

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0



PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS (CALIBRACIÓN DE
MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN HASTA 5 ½ DÍGITOS).

Modalidad: Monografía

CARLOS AUGUSTO SALAS ROJAS

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
Tecnología en Electrónica Industrial
Bucaramanga (14-10-2023)



PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN HASTA 5 ½
DÍGITOS).

Modalidad: Monografía

CARLOS AUGUSTO SALAS ROJAS

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Electrónica Industrial

DIRECTOR

Ing. Jeison Marín Alfonso

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
Tecnología en Electrónica Industrial
Bucaramanga (14-10-2023)

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado,
en modalidad Proyecto Investigación, fue APROBADO
en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las
Unidades Tecnológicas de Santander para optar el
Título de Tecnólogo en Electrónica Industrial,
según acta No. 32 del 31 de octubre del 2024,
del Comité de Trabajo de Grado

Cristhiam Jesid Gutierrez
Evaluador

Jeison Marín Alfonso
Director

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en todo momento, porque sin su ayuda no habría alcanzado este logro. A mi esposa e hijos, quienes han sido mi motivación constante y el motor que me impulsa a seguir adelante, llenándome de energía y esperanza. A mi madre y hermanos, por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia en cada paso del camino, demostrando siempre su amor y confianza. A los profesores que, con su sabiduría y enseñanzas, me guiaron y aportaron al desarrollo de este trabajo. A todos ustedes, les dedico este esfuerzo con profundo agradecimiento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para superar cada reto durante este proceso. A mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional, paciencia y amor, quienes han sido mi principal motivación para alcanzar este logro.

Quiero expresar mi gratitud a las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), institución que ha sido fundamental en mi formación académica, brindándome las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo. Agradezco especialmente al profesor Jeison Marín director de este proyecto, por su invaluable orientación y asesoría.

Agradezco también a mi madre y hermanos, quienes con su apoyo emocional y constante ánimo me ayudaron a seguir adelante en momentos de dificultad. Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron al éxito de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS	15
2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2.1. METODOLOGÍA	17
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	20
3.1. FUENTES CONSULTADAS Y REVISIÓN DE LAS NORMAS.....	20
3.2. CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN	23
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
4. CONCLUSIONES	48
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Flujo de la Metodología.....	19
Figura 2 Diagrama de bloques de un multímetro digital	25
Figura 3 Procedimiento de Calibración	27

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Fuentes consultadas de normas de calibración de señales eléctricas.....	21
Tabla 2 Comparativa de las normas	22
Tabla 3 Incertidumbre Calibración de multímetros	39
Tabla 4 Incertidumbre Calibración de Generadores Multifunción	40

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se enfoca en el estudio y análisis de los procedimientos de calibración de multímetros y generadores multifunción, centrándose en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencia, bajo el marco normativo del Centro Español de Metrología (CEM) y la ISO/IEC 17025:2017. La necesidad de mejorar la precisión en las mediciones eléctricas dentro de la industria de Santander, Colombia, impulsa esta investigación, que busca proveer un marco de referencia confiable y práctico para optimizar los procesos de calibración en la región.

La metodología empleada consistió en una exhaustiva revisión de normativas internacionales, artículos científicos y documentación técnica relevante, con el propósito de identificar los procedimientos más efectivos aplicados en la calibración de instrumentos de medición. Se elaboraron tablas comparativas que resumen las principales normativas y publicaciones, lo que permitió analizar las brechas y formular recomendaciones para la mejora de los procedimientos existentes.

Los resultados obtenidos incluyen la descripción detallada de los procedimientos de calibración de acuerdo con los estándares del CEM y otras entidades normativas reconocidas. Se presentan ejemplos hipotéticos que facilitan la comprensión de los métodos, así como un análisis de las mejores prácticas que pueden implementarse en el contexto industrial local.

Como conclusión, se resalta la importancia de la adopción de normativas internacionales para asegurar la precisión y trazabilidad en las mediciones. El trabajo contribuye al desarrollo de un procedimiento de calibración detallado que

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

puede servir como base para futuras investigaciones y aplicaciones industriales, elevando la competitividad y la calidad de las empresas en la región.

Palabras clave: Calibración, normas CEM, metrología, ISO/IEC 17025, multímetros.

INTRODUCCIÓN

En los procesos industriales, la precisión en la medición es fundamental para asegurar la calidad de los productos y la seguridad en la operación de los equipos. En particular, la calibración de instrumentos de medición eléctrica, como los multímetros y generadores multifunción, juega un rol crucial en la fiabilidad de las mediciones. No obstante, en la región de Santander, Colombia, la falta de normativas aplicadas y procedimientos estandarizados dificulta el cumplimiento de los estándares internacionales, afectando tanto la competitividad de las empresas como la seguridad en sus procesos.

Esta monografía se centra en el análisis y descripción de los procedimientos de calibración de señales eléctricas, con énfasis en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencia, basándose principalmente en las normativas del Centro Español de Metrología (CEM) y la ISO/IEC 17025:2017. La importancia de estas normativas radica en que establecen los requisitos necesarios para asegurar la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración, permitiendo que las mediciones sean precisas, trazables y confiables.

A través de una exhaustiva revisión bibliográfica de documentos normativos, artículos científicos y publicaciones técnicas, este trabajo pretende ofrecer una guía clara y detallada sobre los métodos de calibración más utilizados y sus aplicaciones en diferentes contextos industriales. El objetivo es estandarizar los procedimientos de calibración en la región y facilitar la adopción de mejores prácticas para garantizar la fiabilidad de los resultados.

El enfoque de esta investigación es descriptivo y comparativo, abarcando tanto la documentación existente como las recomendaciones prácticas para su implementación. De esta manera, se busca no solo mejorar la calidad de las mediciones en la industria local, sino también contribuir al desarrollo de futuros trabajos que sigan fortaleciendo la infraestructura metrológica de la región.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la globalización ha incrementado la necesidad de realizar mediciones precisas en los procesos industriales para asegurar la calidad y competitividad de los productos. Sin embargo, en la región de Santander y en Colombia, muchos usuarios de equipos de medición eléctrica desconocen la importancia de realizar mediciones correctas. Este desconocimiento afecta la calidad de las mediciones en los sectores industriales, lo que puede generar problemas en la precisión de los resultados, comprometiendo tanto la seguridad como la eficiencia operativa.

El presente proyecto busca satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios de equipos de medición eléctrica mediante el desarrollo de un procedimiento de calibración de señales eléctricas en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencia. Este procedimiento estará dirigido a equipos como multímetros y calibradores de proceso, y su implementación permitirá mejorar la trazabilidad y precisión de las mediciones industriales.

A través de esta monografía, en colaboración con las UTS, se propone desarrollar un procedimiento de calibración basado en la norma ISO/IEC 17025:2017, que sirva como punto de partida para la implementación de nuevas pautas de calibración en la industria. Este trabajo también busca resolver problemáticas específicas del área de instrumentación electrónica y metrología, vinculando la formación académica del investigador con la resolución de desafíos reales en la industria.

Para lograr estos objetivos, se llevará a cabo un análisis comparativo de diferentes documentos normativos, seleccionando aquellos que se adapten mejor a las necesidades de la industria. Además, se investigarán nuevos procesos de formación avanzada en señales eléctricas, junto con el desarrollo de modelos matemáticos y la estimación de la incertidumbre de la medición, lo que permitirá seleccionar los patrones más adecuados para la calibración.

Pregunta problematizadora: ¿Por qué se desconoce la importancia de la metrología en general y de las mediciones eléctricas en particular?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, en Santander existen pocas empresas que ofrezcan servicios de calibración eléctrica; aunque hay aproximadamente dos empresas activas en este campo, el desconocimiento generalizado sobre metrología, especialmente sobre metrología eléctrica, es evidente en las industrias locales. Esta falta de conocimiento afecta significativamente la calidad de las mediciones industriales y, en consecuencia, la competitividad y eficiencia operativa en la región.

Este proyecto pretende abordar esta problemática mediante el desarrollo de un procedimiento de calibración de señales eléctricas en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencias de 2 y 4 hilos. Al cubrir estas magnitudes, el proyecto no solo ayudará a satisfacer la demanda existente en cuanto a servicios de calibración, sino que también contribuirá a aumentar el conocimiento técnico entre los usuarios de estos equipos, mejorando su capacidad para realizar mediciones precisas.

La baja competencia en metrología eléctrica en Santander resalta la urgencia de una mayor capacitación en este campo. A través de este trabajo, se busca capacitar

a los profesionales locales en los procedimientos de calibración, cerrando la brecha de conocimiento y contribuyendo a mejorar la precisión y trazabilidad de las mediciones. Este esfuerzo beneficiará a las empresas locales al reducir su dependencia de proveedores externos, al mismo tiempo que fortalecerá la competitividad de la región.

Además, el valor formativo de este proyecto es fundamental, ya que proporciona a los estudiantes y profesionales una herramienta clave para el desarrollo de habilidades en metrología eléctrica, con un impacto directo en la calidad de los procesos industriales. A largo plazo, este proyecto contribuirá a mejorar la seguridad y eficiencia en la industria, mientras que promueve el crecimiento económico sostenible de la región, alineado con las exigencias internacionales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un procedimiento de calibración de señales eléctricas en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencias de 2 y 4 hilos para multímetros y calibradores de proceso, que permita mejorar la precisión, trazabilidad y seguridad en las mediciones industriales, contribuyendo a la formación y capacitación en el área de metrología eléctrica en la región de Santander.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión y análisis de la documentación normativa existente para el proceso de calibración de señales eléctricas, enfocándose en las necesidades de la industria local.
- Elaborar un procedimiento detallado de calibración de señales eléctricas que contemple las mejores prácticas normativas y se ajuste a las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencias de 2 y 4 hilos.
- Identificar y analizar las brechas entre los procedimientos actuales de calibración en la región y las normativas internacionales, para proponer mejoras que contribuyan a elevar los estándares de calidad.
- Seleccionar los patrones e insumos adecuados para el proceso de calibración, asegurando que cumplan con los requisitos establecidos por las normativas internacionales y las exigencias de la industria.

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. METODOLOGÍA

2.1.1 Tipo de Investigación

Este trabajo de grado corresponde a una investigación de tipo descriptivo, centrada en la recopilación y análisis de documentos normativos relacionados con la calibración de señales eléctricas en las magnitudes de corriente AC/DC, tensión AC/DC y resistencias de 2 y 4 hilos. Se pretende desarrollar un procedimiento de calibración aplicable a la industria local en Santander, Colombia.

2.1.2 Enfoque

La investigación está enfocada en el análisis de normativas internacionales y procedimientos documentados en metrología eléctrica. Este enfoque permite identificar las mejores prácticas normativas y metodológicas para su implementación en los procesos de calibración locales.

2.1.3 Procedimiento Metodológico

La investigación se llevará a cabo en las siguientes fases:

- **Fase 1: Revisión Documental y Normativa** Se recopilarán las normativas internacionales aplicables a la calibración de señales eléctricas y los procedimientos recomendados en las normas revisadas. Las normas

incluyen ISO/IEC 17025:2017, documentos del CEM, guías del INM, entre otras.

- **Fase 2: Análisis Comparativo de Procedimientos** Se llevará a cabo un análisis detallado de los procedimientos documentados en las normativas, comparando sus métodos, equipos requeridos, niveles de precisión, incertidumbres asociadas y trazabilidad.
- **Fase 3: Desarrollo del Procedimiento de Calibración** El procedimiento de calibración se desarrollará con base en las normativas específicas para multímetros digitales, generadores multifunción y calibradores de proceso. Se establecerán las condiciones necesarias para cada calibración, incluyendo los equipos requeridos, las magnitudes a calibrar y los niveles de precisión necesarios.

El enfoque se centrará en garantizar que todos los equipos utilizados en el proceso cumplan con los requisitos establecidos por las normas correspondientes, asegurando una correcta trazabilidad y precisión en los resultados.

- **Fase 4: Recomendaciones para la Implementación** Se formularán recomendaciones específicas para la implementación de los procedimientos desarrollados, considerando la infraestructura disponible en la región. Además, se identificarán las mejores prácticas de seguimiento y mantenimiento de los equipos calibrados para garantizar su correcto funcionamiento en el tiempo.



Figura 1: Diagrama de Flujo de la Metodología
Fuente: Autor

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. FUENTES CONSULTADAS Y REVISIÓN DE LAS NORMAS

En la primera fase del desarrollo del trabajo se realizó una revisión detallada de las principales normas aplicables a la calibración de multímetros digitales y generadores multifunción. Esta revisión fue fundamental para garantizar que los procedimientos desarrollados cumplieran con los más altos estándares internacionales, garantizando la precisión y la trazabilidad en las mediciones de las magnitudes de corriente AC/DC, voltaje AC/DC y resistencia.

Norma	Tipo de Norma	Aplicación Principal	Descripción
EL-001 - CEM	Procedimiento técnico	Calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos	Establece el procedimiento detallado para la calibración de multímetros en las magnitudes de corriente AC/DC, voltaje AC/DC y resistencia.
EL-010 - CEM	Procedimiento técnico	Calibración de generadores multifunción	Detalla los pasos para la calibración de generadores multifunción, verificando señales de corriente y voltaje en diferentes rangos operativos.
EL-023 - CEM	Procedimiento técnico	Calibración de fuentes de tensión y corriente continua	Define los métodos de calibración para fuentes de corriente continua, garantizando la precisión en niveles operativos diversos.
EL-024 - CEM	Procedimiento técnico	Calibración de fuentes de tensión e intensidad en corriente alterna	Proporciona directrices para la calibración de fuentes de corriente alterna, incluyendo la verificación de señales de voltaje y corriente AC.

EURAMET cg-15	Guía técnica	Calibración de multímetros digitales y equipos de alta precisión	Recomienda métodos para minimizar la incertidumbre en las mediciones de multímetros digitales, enfatizando la trazabilidad y coherencia de los resultados.
NIST SP 250	Guía técnica	Calibración de instrumentos eléctricos multifuncionales	Ofrece un marco detallado para la calibración de instrumentos eléctricos multifuncionales, asegurando la trazabilidad y consistencia en las mediciones.
Recomendaciones Metrológicas GTM-EM	Recomendaciones técnicas	Calibración en magnitudes eléctricas de tensión, corriente y resistencia	Proporciona recomendaciones detalladas para la calibración de equipos en las magnitudes de tensión, corriente y resistencia.
CENAM PTB 001	Procedimiento técnico	Calibración de generadores multifunción	Procedimiento para la calibración de generadores multifunción en aplicaciones industriales.
NIST Handbook 150-2	Guía técnica	Requisitos para la acreditación de laboratorios de calibración eléctrica	Ofrece directrices para la acreditación de laboratorios en metrología eléctrica.

Tabla 1 Fuentes consultadas de normas de calibración de señales eléctricas

3.1.2 Análisis Comparativo de Procedimientos

El análisis comparativo de los procedimientos normativos permitió identificar las mejores prácticas para la calibración de multímetros digitales y generadores multifunción, optimizando las metodologías en función de las magnitudes eléctricas medidas y los equipos utilizados.

Norma	Magnitud Calibrada	Equipos Requeridos	Similitudes	Diferencias
EL-001 - CEM	Corriente AC/DC, Voltaje AC/DC, Resistencia	Generador multifunción, Multímetro de referencia, Shunts calibrados	Uso de multímetro de referencia y generador multifunción para mediciones de corriente y voltaje.	Aplicación específica para multímetros de hasta 5 1/2 dígitos. Procedimientos más detallados para medir resistencia.
EL-010 - CEM	Corriente AC/DC, Voltaje AC/DC	Generador multifunción, Shunts calibrados, Osciloscopio	Verificación de señales en distintas magnitudes. Ambos utilizan generadores de referencia para garantizar precisión.	Enfoque en generadores multifunción, no cubre resistencia. Utiliza osciloscopios para verificar la forma de las ondas.
EL-023 - CEM	Corriente continua	Multímetro de alta precisión, Fuente calibrada	Precisión requerida en la generación y medición de corriente continua.	Normativa específica para fuentes de corriente continua, sin cobertura de corriente alterna.
EL-024 - CEM	Corriente alterna	Multímetro digital, Fuente calibrada, Shunts calibrados	Medición precisa de señales alternas con multímetros digitales.	Aplicable exclusivamente a corriente alterna. Utilización de shunts calibrados solo para corriente alterna.
EURAMET cg-15	Voltaje y Resistencia	Generador multifunción calibrado, Resistencias patrón	Verificación de señales de voltaje, enfoque en la minimización de la incertidumbre.	Más énfasis en la minimización de incertidumbre, enfoque específico en voltaje y resistencia, no cubre corriente.

Tabla 2 Comparativa de las normas

3.1.3 Desarrollo del Procedimiento de Calibración

Basado en el análisis previo, se desarrolló un procedimiento exhaustivo para la calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos y generadores multifunción, centrándose en las magnitudes de corriente AC/DC, voltaje AC/DC y resistencia.

3.2. CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN

3.2.1 Objetivo

Establecer el método para la calibración multímetros digitales hasta resolución de 5 ½ dígitos y calibración calibradores multifunción mediante la comparación directa entre las indicaciones de la unidad bajo prueba (Unit Under Test – UUT) y el Standard, con lo que se evalúa los intervalos de sus indicaciones se encuentren dentro de las especificaciones del fabricante y normas internacionales.

3.2.2 Alcance

Este procedimiento aplica para la calibración de multímetros de 5 ½ dígitos y calibradores multifunción con indicación digital:

Multímetros digitales y calibradores multifunción:

- Tensión continua y Tensión alterna
- Intensidad continua e Intensidad alterna
- Resistencia

3.2.3 Definiciones

- Calibración: Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación

- Ajuste de un instrumento de medida: Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir.
- Desviación típica de medida: Para una serie de n mediciones de un mismo mensurando, la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados.
- Error de medida: Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.
- Incertidumbre de medida: Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza. (VIM, 2012)

3.2.4 Responsable

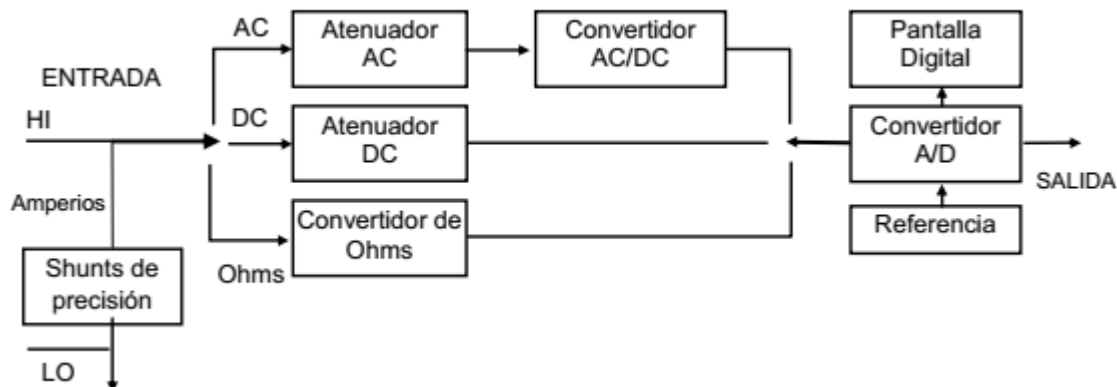
Metrólogo

Coordinador de Metrología

3.2.5 Principio de Operación

- El multímetro digital es un instrumento con capacidad para medir tensión e intensidad tanto en corriente continua como en alterna; igualmente tiene capacidad de medida de resistencia y cuenta con representación numérica de los resultados. El sistema básico de medida de un multímetro digital lo constituye un convertidor analógico digital y las restantes capacidades de medida se obtienen mediante circuitos auxiliares que se adicionan a este circuito básico. La diferencia entre los distintos modelos radica principalmente en la exactitud conseguida, siendo ésta consecuencia del método de medida utilizado y del diseño. Otro factor importante a considerar es la resolución o número de dígitos de su pantalla de representación y que normalmente se utiliza para definir el multímetro (3 ½, 4 ½, 5 ½ dígitos, etc.).

Figura 2 Diagrama de bloques de un multímetro digital



Fuente: EL-001

El convertidor analógico/digital convierte la entrada analógica de tensión continua en una salida digital y es el responsable de muchas de las características del multímetro (velocidad de lectura, linealidad, resolución, rechazo en modo normal, y exactitud). La salida digital se puede enviar a una o varias puertas, incluyendo la pantalla principal o salidas IEEE 488 y RS232 (Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021)

- Los “calibradores multifunción” son instrumentos con capacidad para la generación de tensión (alterna y continua) Intensidad (alterna y continua) y resistencia. Algunos de ellos pueden generar otras magnitudes como capacitancia, simulación de temperatura etc. Siguiendo este procedimiento la calibración de las funciones de tensión y resistencia se calibra mediante medida directa con un multímetro. Las funciones de intensidad se calibran midiendo con el multímetro la caída de tensión producida en una resistencia o “shunt” de valor conocido. Sin embargo, este procedimiento solo es

aplicable para la calibración de corriente (alterna y continua). (Electrotécnica, EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción, 2021)

3.2.6 Unidades de Medida

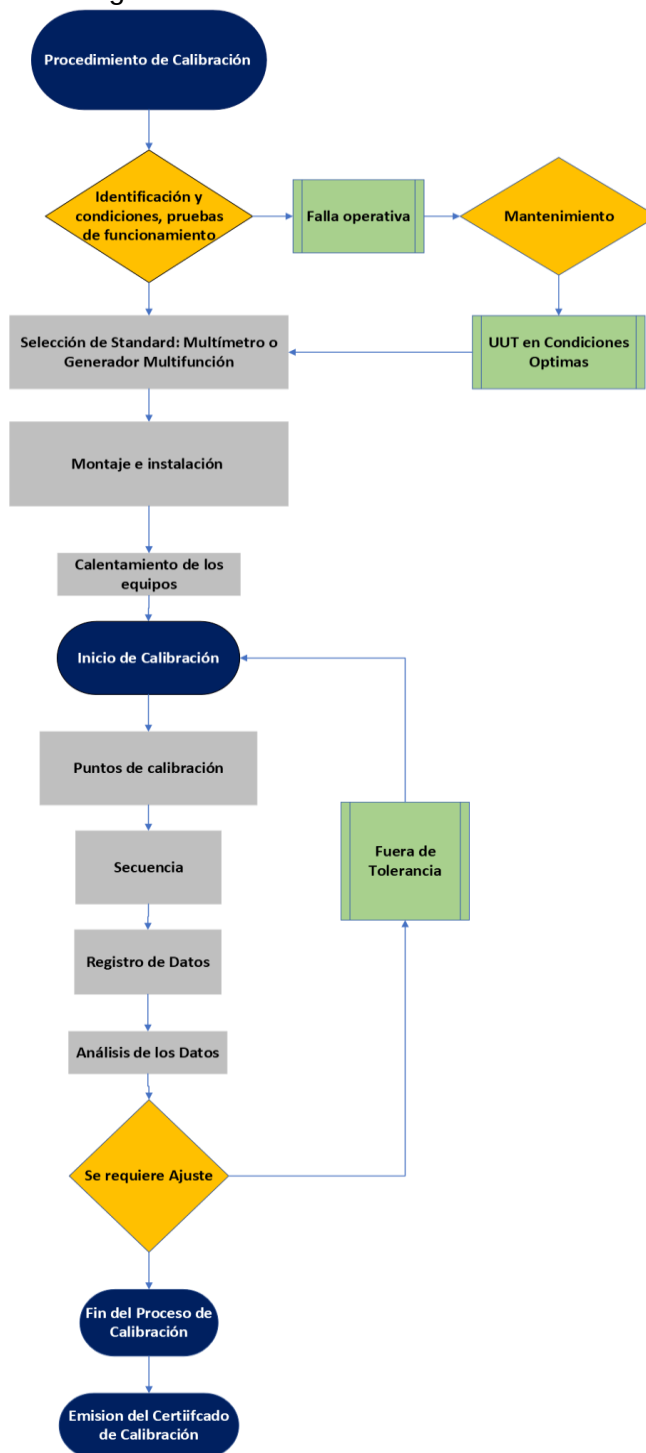
- Para la tensión eléctrica: voltio o volt, (símbolo: V)
- Para la intensidad eléctrica: amperio o ampere, (símbolo: A)
- Para la resistencia eléctrica: ohmio u ohm, (símbolo: Ω)

3.2.7 Procedimiento de calibración

Se estableció un procedimiento que contempla los elementos esenciales para la calibración de diversos equipos de medición y generación de señales eléctricas, ya sea en condiciones de campo o en laboratorio.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que resume cada uno de los pasos a seguir en el proceso de calibración de señales eléctricas:

Figura 3 Procedimiento de Calibración



Fuente: Autor

3.2.8 Identificación

Es fundamental establecer las características clave de la Unidad Bajo Prueba (UUT) que se va a calibrar, así como las condiciones principales bajo las cuales se realizará el servicio de calibración. A continuación, se describen los aspectos a considerar:

1. Datos de la UUT: Se debe registrar la siguiente información relevante del equipo:
 - Marca: Identificación del fabricante de la UUT.
 - Modelo: Especificación del tipo de UUT.
 - Número de serie: Número único de identificación proporcionado por el fabricante.
 - Código interno (TAG o ID): Identificación interna de la UUT en la empresa o laboratorio.
 - Resolución: Capacidad de la UUT para detectar y mostrar cambios en las mediciones más pequeñas.
2. Lugar de Calibración:
 - Indicar si la calibración se realizará en el Laboratorio o en las Instalaciones del Cliente.
3. Condiciones Ambientales:
 - Especificar las condiciones ambientales bajo las cuales se llevará a cabo la calibración, como la temperatura, la humedad relativa, y otras variables que puedan influir en el resultado de la calibración.
4. Observaciones:
 - Cualquier nota adicional que sea relevante para el proceso de calibración, como peculiaridades de la UUT, problemas previos reportados o cualquier otra consideración especial que deba ser tomada en cuenta.

3.2.9 Condiciones de la Unidad Bajo Prueba - UUT

Comprobar que de que todos los componentes de la UUT se encuentren en perfectas condiciones para llevar a cabo el proceso de calibración, verificando la integridad de partes como cables, conectores y otros elementos, además de garantizar que se mantengan en un estado limpio y adecuado.

Confirmar que la UUT está claramente identificada de manera permanente con su fabricante, modelo, número de serie, o una etiqueta interna. Si carece de estos identificadores, el cliente deberá asignarle un código único que será fijado de manera segura en la UUT.

Es crucial revisar el manual de usuario de la UUT previo al inicio del proceso, de modo que el técnico encargado esté completamente familiarizado con su operación. También es recomendable contar con las instrucciones de ajuste proporcionadas por el fabricante en caso de que sea necesario realizar alguna corrección durante la calibración.

Verificar el estado de la batería, dado que muchos equipos dependen de ella para su funcionamiento. Sigue las indicaciones del manual, y si es necesario sustituir la batería, se hará con previa autorización del cliente.

Finalmente, asegúrate de que los fusibles internos de protección de la UUT estén en buen estado. En algunos casos, el manual de la UUT ofrece un método para verificar los fusibles sin necesidad de desmontar el dispositivo.

3.2.10 Selección de standard de calibración

Seleccionar el standard de calibración adecuado, considerando los siguientes aspectos:

- Precisión requerida en el proceso: La incertidumbre estimada del standard debe ser, como máximo, un tercio del error máximo permitido en el proceso de medición o generación.
- Rango de medición: El standard seleccionado debe cubrir el intervalo completo de las mediciones necesarias durante la calibración.
- Estado del standard: Asegurarse de que el standard tenga un certificado de calibración vigente, que garantice tanto la trazabilidad como la incertidumbre apropiada para las mediciones que se realizarán durante la calibración.

3.2.11 Montaje e instalación

Realizar el montaje adecuado de los elementos a calibrar, tanto la UUT como el standard. Seleccionar, siempre que sea posible, las configuraciones que el manual del fabricante identifique con las mejores especificaciones. Es importante anotar en la hoja de toma de datos las configuraciones elegidas para la UUT, y asegurarse de que también se reflejen en el informe de calibración, siguiendo siempre las buenas prácticas metrológicas.

Se debe verificar que las UUT conectadas a la red eléctrica estén alimentadas a través de una fuente de energía regulada para proteger el equipo de posibles fluctuaciones.

Es fundamental asegurarse de que las conexiones se hagan con la polaridad correcta durante el proceso de calibración. Para prevenir errores causados por fuerzas electromotrices de origen térmico, que son especialmente críticas en mediciones de pequeñas tensiones en corriente continua, se recomienda el uso de

cables y conectores de cobre o de materiales que generen bajas fuerzas termoeléctricas al unirse con el cobre. Se debe evitar el uso de conectores niquelados.

Se deben tomar todas las precauciones necesarias al trabajar con riesgos eléctricos. Se recomienda seguir las indicaciones del fabricante proporcionadas en el manual técnico para garantizar la seguridad del personal encargado de la calibración. Algunas medidas básicas de seguridad incluyen las siguientes:

- No realizar ninguna conexión en la salida del standard si hay tensión presente en los terminales. Es esencial asegurarse de que la señal de salida esté en modo STANDBY o similar antes de realizar cualquier conexión.

Nota: Para evitar bucles de tierra y ruido que puedan afectar la precisión de la calibración, debe existir un solo punto de conexión a tierra. Esta conexión puede realizarse en el terminal de baja (LO) del multímetro a calibrar, asegurándose de que el terminal de baja (LO) del calibrador esté aislado de tierra. En caso de que el multímetro funcione con batería o esté completamente aislado de tierra en sus bornes de medición, la conexión a tierra puede hacerse en el terminal de baja del calibrador. (Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021) (Electrotécnica, EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción, 2021)

3.2.12 Estabilidad térmica y calentamiento

Para dispositivos electrónicos conectados a la red eléctrica, es aconsejable seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto al tiempo de calentamiento previo, lo que garantizará que el equipo esté listo para ser evaluado con precisión. Si no se especifica un tiempo concreto, se recomienda dejar el equipo en funcionamiento

durante al menos una hora para que alcance su estabilidad térmica. En el caso de los equipos alimentados por baterías, este paso puede no ser necesario. Sin embargo, se debe permitir que dichos dispositivos se ajusten a la temperatura ambiente del área de calibración, dejando un mínimo de 15 minutos, o el tiempo sugerido por el fabricante, antes de comenzar con las mediciones.

El proceso de calibración deberá realizarse bajo condiciones ambientales controladas, con una temperatura que oscile entre 18 °C y 28 °C, ya que dentro de este intervalo los equipos suelen operar dentro de sus especificaciones. Si las mediciones se efectúan fuera de este rango, será necesario considerar dicho desvío al calcular las incertidumbres de calibración. La humedad relativa no debe exceder el 70%, aunque en circunstancias excepcionales se pueden aceptar valores de hasta el 80%, de acuerdo con lo indicado en los manuales del standard y la UUT. (Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021) (Electrotécnica, EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción, 2021)

3.2.13 Puntos de calibración

Los puntos de calibración deben seleccionarse de acuerdo con las necesidades del cliente y la operatividad del standard, asegurando una distribución uniforme en el intervalo de calibración. De manera general, se recomienda seguir estos criterios:

- Tensión continua: Realizar la calibración al 10% y en el fondo de escala tanto para valores positivos como negativos. En un campo intermedio, verificar la linealidad en los puntos 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, y 100%.

- Tensión alterna: Calibrar en el fondo del rango y a una frecuencia en cada uno de los rangos de especificación del fabricante.
- Resistencia: Si el calibrador dispone de valores de resistencia fijos, calibrar todas las salidas. Si cuenta con valores variables, realizar la calibración al 10% y en el fondo de escala para cada rango.

Observaciones:

- El punto de calibración al 10% se ubica al principio de la escala, pudiendo variar entre 0% y 10% en corriente continua, y entre 0,5% y 10% en corriente alterna.
- El punto del 90% está cerca del límite superior de la escala.

Nota: Si la UUT se utilizará para una aplicación específica que requiere mediciones en puntos determinados, la calibración deberá enfocarse en esos puntos, limitando el uso del equipo a dicha aplicación.

(Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021) (Electrotécnica, EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción, 2021)

3.2.14 Secuencia de calibración

El proceso de calibración puede realizarse siguiendo una de tres metodologías principales, dependiendo del estado del equipo y las instrucciones del cliente:

1. Calibración preliminar - Ajustes requeridos - Calibración de cierre
Este es el enfoque más frecuente. Se comienza evaluando el equipo en orden ascendente, desde el menor valor de su rango operativo hasta el mayor. Si durante esta evaluación se identifican discrepancias que necesiten ajustes, estos se realizan a continuación, seguidos por una segunda calibración para confirmar la precisión. La primera evaluación proporciona

información sobre las condiciones del equipo desde su última revisión, mientras que la segunda asegura que los ajustes han sido correctos. Ambos registros deben documentarse.

2. Calibración directa sin ajuste - Este método es utilizado cuando los errores detectados están dentro de los límites aceptables o cuando el cliente no requiere modificaciones en el equipo, completando el proceso sin realizar ajustes.
3. Ajustes previos - Calibración final - Este enfoque se aplica cuando el estado inicial del equipo no es un factor crítico, como en situaciones donde el equipo ha sido reparado, es nuevo o ha estado fuera de servicio. En este caso, primero se realizan los ajustes necesarios, seguidos por una calibración final para validar el funcionamiento.

(Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021)

3.2.15 Registro de datos

Es necesario documentar las condiciones del entorno durante la calibración, como la temperatura y la humedad relativa, utilizando instrumentos de medición ambiental adecuados.

Se verificará que el voltaje de alimentación y sus fluctuaciones sean apropiados para el correcto funcionamiento tanto del generador multifunción como de la UUT. Es esencial consultar los manuales técnicos del generador y de la UUT si estos equipos están conectados a la red eléctrica. Estos datos deberán registrarse como parte de la evidencia, incluyendo tanto los históricos como las gráficas de las variaciones observadas durante el proceso de calibración.

En cada uno de los puntos de calibración definidos, se realizarán cinco mediciones con el generador multifunción. Si al aplicar el nivel de señal con el standard no se observan variaciones en la indicación del multímetro, será suficiente con anotar una sola medición.

Del mismo modo, en cada uno de los puntos de calibración definidos, se tomarán diez mediciones con el multímetro. Si al aplicar el nivel de señal con el multímetro no se detectan variaciones en la indicación del standard, será suficiente con registrar una sola medición.

3.2.16 Análisis de datos

Para cada punto de calibración se registrarán los siguientes datos:

- Valor aplicado por el standard.
- Lecturas obtenidas en la UUT: Si se observa una fluctuación en la indicación de la UUT, se tomarán cinco mediciones adicionales, y se calculará el promedio y la desviación estándar.
- Error de calibración: La diferencia entre el valor medido por la UUT y el valor proporcionado por el standard será registrada como el error en cada punto.

En caso de que, después de calcular los errores, se presenten dudas sobre alguno de los valores debido a errores significativamente mayores de lo permitido para la UUT, se repetirá la calibración en esos puntos para validar la precisión de los resultados.

Los datos obtenidos durante la calibración serán analizados utilizando una plantilla de cálculo, para determinar si la UUT requiere ajustes adicionales o si es necesario repetir la calibración. Si el análisis es satisfactorio, es decir, no se requieren repeticiones o ajustes, se concluirá el proceso de calibración y se emitirá el correspondiente certificado con los resultados.

3.2.17 Ajuste

Se compararán los errores obtenidos con las tolerancias establecidas para el equipo digital, con el objetivo de determinar si se requieren ajustes. Cualquier ajuste deberá ser autorizado previamente por el cliente, y una vez aprobado, se llevará a cabo una recalibración completa del equipo. Los ajustes se realizarán únicamente en aquellos equipos que lo permitan, y deberán seguirse estrictamente las indicaciones del fabricante, respetando el orden y los puntos especificados.

3.2.18 Error de medición

Calibración de multímetros

Para las mediciones de voltaje en corriente continua y resistencia de dos terminales, el error en la indicación, e_x , de la UUT se determina realizando dos lecturas: una con la señal aplicada y otra con los terminales del equipo en cortocircuito.

$$e_x = V_{ix} + \delta V_{ix} - (V_{ix0} + \delta V_{ix0}) - (V_s + \delta V_s) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

e_x	Error de la indicación.
V_{ix}	Indicación del UUT cuando se aplica la señal (tensión, resistencia) con el patrón.
V_{ix0}	Indicación del UUT cuando se aplica un cortocircuito en su entrada.
δV_{ix}	Corrección debida a la resolución finita del UUT cuando se aplica la señal.
δV_{ix0}	Corrección debida a la resolución finita del UUT cuando se aplica el cortocircuito.
V_s	Valor de la señal (tensión o resistencia) aplicada con el standard corregido.
δV_s	Corrección del valor de la señal aplicada con el standard debida a múltiples efectos.

$$\delta V_s = \delta V_{sd} + \delta V_{sc} + \delta V_{st} + \delta V_{sp} + \delta V_{sl} + \delta V_{st} + \delta V_{se} \quad \text{Ecuación 2}$$

δV_{sd}	Corrección de la señal de standard debida a su deriva desde su última calibración.
δV_{sc}	Corrección de la señal del standard debida a la falta de linealidad.
δV_{st}	Corrección de la señal del standard debido a la temperatura de funcionamiento.
δV_{sp}	Corrección de la señal debida a variaciones en la tensión de alimentación.

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

δV_{sl}	Corrección de la señal debida a efectos de cargas del multímetro.
δV_{st}	Corrección de la señal debida a estabilidad del standard.
δV_{se}	Corrección de la señal aplicada al standard debida a su error de calibración y interpolación.

Para otras magnitudes, como voltaje en corriente alterna, corriente y resistencia de cuatro terminales, el error E se determina usando una versión simplificada de la ecuación, ya que no se requiere una lectura en cortocircuito.

$$e_x = V_{ix} + \delta V_{ix} - (V_s + \delta V_s) \quad \text{Ecuación 3}$$

(Electrotécnica, EL-001 - Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos, 2021)

Calibración de Generadores Multifunción

Función de Tensión

La magnitud de salida generada por el calibrador multifunción en las mediciones de tensión (alterna y continua) se expresa como:

$$V_x = V_s + \delta V_{sc} + \delta V_{sd} + \delta V_{st} + \delta V_{sf} + \delta V_{sv} + \delta V_{sr} + \delta V_{comp} + \delta V_{amb} + \delta V_{met} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

V_x	Valor generado por el calibrador multifunción.
V_s	Valor de la señal (tensión, intensidad o resistencia) medida por el multímetro.
δV_{sc}	Corrección del error certificado del multímetro y interpolación.
δV_{sd}	Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración.
δV_{st}	Corrección debida a fuerzas termo electromotrices no compensadas.
δV_{sf}	Corrección por interpolación en frecuencia.
δV_{sv}	Corrección por interpolación en tensión, intensidad o resistencia.
δV_{sr}	Corrección debida a la falta de resolución del multímetro.
δV_{comp}	Corrección debida a la compensación de los cables.
δV_{amb}	Corrección debida a las condiciones ambientales.
δV_{met}	Corrección debida al método.

Función de Resistencia

$$R_x = R_s + \delta R_{sc} + \delta R_{sd} + \delta R_{si} + \delta R_{sr} \quad \text{Ecuación 5}$$

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

R_x	Valor generado por el calibrador.
R_s	Lectura del multímetro.
δR_{sc}	Corrección del error certificado del multímetro.
δR_{sd}	Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración.
δR_{si}	Corrección por interpolación en Resistencia.
δR_{sr}	Corrección debida a la falta de resolución del multímetro.

Función de Corriente

El valor de la corriente generada por el calibrador multifunción se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{V_s + \delta V_{sc} + \delta V_{sd} + \delta V_{st} + \delta V_{sf} + \delta V_{sv} + \delta V_{sr}}{R_s + \delta R_{sd} + \delta R_{sf} + \delta R_{sw}} \quad \text{Ecuación 6}$$

I_x	Valor de la corriente generada por el calibrador.
V_s	Lectura del multímetro.
δV_{sc}	Corrección por el error certificado del multímetro.
δV_{sd}	Ajuste por la deriva del multímetro.
δV_{st}	Corrección por efectos térmicos no compensados.
δV_{sf}	Ajuste por interpolación en frecuencia.
δV_{sv}	Ajuste por interpolación en tensión.
δV_{sr}	Ajuste por la resolución limitada del multímetro.
R_s	Valor certificado de la resistencia.
δR_{sd}	Ajuste por la deriva de la resistencia.
δR_{sf}	Ajuste por interpolación en frecuencia.
δR_{sw}	Ajuste por la potencia aplicada.

(Electrotécnica, EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción, 2021)

3.2.18 Incertidumbre de medición

El siguiente apartado describe el proceso general empleado para estimar la incertidumbre en cada punto específico de calibración.

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder proceso Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Descripción	Fuente de Incertidumbre	Símbolo	Distribución	Fórmula
Standard	Certificado de calibración	U_{Cert}	Normal	$\frac{U_{Cert}}{k}$
	Deriva	U_{Der}	Rectangular	$\frac{U_{Der}}{2\sqrt{3}}$
	Variaciones de tensión de alimentación	U_{vt}	Rectangular	$\frac{U_{vt}}{2\sqrt{3}}$
	Interpolación de la curva de error	U_{interp}	Rectangular	$\frac{U_{interp}}{\sqrt{3}}$
UUT	Resolución	U_{Res_UUT}	Rectangular	$\frac{U_{Res_UUT}}{2\sqrt{3}}$
		U_{Res_UUT0}	Rectangular	$\frac{U_{Res_UUT0}}{2\sqrt{3}}$
	Repetibilidad	U_{Desv_std}	Normal	$\frac{U_{Desv_std}}{\sqrt{n}}$
Otros factores	Condiciones Ambientales	U_{Cond_Amb}	Rectangular	$\frac{U_{Cond_Amb}}{2\sqrt{3}}$
	Método	$U_{Método}$	Normal k=1	$U_{Método}$

Tabla 3 Incertidumbre Calibración de multímetros

DESCRIPCIÓN	FUENTE DE INCERTIDUMBRE	ESTIMACIÓN	DISTRIBUCIÓN	FÓRMULA
Standard	Certificado de Calibración	δV_{SC}	Normal	$\frac{U_{Cert}}{k}$
	Deriva	δV_{Sd}	Rectangular	$\frac{U_{Der}}{\sqrt{3}}$
	Falta de Resolución del multímetro	δV_{SR}	Rectangular	$\frac{Resol}{2\sqrt{3}}$

	Repetibilidad	V_S	Normal	$\frac{Desvest}{\sqrt{n}}$
	Fuerzas Termoelectricas	δV_{St}	Rectangular	$\frac{F.Term.}{\sqrt{3}}$
	Interpolación (Tensión y Resistencia)	δV_{Sv}	Rectangular	$\frac{Interp}{\sqrt{3}}$
	Interpolación (Frecuencia)	δV_{Sf}	Rectangular	$\frac{Interp}{\sqrt{3}}$
	Certificado de Calibración	R_S	Normal	$\frac{U_{cert}}{k}$
	Deriva	δR_{Sd}	Rectangular	$\frac{U_{Der}}{\sqrt{3}}$
	Interpolación en Resistencia	δR_{Si}	Rectangular	$\frac{Interp}{\sqrt{3}}$
	Resolución	δR_{SR}	Rectangular	$\frac{Resol}{2\sqrt{3}}$
	Repetibilidad	R_S	Normal	$\frac{Desvest}{\sqrt{n}}$
Otros Factores	Método de Calibración	δV_{Met}	Normal k=1	$\frac{U_{Metodo}}{1}$
	Condiciones Ambientales	δV_{Amb}	Rectangular	$\frac{U_{cond}}{2 * \sqrt{3}}$
	Compensación de resistencia de cables	δV_{Comp}	Rectangular	$\frac{Comp. Cables}{\sqrt{3}}$

Tabla 4 Incertidumbre Calibración de Generadores Multifunción

- La incertidumbre combinada: Es el resultado de combinar todas las fuentes individuales de incertidumbre que afectan una medición. Estas fuentes se agregan considerando sus respectivos efectos y se combinan mediante métodos estadísticos para obtener una única medida de la incertidumbre total. Para todas las fuentes de incertidumbre mencionadas, los coeficientes de sensibilidad son 1; por lo tanto, la incertidumbre combinada (u_c) se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres estándar individuales. Esto permite obtener una estimación precisa de la incertidumbre total asociada al resultado de la medición.

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i * u_i)^2} \quad \text{Ecuación 7}$$

- Para determinar los grados de libertad en una estimación de incertidumbre, se sigue el siguiente proceso:
 1. Incertidumbres Tipo A: Los grados de libertad en este tipo de incertidumbre dependen del número de datos disponibles. Para una serie de mediciones repetidas, los grados de libertad se calculan como el número total de observaciones menos uno (n-1). Esto se debe a que se utiliza un parámetro, como la media, que reduce la cantidad de valores independientes.
 - Ejemplo: Si se toman 10 mediciones de una magnitud, los grados de libertad serán $10 - 1 = 9$.
 2. Incertidumbres Tipo B: En el caso de las incertidumbres tipo B, los grados de libertad no se basan directamente en los datos experimentales, sino que dependen del juicio experto del profesional de calibración. Este juicio se apoya en la experiencia, la información disponible y el nivel de confianza en las fuentes de incertidumbre. El número de grados de libertad se puede calcular usando una fórmula de aproximación conocida como la fórmula de Welch-Satterthwaite, que toma en cuenta las incertidumbres individuales y su contribución total.

$$\nu_i = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{u(x_i)}{\Delta u(x_i)} \right]^2 \quad \text{Ecuación 8}$$

3. Cálculo del Número Efectivo de Grados de Libertad: Cuando se combinan varias fuentes de incertidumbre, se emplea el concepto de grados de libertad efectivos (ν_{eff}). Estos grados de libertad efectivos consideran las contribuciones de todas las fuentes individuales de incertidumbre (cada una con su propio ν_i). Se calcula utilizando la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum \left(\frac{u_i^4(y)}{v_i} \right)} \quad \text{Ecuación 9}$$

- La incertidumbre expandida es una medida que proporciona un intervalo dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero de la magnitud medida, con un nivel de confianza elevado. Se obtiene multiplicando la incertidumbre combinada (u_c) por un factor de cobertura (k), que generalmente se elige en función del nivel de confianza deseado.

$$U = u_c * k \quad \text{Ecuación 10}$$

(Standardization I. O., Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), 2008)

3.3. TENDENCIAS ACADÉMICAS Y CIENTÍFICAS EN LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

La calibración de equipos ha experimentado avances significativos en los últimos años debido al incremento de la precisión requerida en los procesos industriales y tecnológicos. Diversos estudios y normativas han contribuido a establecer métodos estandarizados, reduciendo la incertidumbre en las mediciones y mejorando la trazabilidad de los resultados. A continuación, se presenta una revisión de las principales tendencias académicas y científicas en la calibración de equipos, basada en estudios recientes y normativas internacionales.

Fuente	Técnica usada	Novedad en la aplicación
(NIST, 2020)	Técnicas de calibración de instrumentos multifuncionales	Integración de procedimientos de trazabilidad en entornos complejos, permitiendo una calibración precisa y repetible de instrumentos como multímetros y generadores multifunción, con énfasis en mejorar la interoperabilidad en laboratorios internacionales.
(EURAMET, 2018)	Métodos de calibración para multímetros digitales	Desarrollo de estrategias de reducción de la incertidumbre aplicadas específicamente a dispositivos de 5 ½ dígitos, mejorando la consistencia en la medición de señales AC/DC bajo condiciones variables.
(CEM, n.d.)	Procedimientos de calibración de multímetros digitales	Uso de nuevas tecnologías de calibración automatizada que reducen el tiempo de calibración y permiten la detección temprana de errores, asegurando la continuidad en aplicaciones industriales críticas.
(IEC, 2017)	Normas de seguridad en equipos de medida	Implementación de sistemas avanzados de protección contra sobretensiones y cortocircuitos en equipos de medida eléctrica, mejorando la seguridad operativa en entornos industriales de alto riesgo.
(ISO/IEC 17025:2017)	Evaluación de competencia de laboratorios de calibración	Adopción de nuevos enfoques de gestión de riesgos en la operación de laboratorios de calibración, mejorando la trazabilidad y control sobre los procesos de medición en magnitudes eléctricas.
(CENAM, n.d.)	Procedimientos de calibración de generadores multifunción	Introducción de técnicas de verificación automática para la calibración de generadores multifunción, optimizando la precisión de la señal en distintas aplicaciones industriales y reduciendo la incertidumbre general en los resultados.
(IEC 61326-1, 2020)	Compatibilidad electromagnética	Mejora en los requisitos de inmunidad electromagnética, especialmente en entornos industriales donde se utilizan generadores y equipos de medición sujetos a interferencias de alta frecuencia.

(GTM-EM, n.d.)	Métodos de calibración en magnitudes eléctricas	Actualización de los métodos de medición en resistencia, tensión y corriente en función de las innovaciones tecnológicas, permitiendo a los laboratorios adaptarse a las nuevas demandas de precisión en la industria 4.0.
(EURAMET, 2016)	Técnicas de transferencia AC/DC	Refinamiento de los procesos de calibración en transferencia de señales AC/DC, mejorando la exactitud en la transferencia de señales en aplicaciones de alto rendimiento como sistemas de energía renovable.
(NIST Handbook 150-2)	Requisitos para la acreditación de laboratorios de calibración eléctrica	Incorporación de nuevas directrices sobre la gestión de la calidad en laboratorios de calibración eléctrica, orientado a aumentar la robustez de las mediciones en condiciones de variabilidad operativa.
(IEC 61010-1, 2017)	Requisitos de seguridad para equipos de medida eléctrica	Adopción de nuevos sistemas de protección frente a riesgos eléctricos en entornos de alta exposición, priorizando la seguridad del personal técnico y la durabilidad de los equipos en entornos industriales hostiles.
(ISO 10012:2003)	Sistemas de gestión de medición	Mejoras en el control de procesos de medición, incluyendo la gestión automatizada de datos y la optimización de la trazabilidad en la calibración de magnitudes eléctricas para garantizar una mayor integridad de los datos.
(BS EN 61557-12)	Equipos para medir la resistencia de aislamiento	Introducción de métodos de prueba rápidos y precisos para la medición de resistencia de aislamiento, que son clave en la prevención de fallos eléctricos en equipos de alta precisión en entornos industriales.
(CEM EL-023, 2018)	Calibración de fuentes de tensión y corriente continua	Aplicación de sistemas avanzados de verificación de fuentes de corriente continua que permiten garantizar la estabilidad y precisión de las señales en aplicaciones de laboratorio y campo.
(CEM EL-024, 2019)	Calibración de fuentes de tensión e intensidad en corriente alterna	Optimización del proceso de calibración de fuentes de corriente alterna, mediante el uso de técnicas de medición con baja incertidumbre, asegurando la calidad de la señal y la coherencia en las mediciones.

Tabla 5 Tendencias Académicas y Científicas en la Calibración

Fuente: Autor

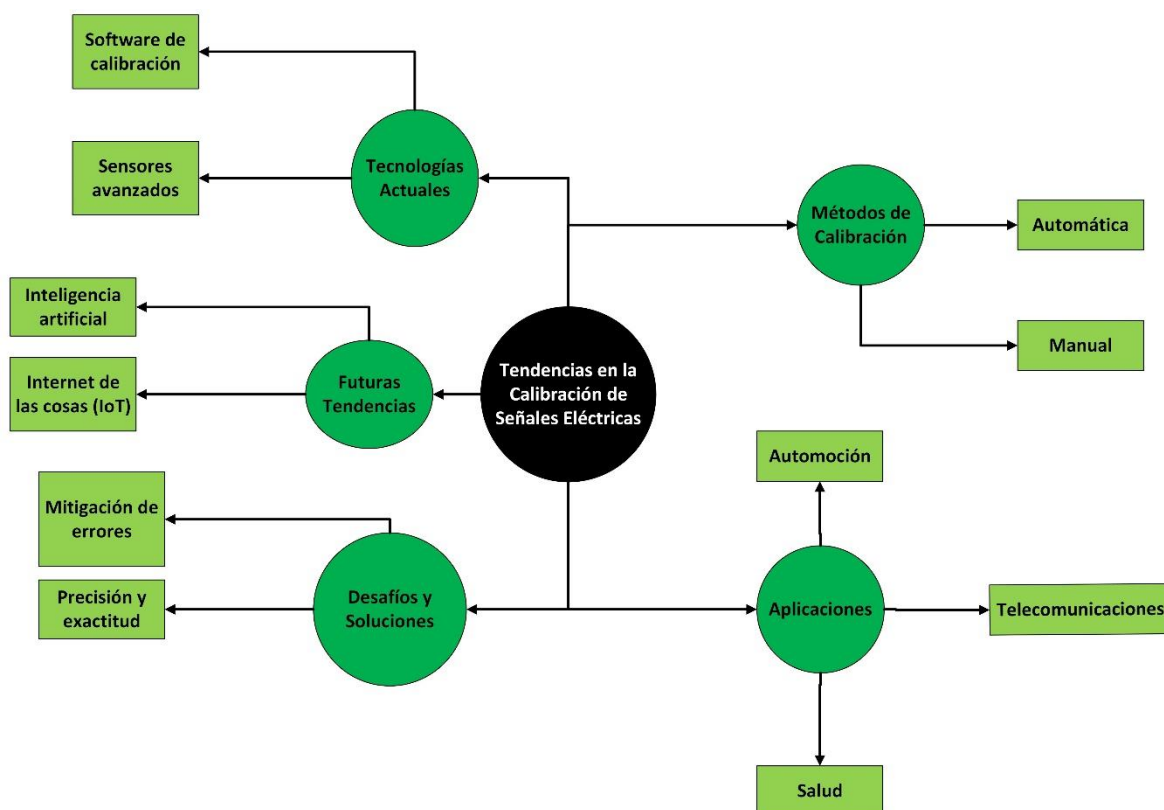


Figura 4 Tendencias en la calibración de Señales Eléctricas
Fuente: Autor

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El desarrollo de esta monografía condujo a la creación de un procedimiento robusto y detallado para la calibración de multímetros de hasta 5 1/2 dígitos y generadores multifunción. Este procedimiento abarca las magnitudes de corriente AC/DC, voltaje AC/DC y resistencia, asegurando que se cumplan los más altos estándares de precisión y trazabilidad.

De acuerdo con los criterios establecidos en las normas EL-001 y EL-010, se diseñó un proceso que tiene en cuenta las mejores prácticas metrológicas, asegurando que cada calibración sea confiable y repetible. El procedimiento desarrollado es aplicable tanto en laboratorio como en campo, y proporciona una guía clara sobre los pasos a seguir, desde la preparación del equipo y la selección de los puntos de calibración hasta el cálculo de las incertidumbres.

El procedimiento implementa una secuencia estándar de calibración, que incluye una calibración inicial, posibles ajustes y una calibración final. Cada uno de estos pasos garantiza que el equipo bajo prueba (UUT) sea evaluado en condiciones controladas y que cualquier desviación se corrija antes de finalizar el proceso. Los puntos de calibración fueron seleccionados estratégicamente para cubrir el rango completo de operación del equipo, utilizando una distribución uniforme para asegurar la linealidad y precisión del UUT.

En términos de incertidumbre, el cálculo de la incertidumbre combinada se realizó aplicando las metodologías recomendadas en las normas de referencia, incorporando las correcciones debidas a la resolución limitada del UUT, los efectos de las condiciones ambientales y las correcciones derivadas del standard de referencia utilizado. Esto permitió asegurar que los resultados obtenidos fueran trazables y precisos.

Los resultados obtenidos en este proceso de calibración muestran que la implementación del procedimiento propuesto permite asegurar una alta confiabilidad en las mediciones realizadas con los multímetros y generadores multifunción. Al aplicar los principios de las normas EL-001 y EL-010, el procedimiento garantiza que las mediciones se mantengan dentro de los límites de error permitidos, incluso en condiciones ambientales variables. Esto es de particular importancia en entornos industriales, donde la precisión de las mediciones eléctricas es crucial para garantizar la operatividad y seguridad de los sistemas.

Además, se ha logrado reducir significativamente la incertidumbre en las mediciones mediante la aplicación de correcciones detalladas y bien fundamentadas, respaldadas por la información proporcionada en los certificados de calibración de los estándares utilizados. El uso adecuado de los puntos de calibración permite obtener una visión completa del rendimiento del equipo bajo prueba a lo largo de todo su rango operativo.

En conclusión, el procedimiento de calibración desarrollado no solo cumple con las expectativas de los usuarios de equipos de medición en términos de precisión y fiabilidad, sino que también establece una base sólida para futuras calibraciones, contribuyendo así al desarrollo de mejores prácticas en el campo de la metrología eléctrica en la región.

4. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de esta monografía, se diseñó un procedimiento de calibración efectivo para multímetros de hasta 5 1/2 dígitos y generadores multifunción, abarcando magnitudes como corriente AC/DC, voltaje AC/DC y resistencia. Uno de los principales retos fue garantizar que el procedimiento se ajustara a las normativas aplicables, como las normas EL-001 y EL-010. La solución a este reto implicó la adopción de un enfoque meticuloso que permitiera una alineación precisa con las exigencias normativas, tanto para aplicaciones en laboratorio como en campo.

En este proceso, un aspecto fundamental fue la identificación y control de los posibles problemas derivados de la implementación del procedimiento. Por ejemplo, la selección de puntos de calibración adecuados se convirtió en un desafío, ya que se requería una planificación cuidadosa para garantizar que el procedimiento cubriera de manera completa el rango de operación de los equipos bajo prueba. A través de una cuidadosa evaluación de las mejores prácticas, se lograron establecer criterios que permitieron una distribución óptima y uniforme de los puntos de calibración.

Un aspecto significativo fue la gestión de incertidumbres en el procedimiento, lo que planteó dificultades en la adaptación de las metodologías de estimación en función de diferentes condiciones operativas. Estos problemas se abordaron con éxito mediante ajustes metódicos y una rigurosa planificación, lo que permitió reducir las incertidumbres asociadas y, en última instancia, asegurar la robustez del procedimiento. Este enfoque garantizó que los procedimientos pudieran adaptarse a diversas condiciones sin comprometer la calidad de los resultados.

En general, el trabajo de esta monografía permitió superar diversos obstáculos relacionados con la implementación de un procedimiento de calibración ajustado a las normativas y a las necesidades prácticas del usuario. Las soluciones implementadas no solo resolvieron los problemas identificados, sino que también establecieron una base sólida para futuras aplicaciones, destacando la importancia de un enfoque metódico y bien documentado en los procesos de calibración de señales eléctricas.

5. RECOMENDACIONES

- **Implementación de una Plataforma Automatizada para la Calibración de Multímetros:** Este proyecto buscaría desarrollar un sistema automatizado de calibración de multímetros, mejorando la precisión y reduciendo el error humano en las mediciones. Sería relevante para el GICAV en términos de control avanzado y automatización de procesos industriales.
- **Desarrollo de un Sistema Inteligente para la Gestión de la Trazabilidad en la Calibración de Equipos de Medición Eléctrica:** El objetivo es diseñar un sistema inteligente que utilice tecnologías de machine learning y big data para analizar y gestionar la trazabilidad de los instrumentos calibrados. Este proyecto se enfocaría en mejorar la eficiencia y exactitud en el campo de la metrología eléctrica.
- **Creación de un Laboratorio Acreditado para la Calibración en Magnitudes Eléctricas de Alta Precisión:** Este proyecto permitiría a las Unidades Tecnológicas de Santander contar con un laboratorio acreditado especializado en la calibración de multímetros y generadores multifunción, brindando servicios a nivel regional y nacional.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (CENAM), C. N. (2019). CENAM PTB 001: Procedimiento de calibración de generadores multifunción. Querétaro, México: CENAM.
- (EURAMET), E. A. (2011). EURAMET cg-15: Calibración de multímetros digitales y equipos de alta precisión. Berlín, Alemania: EURAMET.
- (INM), I. N. (2017). Recomendaciones Metrológicas GTM-EM: Calibración en magnitudes eléctricas de tensión, corriente y resistencia. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Metrología (INM).
- (NIST), N. I. (2018). Special Publication 250: Calibración de instrumentos eléctricos multifuncionales. Washington, Estados Unidos: NIST.
- (NIST), N. I. (2019). NIST Handbook 150-2: Requisitos para la acreditación de laboratorios de calibración eléctrica. Washington, Estados Unidos: NIST.
- Acreditación, E. M. (2006). Criterios de aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 / ISO/IEC 17025:2005. Ciudad de México, México: EMA.
- Commission., I. E. (2012). Electrical measuring transducers for converting AC electrical variables to analogue or digital signals. IEC 60688. Ginebra, Suiza: International Electrotechnical Commission.
- Commission., I. E. (2013). Electrical equipment for measurement, control and laboratory use - EMC requirements. IEC 61326-1. Ginebra, Suiza: International Electrotechnical Commission.
- Corporation., F. (2020). Digital multimeter calibration procedures. Everett, WA, EE.UU: FLUKE.
- Electrotécnica, C. E. (2020). EL-023: Procedimiento de calibración de fuentes de tensión y corriente continua. Madrid, España: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
- Electrotécnica, C. E. (2020). EL-024: Procedimiento de calibración de fuentes de tensión e intensidad en corriente alterna. Madrid, España: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
- Electrotécnica, C. E. (2021). EL-001: Procedimiento de calibración de multímetros digitales de hasta 5 1/2 dígitos. Madrid, España: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
- Electrotécnica, C. E. (2021). EL-010: Procedimiento de calibración de generadores multifunción. Madrid, España: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
- Engineers, I. o. (1992). Standard for digital interface for programmable instrumentation. Nueva York, EE.UU: IEEE.
- Engineers, I. o. (2010). Standard for terminology and test methods for analog-to-digital converters. Nueva York, EE.UU: IEEE.
- Engineers., I. o. (2017). Standard for digitizing waveform recorders. IEEE 1057. Nueva York, EE.UU: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- EURAMET. (2013). Guidelines on the calibration of temperature indicators and simulators by electrical simulation and measurement. Braunschweig, Alemania: EURAMET.

- Institute, A. N. (2006). Requirements for the calibration of measuring and test equipment. ANSI/NCSL Z540.3. Washington, DC, EE.UU: American National Standards Institute - ANSI.
- Institute, N. M. (2020). Guidelines for calibration in electrical metrology. Sydney, Australia: NMI.
- Institution, B. S. (2013). Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances. Londres, Reino Unido: BSI.
- Institution, B. S. (2014). Electromagnetic compatibility (EMC) - Limits for harmonic current emissions. Londres, Reino Unido: BSI.
- Institution, B. S. (2018). Requirements for electrical installations - IET Wiring Regulations. Londres, Reino Unido: BSI.
- International, A. (s.f.). Standard guide for quality management in calibration laboratories. West Conshohocken, PA, EE.UU: ASTM.
- International, A. (s.f.). Standard practice for electrical calibration of electronic instrumentation. West Conshohocken, PA, EE.UU: ASTM.
- Laboratory, N. P. (2012). Calibration of electrical measuring instruments. Londres, Reino Unido: National Physical Laboratory - NPL.
- Laboratory, N. P. (2016). Calibration of electrical energy meters. Londres, Reino Unido: NOL.
- Lineal, C. E. (2019). Calibración avanzada de equipos multifuncionales. Madrid, España: Centro Español de Metrología - CEM.
- METAS, F. I. (2016). Guidelines for calibration of multimeters and electrical devices. Berna, Suiza: Federal Institute of Metrology - METAS.
- Metrología, C. E. (2012). Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (3a ed.). Madrid, España: Centro Español de Metrología - CEM.
- Metrology, I. L. (2007). Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments ILAC-G24 / OIML D 10. París, Francia: ILAC & OIML.
- Metrology, J. C. (2008). Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Ginebra, Suiza: Joint Committee for Guides in Metrology - ISO.
- NIST, N. I. (2003). Good Measurement Practice for Assignment and Adjustment of Calibration Intervals for Laboratory Standards. 1GMP 11. Gaithersburg, MD, EE.UU: NIST.
- Normalización, A. E. (2015). Electromagnetic compatibility (EMC) - Testing and measurement techniques. Madrid, España: UNE.
- Standardization, I. -I. (2017). 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization (ISO) / International Electrotechnical Commission (IEC).
- Standardization, I. O. (2008). Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). Ginebra, Suiza: ISO.
- Standardization, I. O. (2015). Quality management systems. ISO 9001:2015. Ginebra, Suiza: ISO.
- Standardization., I. O. (s.f.). Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000. Ginebra, Suiza: ISO.

F-DC-125

PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS
(CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS Y GENERADORES MULTIFUNCIÓN
HASTA 5 ½ DÍGITOS).

VERSIÓN: 2.0

Technology, N. I. (2010). Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. Gaithersburg, MD, EE.UU: NIST.

Technology, N. I. (s.f.). Calibration methods for electronic measuring instruments. Tsukuba, Japón: AIST.