2.3 Generadores de resistencia (cajas de décadas resistivas). El procedimiento a seguir en la calibración de generadores de resistencia es el siguiente:

- ❖ Conectar la década resistiva a ser calibrada en el multímetro patrón.
- ❖ Configurar el multímetro patrón con las especificaciones que e presentan en las Figuras 17 y 18:

a) Para mediciones de 1Ω a $1K\Omega$:

Resolución de 6 dígitos, fast, a 4 hilos.(ver Figura 17)

Figura 17. Configuración Multímetro Patrón HP 34401(4 hilos), con década resistiva.

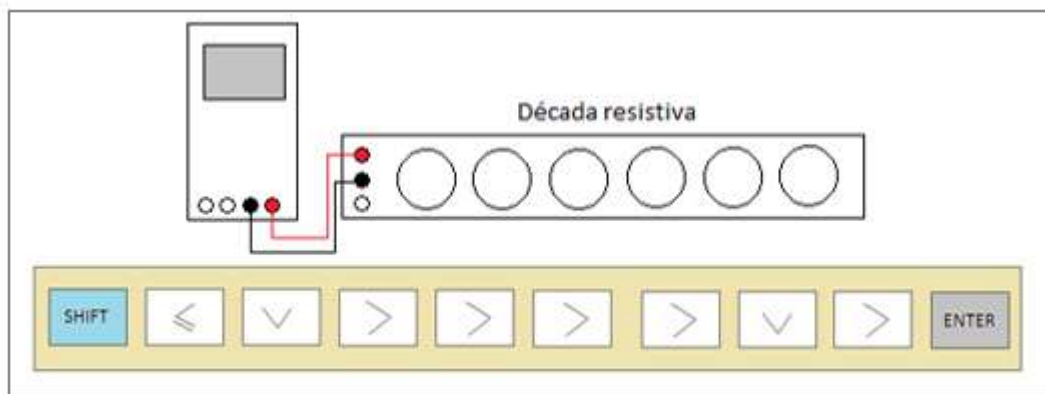


b). Para mediciones superiores a $1k\Omega$:

- Resolución 6 dígitos, Fast, 2 hilos. (ver Figura 18)

Todas las mediciones son realizadas en la pantalla frontal.

Figura 18. Configuración Multímetro Patrón HP 34401(2 hilos), con década resistiva



El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerando los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

5.2.3 Calibración de medidores y generadores de corriente (PCE 014). El procedimiento de calibración PCE 014 tiene la finalidad de orientar a los técnicos del laboratorio Intermetro- Importação e Comercialização en la realización de calibración de medidores y generadores de corriente eléctrica.

La calibración de medidores de corriente eléctrica se realiza desde 20 μ A, hasta 1000 A, y La calibración de generadores de corriente eléctrica se realiza desde 0,1 A, hasta 10 A

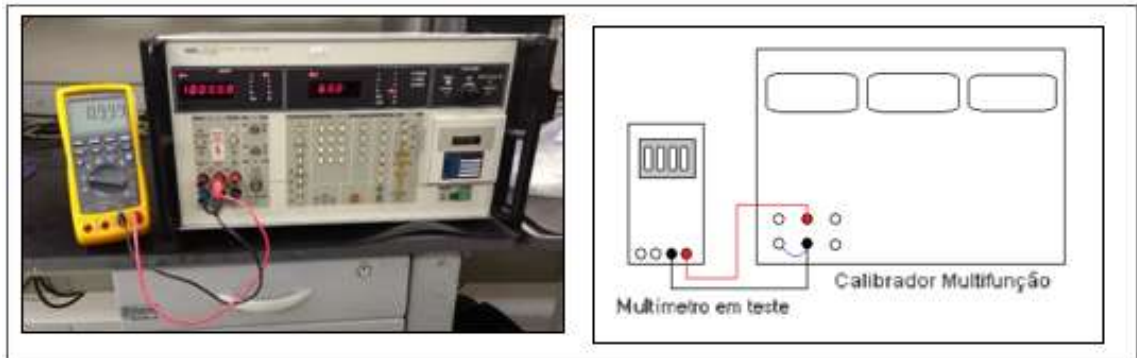
❖ **Descripción del método de calibración:**

La descripción del procedimiento a seguir para la calibración de equipos medidores y generadores de corriente eléctrica es el siguiente:

5.2.3.1 Calibración de medidores de corriente eléctrica DC (multímetro - ampermetro)

- ❖ Conectar el calibrador multifunción DC con el equipo en prueba con una conexión serie, conforme al diseño que se muestra en la Figura 19:

Figura 19. Conexión entre calibrador multifunción modo corriente DC con el equipo en prueba.



- ❖ Calibrador multifunción: Para medir la corriente eléctrica seguir los siguientes pasos:
 - ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipamiento
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μ A, mA, A]
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de corriente eléctrica y la unidad seleccionada.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, oprimir: menú control; opr ◀ ▶ stbby, oprimir opr para liberar la señal de corriente eléctrica en los bornes de salida del calibrador multifunción.

El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.

- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

* **Nota:** Para calibraciones mayores a 2 A conectar la fuente de alimentación DC externa en serie con el multímetro patrón y con el multímetro en prueba, conforme a la Figura 20:

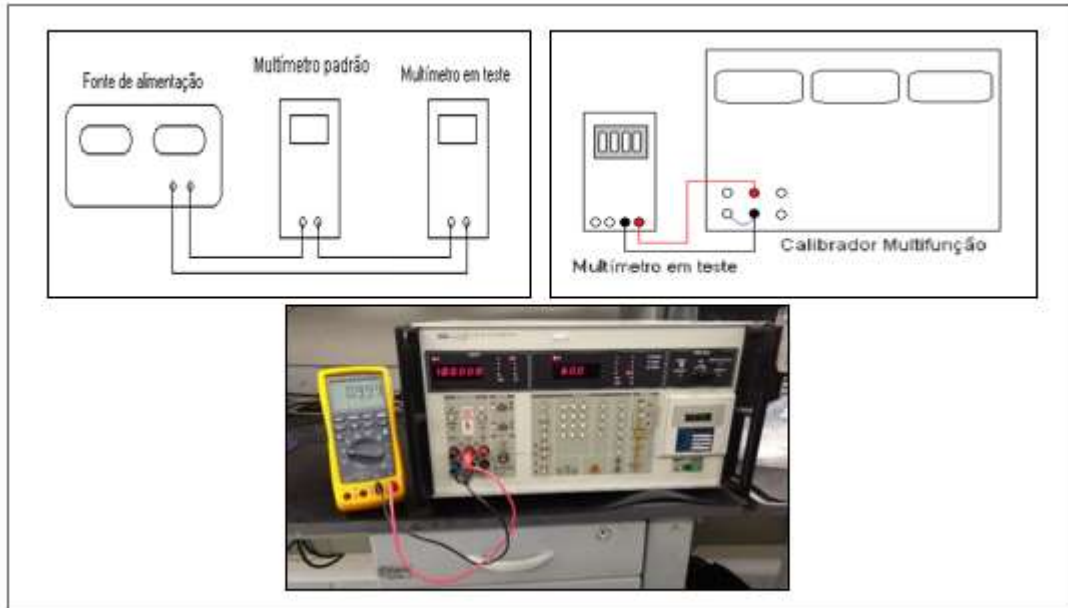
Figura 20. Esquema para calibración de corriente DC mayor a 2 A.



5.2.3.2 Calibración de medidores de corriente Eléctrica AC (multímetro - ampermetro). Para equipos alimentados con la red eléctrica, la medición cada magnitud AC con frecuencia de 60 Hz, puede ser interferida por la frecuencia de alimentador de red (60 Hz), por ende, la calibración de corriente alterna debe ser realizada a en una frecuencia diferente a la frecuencia de la red. Por ejemplo 50 Hz.

- ❖ Conectar el calibrador multifunción con el multímetro en calibración, como se muestra en la Figura 21:

Figura 21. Conexión calibrador multifunción modo corriente AC con el equipo en calibración.



- ❖ Calibrador multifunción: Para medir la corriente eléctrica, seguir los siguientes pasos:
 - ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipo.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μA , mA, A]
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de corriente y la unidad seleccionada.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, introducir la frecuencia de trabajo.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, oprimir: menú control; opr ◀ ▶ stdby, oprimir opr para liberar la señal de corriente en los bornes de salida del calibrador multifunción.

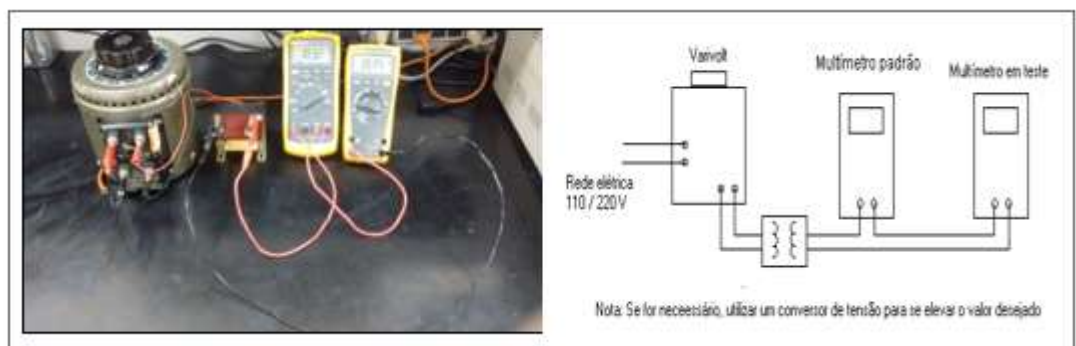
El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.

- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

* Para calibraciones mayores a 2 A conectar la fuente de alimentación AC externa en serie con el multímetro patrón y con el multímetro en prueba, conforme a la Figura 22:

Figura 22. Esquema para la calibración de corriente AC mayor a 2 A



5.2.3.3 Calibración de medidores de corriente eléctrica DC [pinza alicate - ampermetro].

- ❖ Conectar el calibrador multifunción DC en el multímetro en prueba en serie, conforme a la Figura 23:

-La bobina de la Figura 23 es de 50 espiras.

Figura 23. Conexión del sistema de calibración de corriente eléctrica DC < 2 [A] con medidor a calibrar.



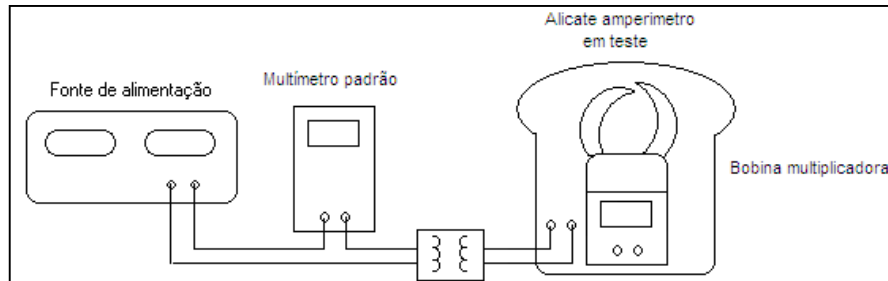
- ❖ Calibrador multifunción: Para medir la señal de corriente, seguir los siguientes pasos:
 - ✚ Oprimir: Menú on/off, encender el equipo.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μ A, mA, A]
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de corriente y la unidad seleccionada.
 - ✚ Oprimir: Menú data entry, oprimir: menú control; opr ◀ ▶ stdby, oprimir opr para liberar la corriente en los bornes de salida del calibrador multifunción.

El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerar los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

* **Nota:** Para calibraciones mayores a 2 A conectar la fuente de alimentación AC externa en serie con el multímetro patrón y con el multímetro en prueba, como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Esquema de conexión para la calibración de corriente eléctrica DC mayor a 2 A.



5.2.3.4 Corriente eléctrica AC (pinza alicate – ampermetro). Conectar el calibrador multifunción AC en el multímetro en prueba en serie, conforme con la Figura 25: La bobina de la Figura 25 es de 50 espiras.

Figura 25. Conexión para la calibración de Corriente Eléctrica AC < 2[A] con medidor a calibrar.



- ❖ Calibrador multifunción: Para medir la corriente, seguir los siguientes pasos:
- 🔌 Oprimir: Menú on/off, encender el equipo.
- 🔌 Oprimir: Menú data entry, colocar la unidad deseada [μA , mA, A]

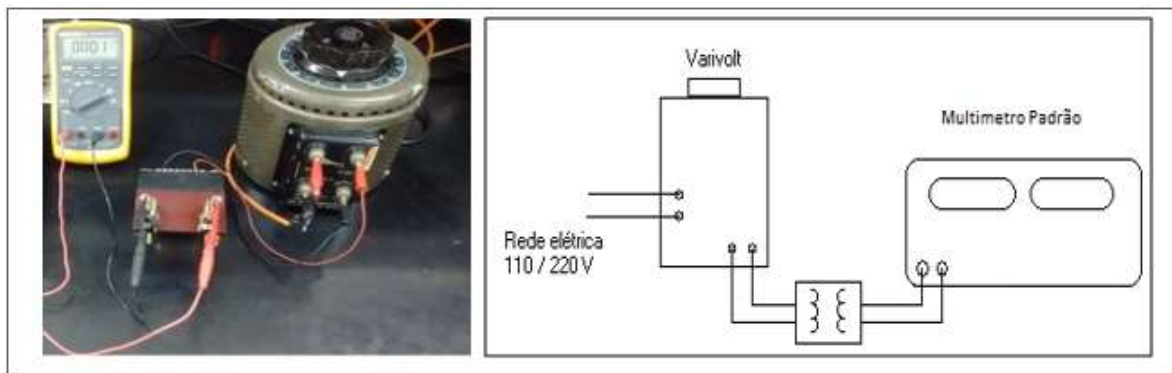
- ✚ Oprimir: Menú data entry, en output será visualizado el valor de corriente y la unidad seleccionada.
- ✚ Oprimir: Menú Data entry, oprimir menú Control; Opr ◀ ▶ Stdby, oprimir Opr para liberar la señal de corriente eléctrica en los bornes de salida del calibrador multifunción.

El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerando los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

* **Nota:** Para calibraciones mayores a 2 A conectar la fuente de alimentación AC externa en serie con el multímetro patrón y con el multímetro en prueba, conforme a la Figura 26:

Figura 26. Conexión del sistema de calibración de corriente eléctrica AC > 2[A] con medidor sometido a calibración.



- ❖ Conectar el variador de tensión a la red eléctrica con una tensión nominal de 110 V, conectar el multímetro patrón, el ampermetro alicate en prueba y la bobina. Todas estas conexiones deben estar en serie conforme a la Figura 26.

5.2.3.5 Calibración de Generadores de Corriente Eléctrica DC

- ❖ Conectar el generador de corriente a ser calibrado, función DC, con el multímetro patrón (ver Figura 28).
- ❖ Configurar el multímetro patrón, para realizar la calibración de corriente eléctrica DC, visualizando en la pantalla del multímetro patrón.
- ❖ Seguir la configuración en el multímetro patrón que se muestra en la Figura 27.

Figura 27. Configuración multímetro patrón HP 34401, corriente eléctrica DC.



- Función DC
- Resolución 6 dígitos/ fast
- Rango Automático

Figura 28. Conexión del multímetro patrón y el equipo sometido a calibración.



El procedimiento es el siguiente:

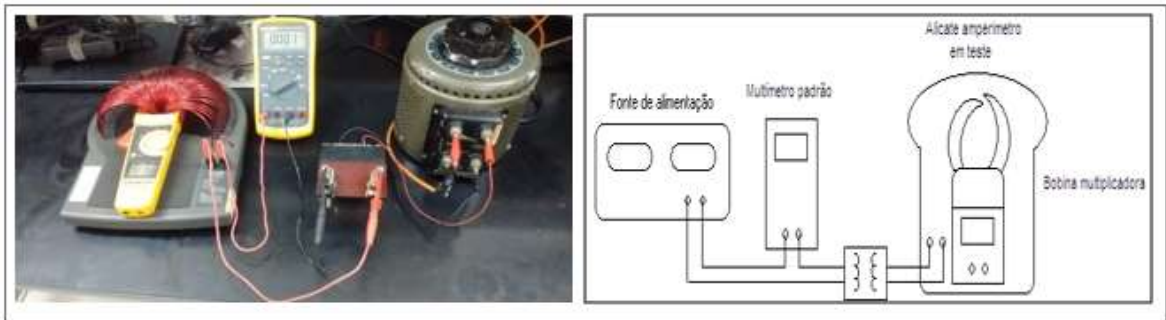
- ❖ Considerando los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

Nota: Si el generador tiene solo un rango, calibrar como mínimo 3 puntos del intervalo.

5.2.4 Calibración de generadores de corriente eléctrica AC. Conectar el generador de corriente a ser calibrado en función AC, con el multímetro patrón. Conforme a la Figura 29.

Configurar el multímetro patrón, para realizar la calibración de corriente eléctrica AC, visualizando en la pantalla del multímetro patrón (ver Figura 29).

Figura 29. Esquema para la calibración de generadores de corriente eléctrica AC.



El procedimiento es el siguiente:

- ❖ Considerando los puntos de calibración citados en el numeral 5.1.3 para aplicar la señal dependiendo del intervalo y escalas a ser calibrados.
- ❖ Seguir las indicaciones citadas en el numeral 5.1.4 correspondiente al proceso de la recolección de las medidas.
- ❖ Realizar las tres mediciones de cada rango.
- ❖ Aplicar las señales de calibración para continuar con la calibración de cada uno de los intervalos.
- ❖ Pasar al siguiente rango y repetir el procedimiento en todos los intervalos ser calibrados

Nota: Si el generador tiene solo un rango, calibrar como mínimo 3 puntos del intervalo.

5.2.5 Cálculo de incertidumbre. Para el cálculo de incertidumbre debe ser utilizado el formulario F-015, tales incertidumbres deben ser calculadas de acuerdo con el procedimiento interno PCE-014, además de las sugerencias de la norma “Guía para a expressão da incerteza de medição” (ISO Guide) e EA-4/02 “Expression of Uncertainty of Measurements in Calibration”.

5.2.6 Criterio de aceptación calibración realizada. En caso de que el cliente envíe su nivel de tolerancia admisible, se deberá seguir el mismo y enviar notificación en

caso de que este esté dando fuera del rango, Si el equipo se encuentra fuera del criterio de aceptación, el cliente deberá ser notificado y proseguir por el ajuste y mantenimiento de este, de ser posible, para realizar de nuevo la calibración. Si este no tiene las condiciones de realizar el ajuste de los parámetros solicitados, el cliente deberá ser informado nuevamente y tomar las debidas acciones.

En la tabla 5 muestran los parámetros para el cálculo de la incertidumbres Tipo B

Tabla 5. Ítems para la estimación de la incertidumbre de la medición.

	Estimativa	Grandezas	> 10 mV
Item	Estimativa	Grandezas	Incerteza padrão
		X_i	
2.1	U repetibilidade das medições	A	0,00000010
2.2.6	Incerteza herdada padrão 101	B	0,00000070
2.3.6	Incerteza da Resolução padrão 101	B	0,00000010
2.4.6	Incerteza Especificada do padrão 101	B	0,00002658
2.5.6	Efeitos dos cabos de interconexão e efeitos termoeletricos	B	0,00000010
2.6.6	Variação de Temperatura	B	0,00000005
2.7.6	Resolução do instrumento sob teste	B	0,00000010

La incertidumbre combinada (U_c) es la suma cuadrática de las fuentes de incertidumbre Tipo A y Tipo B relacionadas en el proceso de calibración $U_i(y)$, considerando el tipo de distribución estadística de cada contribución y el respectivo coeficiente de sensibilidad.

La incertidumbre expandida de la medición U_{exp} es determinada conforme a la siguiente ecuación:

$$U_{exp} = K * U_c \quad (6.1)$$

Donde K es el factor de cobertura para un nivel de confianza del 95%

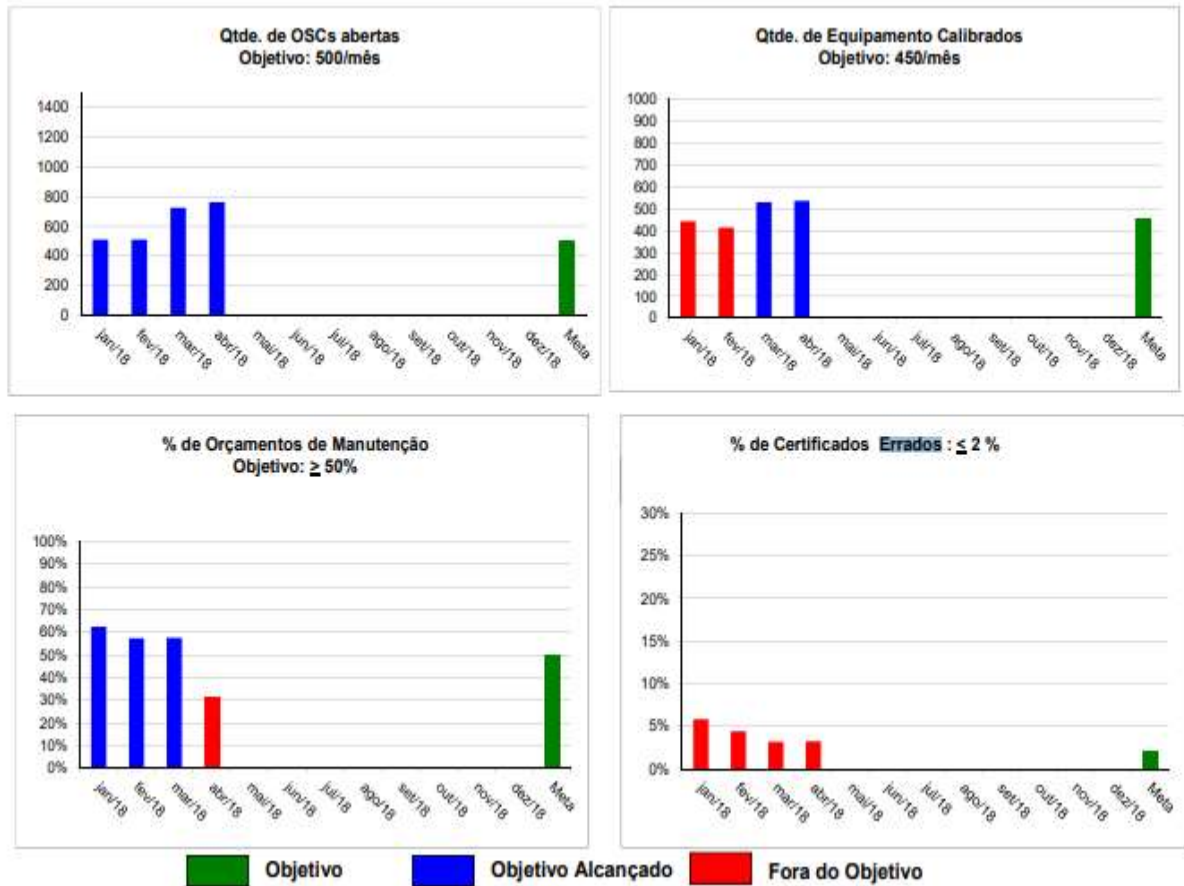
5.2.7 Registro de resultados. Los resultados deben ser registrados en el formulario F-002 (Registro interno de calibración). Esta planilla cuenta con 5 hojas de cálculo, donde cada una de estas tiene la función de completar el procedimiento de calibración de equipos de variables eléctricas. Estas hojas son:

- ✚ Registro de medidas leídas por el instrumento.
- ✚ Cálculo de incertidumbre de tensión eléctrica: generador y medidor- [DC y AC]
- ✚ Cálculo de incertidumbre de corriente eléctrica: generador y medidor- [DC y AC]
- ✚ Cálculo de incertidumbre de resistencia eléctrica: generador y medidor-
- ✚ Certificado de calibración

Después de la aprobación y acreditación, dada por INMETRO, de las guías para la calibración y estimación de incertidumbre de parámetros de variables eléctricas se obtuvo una mejora considerable en los siguientes aspectos: a) Cantidad de cotizaciones abiertas, que se traduce en mayor interés por parte de cliente en la prestación de servicios acreditados por Intermetro; b) Cantidad de equipos calibrados y certificados por el laboratorio; c) Disminución del número de certificados enviados al cliente con errores, alcanzando un número menor al 2% de certificados.

El desempeño del laboratorio Intermetro como prestador de servicios de calibración de equipos de variables eléctricas de manera acreditada RBC, se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Indicadores de Desempeño- Resultados de rendimiento laboratorio acreditado RBC área Eléctrica 2018



5.3 PLANILLA DE CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN EQUIPOS DE MEDICIÓN PARA EL LABORATORIO INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

Durante la práctica empresarial en la empresa INTERMETRO, se desarrolló la planilla de calibración para parámetros de variables eléctricas (valores eficaces de continua de tensión [V], corriente [A], resistencia [Ω]) en equipos de medición y generación. Esta contiene cada una de las incertidumbres relacionadas en todo el proceso re calibración, las relaciona dependiendo a su unidad y magnitud. Para el

cálculo de esta se realizó un Excel que interrelaciona, interpola y entrega la menor incertidumbre en el certificado de calibración.

En la Tabla 6 se muestra el proceso de calibración de magnitud de la tensión de la componente continua (DC). Como soporte se muestran las impresiones la planilla de cálculo de incertidumbre de la empresa INTERMETRO.

Tabla 6. Registro de los valores indicados en el instrumento de medición

Medidor de Tensão - DC									
IEF(+/-):		3	(% do valor indicado)		Padrão 101				
Escala/Faixa	Unidade	Resolução VI	VC	VI			Média VI	Situação	
				Vi1	Vi2	Vi3			
50	mV	3	5	5,004	5,004	5,004	5,00	Aprovado	
50	mV	3	25	25,003	25,003	25,003	25,00	Aprovado	
50	mV	3	47,5	47,523	47,523	47,523	47,52	Aprovado	
500	mV	2	475	475,19	475,19	475,19	475,19	Aprovado	
5	V	4	4,75	4,753	4,753	4,753	4,75	Aprovado	
50	V	3	47,5	47,545	47,545	47,545	47,55	Aprovado	
500	V	2	475	475,52	475,52	475,52	475,52	Aprovado	
1000	V	1	950	950,8	950,8	950,8	950,80	Aprovado	

En Tabla 6, se muestra la presentación de los resultados registrados por el equipo en calibración. En a tabla 7, se muestra la presentación del certificado de calibración del patrón de tensión utilizado.

Tabla 7. Presentación del certificado de calibración del patrón en la variable Tensión [V]

Medidores de Tensão Padrão 101						
	Faixa	erro (V)_INICIO	erro (V)_FIM	inc.(V)_INICIO	inc.(V)_FIM	k
DC	2 mV a 10 mV	0,00000050	0,000001	0,0000070	0,0000070	2,0
	> 10 mV a 100 mV	0,00000060	0,000002	0,0000070	0,0000200	2,0
	> 100 mV a 1 V	0,00000100	0,000010	0,0000200	0,0002000	2,0
	> 1V a 10 V	-0,00002	0,0002	0,0001000	0,0003000	2,0
	> 10 V a 100 V	-0,0001	0,002	0,00010000	0,00200000	2,0
	> 100 V a 500 V	0,000	0,00	0,00200000	0,02000000	2,0
	> 500 V a 1000 V	-0,01	-0,01	0,02000000	0,02000000	2,0
AC	2 mV a 10 mV	-0,00001	-0,00001	0,00000220	0,00000310	2,0
	> 10 mV a 100 mV	-0,00001	-0,00001	0,00000290	0,00000500	2,0
	> 100 mV a 1 V	-0,00002	-0,00004	0,00000800	0,00005000	2,0
	> 1V a 10 V	-0,00010	-0,0008	0,00007000	0,00040000	2,0
	> 10 V a 100 V	-0,0020	-0,011	0,00070000	0,00900000	2,0
	> 100 V a 500 V	-0,027	0,03	0,00800000	0,04000000	2,0
	> 500 V a 1000 V	-0,05	0,05	0,04000000	0,05000000	2,0

En base con cada valor registrado en el certificado de calibración del patrón de tensión, se diligencia la tabla de incertidumbre de la calibración (Tabla 8), donde tiene como restricción el intervalo a calibrar. Esto es un proceso automático en la planilla de calibración INTERMETRO.

Tabla 8. Cálculo de incertidumbres mediante interpolación.

VVC (V)	CALCULO DE INCERTEZAS_COM INTERPOLACAO			LIMITES_FAIXAS		LIMITES INCERTIDUMBRE		LIMITES ERRO DO PADRAO		LIMITES INCERTIDUMBRE	
	ErroCert(V)	Inc.(V)	INC_ESP	LIMITE INF(X0)	LIMITE INF(Xf)	LIMITE INF(Y0)	LIMITE INF(Yf)	LIMITE INF(Y0_err)	LIMITE INF(Yf_err)	LIMITE INF(Y0)_esp	LIMITE INF(Yf)_esp
0,005	5,375E-07	0,0000007000	1,5031E-05	0,002	0,01	0,0000007	0,0000007	0,0000005	0,000001	1,4844E-05	1,5343E-05
0,025	8,33333E-07	9,16667E-07	1,6289E-05	0,01	0,1	0,0000007	0,000002	0,0000006	0,000002	1,5343E-05	2,1016E-05
0,0475	1,18333E-06	1,24167E-06	1,7707E-05	0,01	0,1	0,0000007	0,000002	0,0000006	0,000002	1,5343E-05	2,1016E-05
0,475	4,75E-06	0,0000095	4,5112E-05	0,1	1	0,000002	0,00002	0,000001	0,00001	2,1016E-05	7,8846E-05
4,75	7,16667E-05	0,000130833	0,00050958	1	10	0,00001	0,0003	-0,00002	0,0002	2,8868E-06	0,00121895
47,5	0,000775	0,000891667	0,0127993	10	100	0,0001	0,00	-0,0001000	0,002	0,00121895	0,02901178
475	0	0,018875	0,13780487	100	500	0,002	0,02	0,0000000	0	0,02901178	0,14505775
950	-0,01	0,02	0,27560946	500	1000	0,02	0,02	-0,0100000	-0,01	0,14505775	0,29011521

Como se observa, en este paso se realiza la atribución de incertidumbre que va a ser debida al patrón de calibración. Es decir, las incertidumbres heredadas en el proceso de calibración, donde se encuentran la incertidumbre específica del patrón y la incertidumbre del certificado de calibración del patrón.

Para la estimación de la incertidumbre Tipo B, se tienen en cuenta los siguientes parámetros mostrados en la tabla 9:

Tabla 9. Incertidumbre por intervalo de calibración

Item	Estimativa	Grandezas	Intervalo	Unidade	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Contribuição para Incertezas	Grau de Liberdade	
					Tipo	Distância				
2.1	peribilidade do metro	A	0,0001000	A	Normal k=2	1,73205	1	0,00005795027	3	
2.2	incertezas herdadas	B	0,0003000	A	Normal k=2	2	1	0,00013000000	=	
2.3	Resolução do padrão	B	0,0001000	A	Retangular	3,4641	1	0,00002887513	=	
2.4	incertezas Especificadas no padrão IEC	B	0,0001113	A	Retangular	1,7321	1	0,00012895052	=	
2.5	Efeitos dos cabos de interconexão e efeitos parasitários	B	0,0001000	A	Retangular	1,7321	1	0,00005795027	=	
2.6	Variação de Temperatura	B	0,0003000	A	Retangular	1,7321	1	0,00002887513	=	
2.7	ação do instrumento cal	B	0,0001000	A	Retangular	3,4641	1	0,00002887513	=	
					k =	1,94278841	UC =	0,00111187188	νeff =	=
							UEN =	0,0034175054 (V)		

Para este caso se muestra la tabla de incertidumbre para un rango de 10 v, donde se considera aspectos como:

- ✚ Repetibilidad de las mediciones (patrón)
- ✚ Incertidumbre heredada (certificado de calibración del patrón)
- ✚ Incertidumbre debida a la resolución patrón
- ✚ Efectos de interconexión del cableado eléctrico y efectos termoeléctricos
- ✚ Variación de la temperatura en el laboratorio de calibración.

Estas fuentes de incertidumbre se consideran que tienen una distribución rectangular, por ende, se requiere llevarlas a una distribución gaussiana para poder hacer el cálculo de incertidumbre, para ello se tienen los divisores dependiendo de la naturaleza del tipo de distribución para cada uno de los aspectos considerados de la magnitud evaluada.

Una vez se tiene todo en la distribución gaussiana se reúnen estas incertidumbres y se hace la sumatoria cuadrática de cada una de ellas, para encontrar su aporte final. En el ejemplo de la Tabla 5, esta incertidumbre combinada es $U_C = 0,00122$ [V]

Para estimar la incertidumbre expandida, que es la que se presenta en los certificados de calibración, se debe multiplicar por el factor de cobertura “k”, el cual basándose en este caso y de acuerdo con la tabla t-Student (**Anexo C**), con un 95% probabilidad de que un determinado valor se encuentre en ese intervalo, y los grados de libertad obtenidos (**Anexo B**), su valor es: $U_{EXP} = 0,00242$ [V].

Para el cálculo final de incertidumbre del equipo a ser calibrado, se tiene en cuenta la repetibilidad de las mediciones realizadas en el instrumento, para luego ser consignada en una tabla como la mostrada en la Tabla 10:

Tabla 10. Incertidumbre combinada y expandida, variable Tensión Eléctrica DC

VDC							
VC(V)	U Combinada	Veff	Média - VI (V)	Erro (V)	U Expandida (V)	Fator k	Limitação
0,00500	0,0000150	∞	0,00500	0,00000454	0,0000295	2,0	0,000015
0,02500	0,0000163	∞	0,02500	0,00000383	0,0000320	2,0	0,00002
0,04750	0,0000177	∞	0,04752	0,00002418	0,0000348	2,0	0,00002
0,47500	0,0000456	∞	0,47519	0,00019475	0,0000896	2,0	0,00007
4,74993	0,0005162	∞	4,75300	0,00307167	0,0015000	2,0	0,0015
47,49923	0,0128168	∞	47,54500	0,04577500	0,0251509	2,0	0,0169
475,00000	0,1382181	∞	475,52000	0,52000000	0,2712308	2,0	0,0169
950,01000	0,2773276	∞	950,80000	0,79000000	0,5442107	2,0	0,0179

En base al cálculo de Incertidumbre combinada y expandida tenemos la Tabla 6, VC(V) indica el valor convencional o valor de referencia aplicado en el instrumento en calibración, en el primer caso tenemos una señal de tensión de 0,005 de amplitud, la incertidumbre combinada la obtenemos de la sumatoria cuadrática de cada una de las influencias cuantificables en el proceso de medición.

La incertidumbre final por enviar al cliente, y certificada por el laboratorio no puede ser menor a la limitación obtenida en el proceso de acreditación del laboratorio (celda gris), ya que esta se calculó como incertidumbre mínima base en el proceso de calibración. El incumplimiento desde podría provocar sanciones al laboratorio de calibración. La tabla11 muestra el certificado de calibración de tensión DC.

Tabla 11. Certificado de calibración multímetro Fluke 287, Tensión DC.

Medidor de Tensão - DC

	Escala	Valor Convencional	Valor Indicado	Erro	Incerteza	k	Veff
mV	30	3,00	3,0	0,00	0,03	2,0	∞
mV	30	15,00	15,0	0,01	0,03	2,0	∞
mV	30	28,50	28,5	0,01	0,03	2,0	∞
mV	300	284,9972	285,002	0,0048	0,0700	2,0	∞
V	3	0,3000	0,300	0,0000	0,0001	2,0	∞
V	3	1,5000	1,500	0,0001	0,0015	2,0	∞
V	3	2,850	2,85	0,000	0,002	2,0	∞
V	30	28,50	28,5	0,00	0,02	2,0	∞
V	300	285,0	285	0,0	0,2	2,0	∞

La Tabla 11 hace referencia al certificado de calibración para la variable de tensión DC expuesto para el cliente. Donde representa la unidad, magnitud calibrada, el error, incertidumbre, aspectos fundamentales en el análisis de certificados de calibración.

En **(Anexo H)**, se encuentra el certificado completo del multímetro en calibración. **(Anexo D, E, F y G)** se muestran certificados de calibración elaborados en el laboratorio de metrología **INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**, esto a partir de los procedimientos de calibración acreditados RBC realizados en este trabajo de grado.

6. CONCLUSIONES

La oportunidad de realizar una práctica empresarial en el laboratorio Intermetro- Importação E Comercialização, São Paulo/ Brasil, es una etapa que como estudiante me permitió ubicar una tendencia profesional, a desarrollar actitudes, habilidades y destrezas en los contextos de la metrología industrial. Además, de permitirme afianzar los conocimientos adquiridos, y poner a prueba la solidez, coherencia de los enfoques teóricos y metodológicos aplicables en la rama de las mediciones eléctricas.

Se elaboró una guía para la calibración de parámetros de variables eléctricas que fue puesta en funcionamiento el 02 de febrero de 2018, fecha en la cual el laboratorio Intermetro- Importação E Comercialização, São Paulo/ Brasil consiguió la acreditación RBC en el área eléctrica por el órgano INMETRO. Con este trabajo se logró modelar el mejoramiento del cálculo de incertidumbre en la calibración.

Mediante la automatización de la planilla de calibración y la capacitación al personal del laboratorio se logró: 1) Disminuir el tiempo de calibración de equipos eléctricos; 2) Disminuir la incertidumbre de los procedimientos de calibración en el área eléctrica del laboratorio; 3) Aumentar la productividad del laboratorio siendo ahora un laboratorio acreditado RBC en variables eléctricas y 4). Contribuir a la mejora de la calidad y la fiabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición y generación de variables eléctricas.

El desarrollo del formulario de menor incertidumbre es uno de los elementos esenciales que debe ser informado al cliente. En la competencia entre laboratorios acreditados esa menor incertidumbre es la mejor capacidad de medición y uno de los parámetros que se utiliza para definir el nivel de un laboratorio acreditado. Además, permite juzgar la idoneidad y competencia del laboratorio de calibración.

Gracias al compromiso con la calidad metrológica de la empresa INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL y su interés de capacitar a su personal se realizó el primer entrenamiento de la tercera edición de la norma ISO/IEC 17025: 2017, en la Rede metrológico do estado de São Paulo (REMESP), donde se identificaron los requerimientos normativos usados e implementados en la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. La nueva actualización de la norma fue publicada el 19 de diciembre de 2017 y desde esa fecha INTERMETRO se encuentra en proceso de auditoría interna con el objetivo de cumplir los nuevos estándares de la norma.

Se diseñaron los procedimientos PCE-015, PCE-014, y PCE 013, los cuales fueron utilizados en la calibración de parámetros de variables eléctricas de tensión, corriente y resistencia eléctrica, respectivamente. Esto se elaboró con base en la norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración y DOQ - CGCRE - 018 - Orientação para calibração de instrumentos analógicos y digitais de medição na área de eletricidade - Inmetro - rev.01 – 2011.

Se emplearon los procedimientos de calibración para la realización de los certificados de calibración del área eléctrica, y los resultados alcanzados en los dos primeros meses muestran que en el laboratorio INTERMETRO se han calibrado 1478 equipos, entre multímetros y amperímetros, utilizando la metodología de calibración RBC.

Finalmente contar con la experiencia de una práctica empresarial internacional me permitió a conocer además de la cultura del país al que se dirige, un intercambio de idioma, hábitos y costumbres brasileras, así como el conocimiento de las normativas vigentes y tecnología que utilizan en los diferentes procesos de medición y calibración en la empresa.

7. RECOMENDACIONES

Formalizar el convenio entre la Universidad Industrial de Santander y la empresa de calibración y metrología Intermetro-importará e comercialização, São paulo/ Brasil. Esto generaría oportunidades para los estudiantes de ingenierías de la Universidad Industrial de Santander de tener una experiencia industrial para afianzar y complementar la formación profesional.

En virtud al intercambio de estudiantes de ingeniería de la Universidad Industrial de Santander con la empresa de metrología Intermetro, se plantea un posible proyecto de automatización del proceso de recolección de datos de calibraciones realizadas en las diferentes áreas en interés por la empresa intermetro.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERTAZZI, Armando y DE SOUSA, André. Metrología científica e industrial. SP, Brasil: Manole, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração ISO/IEC 17025 A. Tercera edición, 2017.

BIRCH, Keith. Estimating Uncertainties in Testing. United Kingdom. HMSO. 2003.

BRASIL. CONFEDERCAO NACIONAL DA INDUSTRIA. Metrología conhcendo e aplicando na sua empresa. Basilia. 2002.

BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013.

BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Tercera edición. Rio de Janeiro. 2013.

BRASIL. INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia. Rio de Janeiro, 2009

BRASIL. INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE PERNAMBUCO (ITEP). Procedimento de calibração orientado a otimização do processo. Recife.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade. DOQ-CGCRE-018. 2006.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. Madrid, España: Nipo Edición Digital. 2008

COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA COMERCIO, LABORATORIO DE POTENCIA Y ENERGÍA. Expresión de incertidumbre en la calibración de equipos de medición. 2009.

DORIVAL, Leão. Estadística para metrologistas e cálculo de Incerteza. Brasil: Estatcamp.

FLORES, Horacio; DELGADO, Evangelina; ITANDEHUI MARTÍNEZ, Evangelina y MARTÍNEZ, Mayra. Estimación de la incertidumbre en métodos de ensayos de construcción. Sanfandila, Qro: Publicación Técnica No. 275, 2005.

GOSS, Treg. Better Calibration. En: Better Quality, No. 5 Ways to Improve Both. 2016.

HERNÁNDEZ, M^a Mar Pérez. Estimación de incertidumbres. Guía GUM. En: Revista Española de Metrología, 2012, vol. 1, p. 113-130.

LLAMOSA, Luis Enrique; GÓMEZ, José Del C.; RAMÍREZ, Andrés Felipe. Metodología para la estimación de la incertidumbre en mediciones directas. En: Scientia et technica, 2009, vol. 1, no 41.

MARIN, Sergio y BELTRAN, Andres. Plan de negocios para la creación del centro de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander bajo los lineamientos de la norm NTC ISO-IEC 17025. Tesis ingeniería industrial. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2010.

MARTINEZ, Wolfgang, SCHMID, Rubén y LAZOS, Juan. Guía para la estimación de incertidumbre de la medición CENAN. Mexico: El Marqués. 2000.

OLIVEIRA, Márcio. Inspectores de equipamiento metrología. Sao Paulo, 2012.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. International Vocabulary of Basic and General Terns in Metrology. Ginebra, 1993.

ANEXOS

Anexo A. Glosario de Términos

1. Coeficiente de correlación⁷⁸

Medida de la dependencia mutua relativa de dos variables aleatorias, igual a la razón de sus varianzas ya la raíz cuadrada positiva del producto de sus varianzas.

2. Coeficiente de sensibilidad⁷⁹

Variación diferencial en la estimación de salida generada por una variación diferencial en una estimación de entrada dividida por esta variación en la estimación de entrada.

3. Correlación⁸⁰

Relación entre dos o más variables aleatorias dentro de una distribución de dos o más variables aleatorias.

4. Desviación estándar experimental⁸¹

Raíz cuadrada positiva de la varianza experimental.

5. Desviación estándar⁸²

Raíz cuadrada positiva de la varianza de una variable aleatoria.

6. Estimación de entrada⁸³

Estimación de una magnitud de entrada utilizada en la evaluación del resultado de una medición.

⁷⁸ BIRCH, Keith. Estimating Uncertainties in Testing. United Kingdom. HMSO. 2003.

⁷⁹ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁰ *Ibíd.*, p. 1.

⁸¹ *Ibíd.*, p. 1.

⁸² *Ibíd.*, p. 1.

⁸³ *Ibíd.*, p. 1.

7. Estimación de salida⁸⁴

Resultado de una medición calculada por la función modelo, a partir de las estimaciones de entrada.

8. Factor de cobertura⁸⁵

Factor numérico utilizado como un multiplicador de la incertidumbre estándar de medición para obtener una incertidumbre ampliada de medición.

9. Magnitud de entrada⁸⁶

La magnitud de la cual el mensurando depende, tomada en cuenta en el proceso de evaluación del resultado de una medición.

10. Magnitud de salida⁸⁷

Magnitud que representa el mensurando en la evaluación de una medición.

11. Incertidumbre de medición⁸⁸

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos a un mensurando.

12. Incertidumbre expandida⁸⁹

Magnitud que define un intervalo en el tomo del resultado de una medición con la que se espera abarcar una gran fracción de la distribución de los valores que puedan ser razonablemente atribuidos al mensurando.

13. Incertidumbre estándar de medición⁹⁰

Incertidumbre de medición expresada como una desviación estándar.

⁸⁴ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁵ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁶ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁷ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁸ *Ibíd.*, p. 1.

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 1.

⁹⁰ *Ibíd.*, p. 1.

14. Incertidumbre estándar relativa de medición⁹¹

Incertidumbre estándar de una grandeza dividida por la estimación de esta grandeza.

15. Media aritmética⁹²

La suma de los valores divididos por el número de valores.

16. Capacidad de medición y calibración (CMC)

Menor incertidumbre de medición que un laboratorio de calibración puede obtener cuando realiza calibraciones o mediciones dentro del alcance de su acreditación.

17. Mensurando⁹³

Magnitud específica sometida sujeta a la medición.

18. Método de evaluación del tipo A⁹⁴

Método de evaluación de la incertidumbre de medición por el análisis estadístico de series de observaciones.

19. Método de evaluación del tipo B⁹⁵

Método de evaluación de la incertidumbre de medición por otros medios distintos del análisis estadístico de series de observaciones.

20. Varianza experimental⁹⁶

Magnitud que caracteriza la dispersión de los resultados de una serie de n observaciones del mensurando.

⁹¹ *Ibid.*, p. 1

⁹² *Ibid.*, p. 1

⁹³ *Ibid.*, p. 1

⁹⁴ *Ibid.*, p. 1

⁹⁵ *Ibid.*, p. 1

⁹⁶ *Ibid.*, p. 1.

Anexo B. Factores de Alcance Obtenidos a partir de los Grados de Libertad Efectivos⁹⁷

Para estimar el valor de un factor de cobertura k correspondiente a una probabilidad del alcance especificado, es necesario que se tenga en cuenta la fiabilidad de la incertidumbre estándar $u(y)$ de la estimación de salida y . Esto implica considerar cuán bien $u(y)$ estima la desviación estándar asociado al resultado de la medición. Para una estimación de la desviación estándar de una distribución normal, los grados de libertad de esta estimación, que depende del tamaño de la muestra en la que está basada, es una medida de la confiabilidad. Asimismo, una medida adecuada de la confiabilidad de la incertidumbre estándar asociada a una estimación de salida es su grado de libertad efectiva v_{eff} , que se aproxima por una combinación apropiada de los grados de libertad efectivos de las diferentes contribuciones de la incertidumbre $u_i(y)$.

E2 El procedimiento para el cálculo de un factor de cobertura adecuado k , cuando las se cumplen las condiciones del teorema central del límite, comprende los tres pasos siguientes:

- ✚ Obtener una incertidumbre estándar asociada a la estimación de salida de acuerdo

Procedimiento descrito paso a paso en el capítulo 6.

- ✚ Estimar los grados de libertad efectivos mediante de la incertidumbre estándar $u(y)$, asociada a la estimación de salida y de la fórmula de Welch-Satterthwaite

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (\text{A2.1})$$

⁹⁷ BRASIL. INMETRO. Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração Nit-dicla-021. Rio de Janeiro. 2013

Donde los u_i (y) ($i = 1, 2, \dots, N$), son las contribuciones a la incertidumbre estándar asociada a la estimación de salida y , resultante de la incertidumbre estándar asociada a la estimación de entrada x_i , que son mutuamente independientes estadísticamente, y ν_i son los grados de libertad efectiva de la contribución de la incertidumbre estándar u_i (y).

Para una incertidumbre estándar $u(q)$ obtenida de una evaluación del Tipo A, los grados de libertad se dan por $\nu_i = n - 1$. donde n es el número de mediciones realizadas. Es más problemático asociar grados de libertad con una incertidumbre estándar u (x_i) obtenida por la evaluación del Tipo B. Sin embargo, en la práctica común realizar la estimación de estos ν_i como infinito.

- ✚ Obtener el factor de cobertura k a través de la tabla T-student **ANEXO 3**. Esta tabla es basada en la distribución-t evaluada para una probabilidad de cobertura del 95,45%. Si ν_{eff} no es entero, lo que suele ser el caso, truncar vete para el siguiente menor entero.

Anexo C. Tabla de Distribución t-student

Distribución t de Student

La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y t_{np} que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{np}) = p.$$

n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución t de Student.

Certificado de Calibração

INTERMETRO

Calentário de Calibração emitido pelo CQCR (Intermetro de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, vol. 1 e 2) 04/10

Folha 2/2

2025/182
7-019-Rev.0

Medidor de Corrente - DC

	Escala	Valor Convencional	Valor Indicado	Err	Incerteza	k	Valif
A	200	20,00	20,0	-0,04	0,18	2,0	=
A	200	100,00	100,1	0,07	0,62	2,0	=
A	200	188,90	189,3	-0,50	1,44	2,0	=
A	1000	949,5	948	-1,5	7,4	2,0	=

Medidor de Corrente - AC - 50 Hz

	Escala	Valor Convencional	Valor Indicado	Err	Incerteza	k	Valif
A	200	20,00	20,1	0,07	0,18	2,0	=
A	200	100,00	100,4	0,40	0,71	2,0	=
A	200	193,51	193,6	0,58	2,90	2,0	=
A	1000	951,8	954	2,7	14,3	2,0	=

Medidor de Resistência

	Escala	Valor Convencional	Valor Indicado	Err	Incerteza	k	Valif
Ω	200	18,89	25,1	0,11	0,06	2,0	=
Ω	200	90,98	100,2	0,38	0,18	2,0	=
Ω	200	189,07	190,2	0,18	0,24	2,0	=
kΩ	200	189,73	190,8	0,90	0,23	2,0	=

Notas

1) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição com nível (grau de liberdade efetivo) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição é determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

2) Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente ao item calibrado e às condições supra mencionadas. O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo íntegros e sem alterações. Não pode ser utilizado para fins promocionais.

Data de Emissão: 23/04/18

Max Lenin G. da Silva
Signatário Autorizado

Este certificado foi assinado eletronicamente pelo Signatário Autorizado.

Intermetro Serviços Especiais
Rua Joaquim de Almeida, 223 - 04050-010 - São Paulo-SP
(11) 5071.2764

Certificado de Calibração



Folha 3/3

Medidor de Resistência

	Escala	Valor Convencional	Valor Indicado	Erro	Incerteza	k	v _{eff}
Ω	30	2,98	3,1	0,11	0,01	2,0	∞
Ω	30	15,00	15,2	0,23	0,02	2,0	∞
Ω	30	27,99	28,3	0,35	0,04	2,0	∞
Ω	300	284,9729	284,600	-0,3728	0,3353	2,0	∞
kΩ	3	0,3000	2,842	2,5420	0,0007	2,0	∞
kΩ	3	1,4948	1,490	-0,0032	0,0018	2,0	∞
kΩ	3	2,8432	2,842	-0,0012	0,0033	2,0	∞
kΩ	30	28,495	28,45	-0,045	0,024	2,0	∞
kΩ	300	284,691	286,70	4,009	0,329	2,0	∞
MΩ	3	0,300	3,21	2,910	0,001	2,0	∞
MΩ	3	1,495	1,53	0,030	0,007	2,0	∞
MΩ	3	2,843	2,82	-0,021	0,024	2,0	∞
MΩ	20	18,948	18,75	-0,218	0,043	2,0	∞

Notas

1) A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição com v_{eff} (graus de liberdade efetivos) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

2) Os resultados acima apresentados referem-se exclusivamente ao item calibrado e às condições supra mencionadas. O presente certificado somente pode ser reproduzido na sua forma e conteúdo integrais e sem alterações. Não pode ser utilizado para fins promocionais.

Data da Emissão: 00/01/00

Max Lenin
Téc. Executante

Max Lenin G. da Silva
Signatário Autorizado

Este certificado foi assinado eletronicamente pelo Signatário Autorizado.

**Anexo I. Carta actividades realizadas en la partica empresarial en laboratorio
INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**

INTERMETRO

Data: 09.04.2018


A/C: A quem possa interessar

Assunto: Experiência adquirida

Informamos que no período entre os meses de Setembro/2017 à Março/2018, a Srta. **Jenny Carolina Sarmiento Rodriguez**, durante seu estágio em nosso Laboratório, adquiriu experiência na área de Metrologia, na grandeza Eletricidade, conforme Norma ISO/IEC 17025, nos seguintes itens:


1. Metrologia industrial elétrica
2. Estudos e critérios para o cálculo de incerteza de medição
3. Desenvolvimento de planilhas de cálculo de incerteza de medição
4. Conhecimentos de padrões primários e secundários
5. Estudos sobre procedimentos de calibração
6. Aplicação sobre os procedimentos de calibração
7. Verificação intermediária e manutenção preventiva de padrões de ELÉTRICA
8. Leitura e interpretação de Normas técnicas e documentos do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia)
9. Estudos das estatísticas de medição
10. Preparação e emissão de relatórios e certificados de calibração.

Também adquiriu experiência de uma forma geral, em ambiente de Laboratório, acompanhando calibrações nas áreas: Acústica, Vibração, Óptica, Pressão, Ensaio Não destrutivos, Torque, Temperatura e Umidade, entre outras.


Eng. Márcia Cristiano de Oliveira
Gerente Técnico / Qualidade

00.450.326/0001-40
INTER-METRO
SERVIÇOS ESPECIAIS LTDA.
Rua Joaquim de Almeida, 213
Mirandópolis - CEP 04050-010
SÃO PAULO - SP

Atenciosamente,


Fís. Oswaldo Rossi Jr.
Diretor Operacional

**Anexo J. Carta invitación al laboratorio INTERMETRO-IMPORTAÇÃO E
COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL**

INTERMETRO

São Paulo, 13 de julho de 2017

A quem possa interessar

Formalizamos, através deste documento o nosso convite a senhorita **JENNY CAROLINA SARMIENTO RODRIGUEZ**, estudante do programa de engenharia elétrica da Universidade Industrial de Santander, identificada com código UIS No. 2134543, para a prática em nossa empresa na área elétrica incluindo metrologia e calibração de instrumentos.

A prática se dará no laboratório da empresa e em campo, no período de 13 de agosto de 2017 a 31 de março de 2018.

Muito atentamente,



Oswaldo Rossi Jr
Diretor Presidente
Intermetro Serviços Especiais LTDA

CARTÃO BRANCO - 97188602036045600001 - CPFAL - SP

RECONHEÇO por semelhança SEM VALOR, e(s) firma(s): OSWALDO ROSSI JUNIOR (e(s) qual(is) conferir(ei) por(ões) de passad(o)re(s) depositada(s), Dou fe. São Paulo- SP, 13/07/2017.

É(s) testemunho (s) de verdade(s).

REGIME (ABREVIADO) PRO-TESTO AUT. TP(C):S) Valor Total: R\$ 0,00

“VÁLIDO SEMPRE COM O SELLO DE AUTENTICIDADE”



29

5028440786478

FIRMA 1

29ª TABELA DE NOTAS

RUA JOAQUIM DE ALMEIDA, 233 CEP 04030-010 SÃO PAULO - SP, TEL./FAX: (11) 5071-2764 - WWW.INTERMETRO.COM.BR

Anexo K. Carta acompanhamento em proceso de acreditación RBC en el área eléctrica durante la partica empresarial en laboratorio INTERMETRO- IMPORTAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO, SÃO PAULO/ BRASIL

INTERMETRO

Data: 09.04.2018

A/C: A quem possa interessar

Assunto: Acompanhamento à Acreditação RBC na área ELÉTRICA

Informamos que a Srta. Jenny Carolina Sarmiento Rodriguez, nossa estagiária, acompanhou a acreditação RBC (Rede Brasileira de Acreditação) em nosso Laboratório, auditado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia) nos meses de Setembro e Outubro/2017, com resultados positivos.

O acompanhamento foi feito para na grandeza Eletricidade, onde foram acreditados os seguintes Itens:

- Fonte de tensão AC/DC
- Fonte de corrente AC/DC
- Medidor de tensão AC/DC
- Medidor de corrente AC/DC
- Medidor de resistência DC

Também participou das ações corretivas propostas das não conformidades apontadas pelos auditores especialistas, e devidamente aceitas, o que culminou com a acreditação na grandeza supra mencionada, e em conformidade com os requisitos da Norma ISO/IEC 17025.

Atenciosamente,


Eng. Marcia Cristiana de Oliveira
Gerente Técnico / Qualidade


Fis. Oswaldo Rossi Jr.
Diretor Operacional

00.450.326/0001-10
INTER-METRO
SERVIÇOS ESPECIAIS LTDA.
Rua Joaquim de Almeida, 223
Mirandópolis - CEP 04050-010
SÃO PAULO - SP

INTERMETRO Serviços Especiais Ltda.
Rua Miranda de Almeida, 223 - Mirandópolis - São Paulo - SP - CEP 04050-010

**Anexo L. Certificado de entrenamiento para la capacitación laboratorial en
cálculo de incertidumbre de las mediciones, REMESP**



Anexo M. Certificado de treinamento para la capacitación laboratorial en interpretación de la norma ISO/IEC 17025:2017, REMESP

