



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

**CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DE PATRONES DE REFERENCIA DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA COMO FASE PREPARATORIA PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN.**

**Amílcar Aguilar Umaña**

Asesorado por el Ing. Óscar Renato Calderón Salazar

Guatemala, septiembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DE PATRONES DE REFERENCIA  
DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA,  
COMO FASE PREPARATORIA PARA EL PROCESO DE  
ACREDITACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**AMÍLCAR AGUILAR UMAÑA**

ASESORADO POR EL ING. ÓSCAR RENATO CALDERÓN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga.	Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga.	Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing.	Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br.	José Milton De León Bran
VOCAL V	Br.	Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga.	Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Luis Arturo González López
EXAMINADOR	Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DE PATRONES DE REFERENCIA  
DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA,  
COMO FASE PREPARATORIA PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 2 de noviembre de 2005.

Amílcar Aguilar Umaña

Guatemala 27 de octubre de 2008.

Ingeniero  
Otto Fernando Andrino  
Coordinador del Área de Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

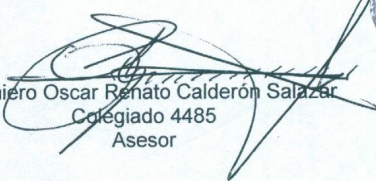
Estimado Ingeniero Andrino:

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **Confirmación metrológica de patrones de referencia del Laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería como fase preparatoria para el proceso de acreditación**, del estudiante Amílcar Aguilar Umaña, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo de graduación, y yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente:

  
Ingeniero Oscar Renato Calderón Salazar  
Colegiado 4485  
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 17 2009.  
Guatemala, 05 de mayo 2009.

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.


Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DE PATRONES DE  
REFERENCIA DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA  
ELÉCTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE  
INGENIERÍA COMO FASE PREPARATORIA PARA EL  
PROCESO DE ACREDITACIÓN, del estudiante; Amílcar Aguilar  
Umaña, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Otto Fernando Andriano González  
Coordinador Área de Electrotécnica



O FAG/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 23.2009.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Amilcar Aguilar Umaña, titulado: CONFIRMACIÓN METROLÓGICA DE PATRONES DE REFERENCIA DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA COMO FASE PREPARATORIA PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Mario Renato Escobedo Martinez**  
**DIRECTOR**



**GUATEMALA, 07 DE MAYO 2,009.**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.345.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONFIRMACIÓN METROLOGICA DE PATRONES DE REFERENCIA DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA COMO FASE PREPARATORIA PARA EL PROCESO DE ACREDITACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Amilcar Aguilar Umaña**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Retos  
Decano



Guatemala, Septiembre de 2009



## **AGRADECIMIENTOS A**

MIS PADRES                      Por su apoyo de siempre, en especial, por la guía para orientar mi vida hacia la lectura y las ciencias, lo cual me permitió tener una vida más plena.

MIS HERMANOS:  
FRANCISCO                      Por su fraternidad activa que nos convirtió en  
CECILIA                            personas orientadas al bien.  
ISABEL

EL INGENIERO                      Por su apoyo y consejos en la elaboración del  
ÓSCAR RENATO                    presente trabajo de graduación.  
CALDERÓN  
SALAZAR

EL INGENIERO                      Por su amistad y apoyo desinteresado.  
FRANCISCO JAVIER                Por permitirme efectuar el trabajo de  
GONZÁLEZ LÓPEZ                graduación en el Laboratorio de Metrología  
Eléctrica del Centro de Investigaciones de la  
Facultad de Ingeniería, en donde adquirí  
grandes conocimientos.

LA TRICENTENARIA                Por la gran diversidad de conocimientos que  
UNIVERSIDAD DE                    adquirí en sus aulas. Por el trabajo que realiza  
SAN CARLOS DE                    para ayudar en la construcción de una  
GUATEMALA                        Guatemala más digna.

LAS PERSONAS                      La lista es muy grande, pero esas personas  
ANÓNIMAS QUE                    demuestran con sus acciones que Guatemala  
CON SU EJEMPLO                   puede algún día ser un mejor país.  
ME ANIMARON A  
NO DESMAYAR

## DEDICATORIA A

MERCEDES  
CRISTINA POLO  
DE LA ROCA

Por su dignidad ejemplar ante las circunstancias buenas y malas de la vida. Por ser la guía perfecta que conduce a mi familia a un horizonte lleno de esperanza.

JAVIER JOSÉ  
JOSÉ DAVID  
PAULA ISABEL

Por las enseñanzas que me transmiten siempre al renovar la esperanza de que cada nuevo día es una aventura por escribir. Por sus gritos de alegría que me comunican su deseo de vivir en un país más digno y más humano.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>GLOSARIO</b>	IX
<b>RESUMEN</b>	XIII
<b>OBJETIVOS</b>	XV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XVII
<b>1. LABORATORIO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA</b>	1
1.1. Información general del laboratorio	1
1.1.1. Reseña histórica	2
1.1.2. Misión del laboratorio	3
1.1.3. Visión del laboratorio	4
1.2. Medición de parámetros eléctricos	4
1.2.1. Parámetros eléctricos	7
1.2.2. Unidades del Sistema Internacional de Unidades	9
1.2.3. Medición de voltaje	13
1.2.3.1. Voltaje CD	13
1.2.3.2. Voltaje CA	16
1.2.4. Medición de corriente	16
1.2.4.1. Corriente CD	16
1.2.4.2. Corriente CA	17
1.2.5. Medición de resistencia	17
1.2.6. Medición de potencia	20
1.2.7. Medición de frecuencia	20
1.2.8. Medidor calibrador	22
1.2.9. Multímetro	23

1.3. Evaluación de patrones de laboratorio	24
1.3.1. Patrones	24
1.3.1.1. Patrón por jurisdicción	25
1.3.1.1.1. Patrón internacional	25
1.3.1.1.2. Patrón nacional	25
1.3.1.2. Patrón por jerarquía metrológica	25
1.3.1.2.1. Patrón primario	25
1.3.1.2.2. Patrón secundario	25
1.3.1.2.3. Patrón de referencia	26
1.3.1.2.4. Patrón de trabajo	26
1.3.2. Verificación, validación y calibración	26
1.3.2.1. Verificación	26
1.3.2.2. Validación	27
1.3.2.3. Calibración	28
1.3.3. Patrones de referencia	33
1.3.3.1. Patrones de voltaje DC	33
1.3.3.1.1. Celdas estándar de voltaje	33
1.3.3.1.2. Patrones secundarios de voltaje	40
1.3.3.2. Voltaje de CA	43
1.3.3.3. Corriente CD	43
1.3.3.4. Corriente CA	44
1.3.3.5. Resistencia	44
1.3.3.6. Potencia	46
1.3.3.7. Frecuencia	46
1.3.3.8. Multímetro	46
1.3.3.9. Medidor calibrador	49

<b>2. MEDIDOR CALIBRADOR FLUKE 760A</b>	<b>51</b>
2.1. Verificación del medidor calibrador Fluke 760A	51
2.1.1. Voltaje de corriente directa	52
2.1.2. Voltaje de corriente alterna	54
2.1.3. Resistencia	55
2.1.4. Corriente CD	55
2.1.5. Corriente CA	56
2.2. Diferencias entre máximo error permitido y error medido	56
2.2.1. Voltaje de corriente directa	57
2.2.2. Voltaje de corriente alterna	57
2.2.3. Resistencia	58
2.2.4. Corriente CD	58
2.2.5. Corriente CA	59
2.3. Teoría de operación	59
2.4. Reparación	60
2.4.1. Limpieza general	61
2.4.2. Revisión de la función de voltaje CA	61
2.4.3. Revisión de la función de voltaje CD	61
2.4.4. Revisión de la función de corriente CD	62
2.4.5. Revisión de los capacitores principales	62
2.4.6. Ajuste	65
2.4.6.1. Voltaje de corriente directa	65
2.4.6.2. Voltaje de corriente alterna	66
2.4.6.3. Resistencia	66
2.4.6.4. Corriente CD	67
2.4.6.5. Corriente CA	67
2.5. Comparación entre Fluke 760A y Fluke 5500A	68

<b>3. NORMATIVA COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025</b>	<b>73</b>
3.1. Generalidades	77
3.2. Personal	78
3.3. Instalaciones y condiciones ambientales	78
3.4. Métodos de ensayo y calibración	78
3.5. Equipo	80
3.6. Trazabilidad de la medición	80
3.7. Muestreo	81
3.8. Manejo de elementos de ensayo y calibración	81
3.9. Aseguramiento de la calidad	82
3.10. Informe de resultados	82
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>91</b>
Anexo I      La referencia de 1.000000 voltio	91
Anexo II     Norma Coguanor 17 025	93
Anexo III    Laboratorios acreditados frente a no acreditados	97
Anexo IV     El proceso de verificación de equipo	99
Anexo V      El detector de nulos ND-106	117

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>1</b>	Diagrama de bloques del medidor calibrador Fluke 760A	59
<b>2</b>	Diagrama de la referencia de 1.000000 V	91
<b>3</b>	Laboratorios acreditados frente a no acreditados	98
<b>4</b>	Proceso de verificación de equipo	100

## TABLAS

<b>I.</b>	Valores de voltaje de la celda patrón número uno	37
<b>II.</b>	Valores de voltaje de la celda patrón número dos	38
<b>III.</b>	Valores de voltaje de la celda patrón número tres	39
<b>IV.</b>	Valores de voltaje de la celda secundaria número uno	42
<b>V.</b>	Valores de voltaje de la celda secundaria número dos	42
<b>VI.</b>	Valores de voltaje de la celda secundaria número tres	43

<b>VII.</b>	Valores de resistencia patrón	45
<b>VIII.</b>	Verificación de voltajes CD del medidor calibrador	52
<b>IX.</b>	Verificación de voltajes CA del medidor calibrador	54
<b>X.</b>	Verificación de resistencias del medidor calibrador	55
<b>XI.</b>	Verificación de corriente CD del medidor calibrador	56
<b>XII.</b>	Verificación de corriente CA del medidor calibrador	56
<b>XIII.</b>	Máximo error de voltaje CD permitido y medido	57
<b>XIV.</b>	Máximo error de voltaje CA permitido y medido	57
<b>XV.</b>	Máximo error de resistencia permitido y medido	58
<b>XVI.</b>	Máximo error de corriente CD permitido y medido	58
<b>XVII.</b>	Máximo error de corriente CA permitido y medido	59
<b>XVIII.</b>	Medición de capacitores principales	64
<b>XIX.</b>	Medición de voltaje CD después del ajuste	65
<b>XX.</b>	Medición de voltaje CA después del ajuste	66



<b>XXI.</b>	Medición de resistencia después del ajuste	66
<b>XXII.</b>	Medición de corriente CD después del ajuste	67
<b>XXIII.</b>	Medición de corriente CA después del ajuste	67
<b>XXIV.</b>	Comparación entre Fluke 760A y Fluke 5500A	69
<b>XXV.</b>	Relación de error entre Fluke 760A y Fluke 5500A	70
<b>XXVI.</b>	Resistencias de fuente del detector de nulos ND-106	118



## GLOSARIO

Acreditación	Procedimiento por el cual un organismo autorizado reconoce formalmente que un organismo o persona es competente para llevar a cabo tareas específicas.
Calibración	Es el conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de los errores de un patrón, instrumento o equipo de medida, procediendo a su ajuste o expresando aquellos errores mediante tablas o curvas de corrección.
Calidad	Es el grado en el que la información del laboratorio es exacta, confiable y adecuada a los propósitos deseados.
Certificación	Procedimiento por el cual una tercera parte asegura por escrito que un producto, proceso o servicio, cumple con los requerimientos especificados.
Coguanor	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas. Es la entidad reconocida nacional e internacionalmente, que gestiona la normalización técnica y actividades conexas,

	para propiciar la obtención de productos y servicios de calidad.
Error de medición	Diferencia entre el valor medido y el valor exacto de una determinada cantidad o magnitud.
Incertidumbre	Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que, con fundamento, pueden ser atribuidos al mensurando.
Instrumento de medición	Dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones, ya sea sólo él, o en conjunto con dispositivos complementarios.
Mensurando	Magnitud particular sujeta a medición.
Metrología	Ciencia que trata de las mediciones.
Metrología eléctrica	Rama de la metrología encargada de las mediciones eléctricas.
Patrón	Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de magnitud para utilizarse como referencia.

Sistema de medición	Juego completo de instrumentos de medición y otros equipos acoplados para realizar mediciones específicas.
Trazabilidad	Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales e internacionales por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas ellas incertidumbres determinadas.



## RESUMEN

Los laboratorios de metrología eléctrica en particular, y cualquier laboratorio de ensayos en general, deben suministrar resultados confiables derivados de su actividad. Para ello es esencial que sus patrones de referencia sean adecuados para el propósito que fueron diseñados: ser confiables para que todas las mediciones que se derivan de ellos sean correctas en el grado para el cual fueron adquiridos de acuerdo a una necesidad particular.

Los laboratorios de metrología eléctrica incluyen como expresión de su capacidad técnica, los parámetros que sus multímetros y calibradores tienen para efectuar comparaciones y mediciones. Es por ello que es muy importante el proceso de verificación de los equipos citados, ya que de su correcto funcionamiento depende el grado de satisfacción en las mediciones. Los patrones de referencia del laboratorio, por definición, son aquellos de la más alta calidad metrológica disponibles en el laboratorio, de los cuales se derivan las mediciones que se realizan en la institución. Es obvio que su operación correcta, mantenimiento, trazabilidad y condiciones de almacenamiento son esenciales para garantizar las mediciones que se requieran.

El medidor-calibrador del Laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería, no cumplía con los requisitos del fabricante para estar comprendido dentro de las máximas tolerancias de funcionamiento permitidas. Por su importancia en el Laboratorio, se decidió efectuar una evaluación para una posible reparación del mismo. Después de la revisión, limpieza, reparación y ajuste, se mejoró el funcionamiento hasta tolerancias permitidas. El procedimiento de ajuste no pudo completarse por diferentes dificultades técnicas. El equipo tiene ya muchos años de funcionamiento. Sin

embargo, para los propósitos del laboratorio, es bastante aceptable. Es aquí donde debe pensarse en la adquisición de equipo más moderno que reemplace paulatinamente al equipo que se va haciendo obsoleto.

Está demostrado que un laboratorio que opera con un sistema acreditado bajo la Norma Coguanor NGR/Copant/ISO/IEC 17 025 producirá mucho menos resultados insatisfactorios que aquellos que no se encuentran acreditados. En este orden de ideas es conveniente considerar que la acreditación de un laboratorio como el de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería, es aconsejable para garantizar la correcta aplicación de las técnicas de medición de parámetros eléctricos. La normativa de acreditación contempla el sistema de gestión y los requisitos de competencia técnica, siendo ambos inter-dependientes para alcanzar los fines propuestos. En este trabajo se consideran únicamente los requisitos de competencia técnica.



# OBJETIVOS

## Generales

1. Considerar la verificación de equipos de un laboratorio como un proceso previo a la acreditación del mismo, ya que la normativa de acreditación contempla el sistema de gestión y los requisitos de competencia técnica para el adecuado funcionamiento de la institución, siendo ambos interdependientes para alcanzar los fines propuestos.
2. Contribuir a comprender la necesidad de que los profesionales adquieran cada vez mayores conocimientos en campos que en la actualidad se aceptan en el mundo globalizado. La aplicación correcta de la metrología es fundamental para el desarrollo de casi cualquier actividad profesional en este mundo que avanza vertiginosamente.

## **Específicos**

1. Conocer la importancia de las mediciones efectuadas correctamente en un laboratorio de metrología eléctrica.
2. Conocer las ventajas de la implantación de un sistema acreditado bajo la normativa COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025.
3. Conocer la importancia que tienen los patrones de referencia de un laboratorio, ya que, del correcto estado de funcionamiento de los mismos, se derivan las mediciones realizadas en esa institución.
4. Conocer la importancia de que las personas que trabajan en un laboratorio acreditado se esfuercen continuamente para mejorar en lo posible sus procesos técnicos y de gestión.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala se hace sentir la necesidad de contar con organismos capacitados para enfrentar los retos de la globalización en curso. Una de las carencias fundamentales en nuestro país es la falta de profesionalismo en el desarrollo de las actividades a todo nivel. En ese contexto hay una rama a la que recientemente se le presta atención, buscando mejorar el estado en el que se encuentra: la ciencia de las mediciones o metrología. Como parte del desarrollo al que apuntan los esfuerzos de muchas actividades es necesario que los laboratorios de medición del país sean aptos para cumplir los requerimientos de las normativas existentes que, gradualmente, pasan a ser aceptados internacionalmente.

En el estado actual del desarrollo de la metrología en el país existen algunas empresas que hacen esfuerzos por tener sus propios laboratorios de medición de acuerdo a las exigencias del proceso particular que efectúan. En el contexto de los negocios, la relación cliente-proveedor también necesita de la existencia de organismos independientes, capaces de actuar en funciones de arbitraje. El sector eléctrico, por ejemplo, necesita actualmente de laboratorios independientes acreditados para realizar funciones de peritaje que demandan mediciones precisas y confiables.

Es aconsejable la existencia de laboratorios independientes, con capacidad técnica y recurso humano competente, para realizar las funciones correspondientes a un laboratorio de metrología eléctrica. El Centro de Investigaciones de Ingeniería cuenta con un laboratorio de metrología eléctrica que fue pionero en el campo, y que necesita ser acreditado para prestar

servicios acordes a las exigencias actuales. A consecuencia de las exigencias descritas se requiere readecuar los patrones existentes y, de ser posible, la adquisición de nuevos equipos que permitan ampliar los servicios con que se cuenta.

En este contexto se presta especial atención a los patrones de referencia del laboratorio. De acuerdo a la definición de un patrón de referencia –patrón de la más alta calidad metrológica disponible del cual se derivan las mediciones que se realizan en una institución- es bastante evidente la importancia que tiene la verificación de su correcto funcionamiento.

# 1. LABORATORIO DE METROLOGIA ELECTRICA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

## 1.1. Información general del laboratorio

En el documento titulado “El Laboratorio de Metrología Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala”, de fecha 3 de septiembre 1979, el Ingeniero Rodolfo Koenigsberger describe la siguiente información: *En febrero de de 1969 se elaboró un documento intitulado “Creación del Laboratorio de Normalización Eléctrica en la Facultad de Ingeniería”, que fue sometido a las Autoridades de la misma. En ese documento se analizaba la necesidad de calibración de los instrumentos de medición, así como de la conveniencia de disponer de los patrones adecuados y equipo asociado mínimo requerido, habiéndose incluido un plan de trabajo y el presupuesto correspondiente.*

El numeral 2.1. del citado documento, titulado “Patrones”, indica que *la filosofía de operación de nuestro Laboratorio es tratar de obtener una relativa independencia del N.B.S. (National Bureau of Standards de Estados Unidos), sin dejar de mantener la relación de trazabilidad de las mediciones del mismo. El envío constante de los patrones de trabajo para su recalibración al N.B.S. no solamente es sumamente costoso, sino de exactitud cuestionable, por la incertidumbre de lo que pudo haber pasado en el transporte de regreso. Esto nos impelió a desarrollar métodos de autocalibración, utilizando solamente dos patrones independientes: voltaje y frecuencia, así como varios patrones secundarios de resistencia, inductancia y capacitancia.*

*Todos los patrones de trabajo se recalibran contra los fundamentales, y unos contra otros, en una forma poco convencional. Esta forma de calibración nos puede afectar la incertidumbre de la exactitud en un orden de magnitud, pero todavía es suficiente para nuestros requerimientos prácticos.*

### **1.1.1 Reseña histórica:**

En el año de 1,975 el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con la ayuda de la Organización de Estados Americanos (OEA), y por gestiones del Ing. Rodolfo Koenigsberger, establece el Laboratorio de Metrología Eléctrica.

En septiembre de 1,979 el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala recibe el Diploma de Miembro Fundador por parte del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) en Buenos Aires, Argentina. El SIM fue creado *con el objeto de promover la cooperación entre los países participantes, para contribuir al perfeccionamiento de las actividades en las áreas de la metrología legal, industrial y científica.* En este mismo año el Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI), inició negociaciones con el Instituto Federal de Física y Metrología de la República de Alemania (Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB)), para la ejecución del proyecto “Fomento de la metrología, normalización y ensayo” en el ICAITI.

En 1,989, el Laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería investigó acerca de la correcta aplicación de la metrología en Guatemala, determinándose incipiente la formación de este tema. En 1,990 el ICAITI elaboró un estudio donde se estimó la demanda cualitativa en mediciones y calibraciones para los sectores industriales y considerados importantes de acuerdo a su estructura y tamaño.

En 1,993-1,995 la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con la ayuda de la Asociación Italiana de Técnicos para la Cooperación y la Solidaridad Internacional (RE.TE), inició un programa de formación de personal de metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería, con tendencia a la instauración del un laboratorio de metrología industrial para la prestación de servicios al sector productivo.

### **1.1.2 Misión del laboratorio**

Actualmente no está establecido el enunciado formal de la misión del laboratorio.

En el trabajo de graduación titulado “Evaluación, análisis y propuesta para la acreditación del laboratorio de metrología eléctrica, del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería”, efectuado por Carmen Judith Cristóbal Rodríguez, se propone la misión del laboratorio como sigue: *Conservar un servicio de calidad hacia nuestros clientes mediante la utilización de equipo patrón tomando en cuenta el Sistema Internacional de Unidades y proporcionar a los estudiantes apoyo en su desarrollo académico. Manteniendo una atmósfera que estimule al personal al mejoramiento continuo.*

### **1.1.3 Visión del laboratorio**

Actualmente no está establecido el enunciado formal de la visión del laboratorio.

En el trabajo citado en el párrafo anterior se propone la visión del laboratorio: *Ser un laboratorio metrológico competitivo reconocido a nivel nacional por su calidad en el servicio y por su personal técnico altamente capacitado.*

## **1.2. Medición de parámetros eléctricos**

El proceso de medición generalmente requiere el uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en muchos casos permiten a las personas determinar el valor de una cantidad desconocida la cual no podría medirse utilizando solamente las facultades sensoriales. Por lo tanto, un instrumento se puede definir como *un dispositivo para determinar el valor o magnitud de una cantidad o variable.*

El trabajo de medición emplea una serie de términos, los cuales se definen a continuación.

Exactitud: aproximación con la cual la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.



**Precisión:** medida de la reproducibilidad de las mediciones; esto es, dado el valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual las mediciones sucesivas difieren una de la otra.

**Sensibilidad:** relación de la señal de salida o respuesta del instrumento respecto al cambio de la entrada o variable medida.

**Resolución:** cambio más pequeño en el valor medido al cual responde el instrumento.

**Error:** desviación a partir del valor real de la variable medida.

### Exactitud y precisión

Exactitud se refiere al grado de aproximación o conformidad al valor real de la cantidad medida.

Precisión es el grado de concordancia dentro de un grupo de mediciones o instrumentos.

Para ilustrar la diferencia entre exactitud y precisión se pueden comparar dos voltímetros de la misma marca y modelo. Ambos tienen escalas igualmente calibradas, por lo tanto, se pueden leer con la misma precisión. Si el valor de la resistencia en serie en uno de los medidores cambia considerablemente la lectura puede tener un error elevado. Por lo tanto, la exactitud de los dos medidores puede ser diferente.

La precisión se compone de dos características: conformidad y el número de cifras significativas con las cuales se puede realizar la medición. Considérese, por ejemplo, que una resistencia cuyo valor real es  $1\ 384\ 572\ \Omega$  se mide con un óhmetro, el cual repetidamente indica  $1.4\ M\Omega$ . Pero, ¿el observador puede leer el valor real en la escala?

Su estimación de la lectura en la escala marca un valor de  $1.4\ M\Omega$ . Esto está tan cercano al valor real como él pueda estimar la lectura de la escala. Aunque no haya desviaciones del valor observado, el error creado por las limitaciones de la escala es un error de precisión. El ejemplo ilustra que la conformidad es necesaria pero no suficiente en cuanto a precisión por la falta de cifras significativas. De modo semejante, la precisión es una condición necesaria pero no suficiente para la exactitud.

Cifras significativas: una indicación de lo preciso de las mediciones se obtiene a partir del número de cifras significativas con las cuales se expresan los resultados. Estas cifras proporcionan información real relativa a la magnitud y precisión de las mediciones de una cantidad. El aumento de la cantidad de cifras significativas incrementa la precisión de una medición.

Errores: ninguna medición se puede realizar con una exactitud perfecta, pero es importante descubrir cual es la exactitud real, y como se generan los diferentes errores en las mediciones. Un estudio de los errores es el primer paso al buscar modos para reducirlos con objeto de establecer la exactitud de los resultados finales.

Los errores, por lo general, se clasifican en tres categorías principales.

Errores gruesos, se deben principalmente a fallas de origen humano, como mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto y aplicación inapropiada, así como equivocaciones en el registro y los cálculos de los resultados.

Errores sistemáticos, se deben a fallas en los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas, y efectos ambientales sobre el equipo.

Errores aleatorios, ocurren por causas que no se pueden establecer directamente debido a variaciones aleatorias en los parámetros o en los sistemas de medición.

### 1.2.1. **Parámetros eléctricos**

En algunos materiales conocidos como conductores, existen cargas eléctricas que se pueden mover, tal es el caso de los electrones en los metales y los iones en las soluciones salinas. En estos materiales, en presencia de un campo eléctrico, se produce un flujo estable de carga en la dirección del campo; tal flujo constituye la corriente eléctrica.

En electricidad se dan tres elementos básicos, relacionados entre sí por la Ley de Ohm:

$$E = IR$$

donde E es la tensión eléctrica -comúnmente llamada voltaje-, I es la corriente eléctrica, y R es la resistencia eléctrica.

En base a esta ley se pudo haber definido la unidad de electricidad en términos de los otros dos.

Se decidió definirla en términos de corriente eléctrica, quedando las unidades de tensión eléctrica y resistencia eléctrica como unidades derivadas. Dos tipos de patrones materiales forman una combinación, la cual sirve para mantener el amperio con alta precisión durante largos períodos: la resistencia patrón y la celda patrón de voltaje.

La carga eléctrica es una propiedad de la materia que produce efectos eléctricos y magnéticos. En un sistema aislado es constante y aparece en paquetes. La carga aislada más pequeña es la que posee el electrón. La forma simple de poner de manifiesto la carga eléctrica es frotando con una tela de seda dos esferas, por ejemplo de ámbar, suspendidas con un material no conductor: las esferas se repelen manifestando la misma carga. Si las esferas que se frota son de materiales diferentes, por ejemplo una de ámbar y otra de vidrio, se atraen manifestando que poseen cargas diferentes.

Un símil que permite visualizar el comportamiento de la electricidad y la interrelación de sus características, es la siguiente:

En una tubería que conduce agua caracterizamos el fenómeno por la cantidad de agua que fluye, la presión con que lo hace y las características de la tubería. En electricidad la presión del agua equivale a la tensión eléctrica expresada en voltios (V), la cantidad de agua a la corriente eléctrica expresada en amperios (A), y la fricción característica de la tubería a la resistencia eléctrica expresada en ohmios ( $\Omega$ ).

### **1.2.2. Unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI)**

El SI es el sistema coherente de unidades adoptado y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

Hasta antes de octubre de 1995, el Sistema Internacional de Unidades estaba integrado por tres clases de unidades: unidades SI de base, unidades SI suplementarias y unidades SI derivadas.

La XX<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, reunida en esa fecha, decidió que las unidades suplementarias (radián y esterradián) formaran parte de las unidades derivadas adimensionales. Con esta decisión las clases de unidades que forman el SI se redujo a unidades SI de base o fundamentales y unidades SI derivadas.

Son siete unidades sobre las que se fundamenta el sistema y de cuya combinación se obtienen todas las unidades derivadas: unidad de longitud, unidad de masa, unidad de tiempo, unidad de corriente eléctrica, unidad de temperatura termodinámica, unidad de intensidad luminosa y unidad de cantidad de sustancia.

Definición internacional de las unidades de medida de la electricidad y el magnetismo (9<sup>a</sup> Conferencia Internacional de Pesas y Medidas, 1948)

El ampere o amperio (símbolo A) es la intensidad de una corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores –rectilíneos, paralelos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro entre sí en el vacío-, produciría entre estos conductores una fuerza de  $2 \times 10^{-7}$  newtons por metro de longitud.

Las mediciones previas del valor absoluto del amperio se hicieron con una balanza de corriente, la cual mide la fuerza entre dos conductores paralelos. Estas mediciones fueron bastante rudimentarias y fue necesario contar con un patrón más reproducible y práctico para los laboratorios nacionales. Por acuerdo internacional, el valor del amperio internacional se basó en un depósito electrolítico de plata a partir de una solución de nitrato de plata. El amperio internacional se definió entonces como la corriente que deposita plata metálica a una razón de 1.118 mg/s a partir de una solución patrón de nitrato de plata; surgieron problemas para encontrar la medida exacta de la plata depositada, y se presentaron pequeñas discrepancias entre las mediciones hechas por diferentes laboratorios de patrones nacionales.

En 1948 el amperio absoluto reemplazó al internacional. La determinación del primero se realizó por medio de la balanza de corriente, la cual pesa la fuerza ejercida entre dos bobinas que conducen una corriente. El mejoramiento en las técnicas de medición de campos de fuerza da un valor para el amperio muy superior a las mediciones iniciales. La relación entre la fuerza y la corriente que produce esta fuerza se puede calcular a partir de los conceptos de la teoría electromagnética fundamental y se reduce al simple cálculo que abarca las dimensiones geométricas de las bobinas. El amperio absoluto es actualmente la unidad fundamental de corriente eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades, y se acepta a nivel internacional.

Las principales unidades derivadas son el voltio y el ohmio.

El volt o voltio (símbolo V) es la tensión eléctrica existente entre las terminales de un elemento pasivo de un circuito, que disipa una potencia de un watt, cuando es recorrido por una corriente invariable de un amperio.

El ohm u ohmio (símbolo  $\Omega$ ) es la resistencia eléctrica de un elemento pasivo de un circuito recorrido por una corriente invariable de un amperio, sometido a una tensión constante de un voltio entre sus terminales.

➤ Otras unidades derivadas:

Unidad de cantidad de electricidad: coulomb o culombio (símbolo C), es la cantidad de electricidad transportada en un segundo por una corriente eléctrica de un amperio.

Unidad de capacitancia eléctrica: farad o faradio (símbolo F), es la capacitancia de un condensador eléctrico, entre cuyas placas se produce una diferencia de potencial eléctrico de un voltio cuando es cargado por una cantidad de electricidad de un coulomb.

Unidad de conductancia eléctrica: siemens (símbolo S), es la conductancia eléctrica de un conductor, en el cual una corriente de un amperio es producida por una diferencia de potencial eléctrico de un voltio.

Unidad de densidad de flujo magnético: tesla (símbolo T), es la densidad de flujo magnético producida por un flujo magnético de un weber por metro cuadrado.

Unidad de flujo magnético: weber (símbolo Wb), es el flujo magnético que, al atravesar un circuito eléctrico de una sola espira produce, en dicho circuito, una fuerza electromotriz de un voltio, conforme el flujo se reduce hasta cero en un segundo a velocidad uniforme.

Unidad de frecuencia: hertz (símbolo Hz), es la frecuencia de un ciclo por segundo.

Unidad de inductancia eléctrica: henry o henrio (símbolo H), es la inductancia eléctrica de un circuito cerrado, en el que se produce una fuerza electromotriz de un voltio, cuando la corriente eléctrica en el circuito varía uniformemente a razón de un ampere por segundo.

Unidad de potencia eléctrica: watt o vatio (símbolo W), es la potencia que produce energía a razón de un joule por segundo.

Los principios y artefactos utilizados en un patrón dependen del desarrollo científico y las facilidades técnicas disponibles. Para el amperio se utilizaban balanzas de corriente pero su incertidumbre era considerable. Actualmente se obtienen mejores resultados con el voltio y el ohmio cuánticos y utilizando la ley de Ohm.

La realización de la unidad se hace con un sistema que a su vez es patrón. Se usa el efecto Josephson para la unidad de referencia del voltio y se trabaja con el efecto Hall cuántico para la resistencia. El trabajo desarrollado en el proceso de realización es complejo y requiere de aparatos y equipos especializados, así como personal altamente calificado.



La incertidumbre de medición de la tensión eléctrica (voltio) en un arreglo de uniones de Josephson es de unas pocas partes en  $10^{10}$  y para el patrón de la resistencia con el efecto Hall cuantizado es de unas pocas partes en  $10^9$ .

La gran confiabilidad en el transporte de los sistemas de Josephson y Hall cuantizado permite que los laboratorios nacionales tengan sistemas (patrón) comparables internacionalmente.

La técnica actual permite la fabricación de aparatos analógicos y digitales destinados a medir los parámetros eléctricos. Como en todo trabajo científico, el uso de ordenadores facilita, acelera y da mayor certidumbre a los resultados. El trabajo de medición emplea extensamente el procesamiento digital y muchos conocimientos relacionados con la mecánica cuántica; es decir, que es trabajo de alta tecnología, aunque los resultados son de uso popular, en aparatos tales como amperímetros, voltímetros y medidores de resistencia. Tenemos que distinguir entre los sistemas de medición de alta resolución/baja incertidumbre – patrones y sistemas de referencia-, y los de aplicación práctica.

### **1.2.3. Medición de voltaje**

#### **1.2.3.1. Medición de voltaje de CD**

Por muchos años el voltio patrón se basó en una celda electroquímica llamada celda saturada patrón o celda patrón. La celda saturada es dependiente de la temperatura y el voltaje de salida cambia cerca de  $-40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$  del valor nominal de 1.01858 V.

La celda patrón es afectada en proporción a la temperatura y también porque el voltaje es una función de una reacción química y no depende directamente de ninguna otra constante física. El trabajo de Brian Josephson, 1962, proporciona un nuevo patrón. Una unión de película delgada se enfría cerca del cero absoluto y se irradia con microondas. Se desarrolla un voltaje a través de la unión y se relaciona con la frecuencia de irradiación por medio de la siguiente expresión:

$$V = hf / 2e$$

donde      h      =      constante de Planck ( $6.63 * 10^{-34}$  Js)  
              e      =      carga del electrón ( $1.062 * 10^{-19}$ C)  
              f      =      frecuencia de irradiación de las microondas

Ya que únicamente la frecuencia de irradiación es una variable en la ecuación el voltio patrón se relaciona con el patrón de tiempo/frecuencia. Cuando la frecuencia de irradiación de las microondas se mide con un reloj atómico o con un patrón de frecuencia de radiodifusión, la exactitud del voltio patrón, incluyendo toda la inexactitud del sistema, es de una parte en  $10^8$ .

El mejor método para transferir el voltio del patrón basado en la unión de Josephson a patrones secundarios para la calibración es la celda patrón. Este dispositivo se conoce como celda Weston normal o saturada. *La celda Weston es una pila eléctrica utilizada como patrón de fuerza electromotriz. A 20 °C su fuerza electromotriz es de 1.0186 V. También llamada célula de cadmio, su ánodo es de mercurio recubierto por sulfato de mercurio; el cátodo, una amalgama de siete partes de mercurio por una de cadmio, y el electrolito, una disolución saturada de sulfato de cadmio.*

Hay dos tipos de celda Weston: la celda saturada, en la cual el electrólito está saturado a todas las temperaturas por los cristales de sulfato de cadmio que cubren los electrodos; y, la celda no saturada, en la cual la concentración de sulfato de cadmio produce saturación a 4 °C. La celda no saturada tiene un coeficiente de temperatura despreciable a temperatura ambiente. La celda saturada tiene una valoración de voltaje de aproximadamente -40 μV por cada incremento de 1 °C, pero es más reproducible y estable que la celda no saturada.

Los laboratorios de patrones nacionales tienen un número de celdas saturadas como patrón primario para el voltaje. Las celdas se conservan en un baño de aceite para mantener su temperatura dentro de 0.01 °C. El voltaje de la celda saturada Weston a 20 °C es 1.01858 V (absolutos), y varía a otras temperaturas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$e_t = e_{20^\circ\text{C}} - 0.000046(t-20) - 0.00000095(t-20)^2 + 0.00000001(t-20)^3$$

Las celdas Weston saturadas permanecen satisfactoriamente como patrones de voltaje durante 10 ó 20 años, mientras se traten con cuidado. Su disminución de voltaje es de 1 μV por año. Puesto que las celdas saturadas son sensibles a la temperatura, no conviene usarlas en laboratorios generales o como patrones de trabajo.

### **1.2.3.2. Medición de voltaje de CA**

Para medir voltajes alternos en el Laboratorio de Metrología se utilizaba un patrón de transferencia térmica que compara el voltaje alterno con otro continuo. Este voltaje continuo equivalente se mide entonces en forma similar al de cualquier otro voltaje directo. La calibración del patrón de transferencia requiere un patrón de voltaje de CA. Este es una fuente de 10 V cuyo valor de pico se compara con el de un voltaje de referencia de 14.414214 V. Este voltaje de CD a su vez, se calibra según un procedimiento determinado. Debido al factor de grado de exactitud introducido por la transferencia de CA a CD, la exactitud total en las mediciones de tensiones de CA en el sistema es de  $\pm 0.01$  %.

### **1.2.4. Medición de corriente**

#### **1.2.4.1. Medición de corriente CD**

En el Laboratorio de Metrología las intensidades se medían inicialmente por medio de la llamada “caja paralela”, aplicando la Ley de Ohm. Con el equipo disponible se podían medir valores de hasta 20 A, con una exactitud de  $\pm 0.02$  %.

#### **1.2.4.2. Medición de corriente CA**

Para medición de intensidades de CA se utilizaba el mismo método descrito en el párrafo anterior, con el agregado de una resistencia en paralelo cuya exactitud se verificaba regularmente. Sin embargo, este nuevo elemento de circuito afectaba en forma aditiva la exactitud de la medición, por lo cual esta se garantizaba solamente al  $\pm 0.02\%$ .

#### **1.2.5. Medición de resistencia**

El valor absoluto del ohmio en el Sistema Internacional de Unidades se define en términos de las unidades fundamentales de longitud, masa y tiempo. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres, así como los laboratorios de patrones nacionales, efectúan la medición absoluta del ohmio.

Estos laboratorios conservan un grupo de patrones de resistencia primarios. Los laboratorios metrológicos de mayor jerarquía mantienen un grupo de esos patrones primarios (resistencias patrones de  $1\ \Omega$ ) las cuales se comparan de manera periódica y en ocasiones se verifican con mediciones absolutas. La resistencia patrón es una bobina de alambre de alguna aleación, como la manganina, la cual tiene una elevada resistividad eléctrica y un bajo coeficiente de temperatura-resistencia (casi una relación constante entre temperatura y resistencia). La bobina resistiva se coloca en un depósito de doble pared para prevenir cambios de resistencia, debido a las condiciones atmosféricas.

Con un conjunto de cuatro o cinco resistencias de 1  $\Omega$  de este tipo, la unidad de resistencia se puede representar con una precisión de unas pocas partes en  $10^7$  durante años.

Los patrones secundarios y de trabajo se encuentran disponibles para algunos fabricantes de instrumentos en una amplia escala de valores y por lo general en múltiplos de 10  $\Omega$ . Estas resistencias patrón se construyen de una aleación de alambre con características adecuadas de resistividad y temperatura. El patrón secundario de laboratorio se llama algunas veces resistencia de transferencia. La bobina resistiva de la resistencia de transferencia está montada entre una película de poliéster para reducir esfuerzos en el alambre y mejorar la estabilidad de la resistencia. La bobina se sumerge en aceite libre de humedad y se coloca en un envase sellado. Las conexiones de la bobina se sueldan con plata y las terminales en gancho se elaboran de cobre y níquel plateado libre de oxígeno.

La resistencia de transferencia se verifica con las características de estabilidad y temperatura y su régimen de potencia a una temperatura de operación especificada (normalmente a 25 °C). El informe de calibración, que acompaña a la resistencia, especifica su trazabilidad de acuerdo a patrones de mayor jerarquía, e incluye los coeficientes de temperatura  $\alpha$  y  $\beta$ . Aun cuando el alambre seleccionado para la resistencia proporciona un valor casi constante en una amplia escala de temperatura, el valor exacto de la resistencia a cualquier temperatura se puede calcular a partir de la expresión

$$R_t = R_{25^\circ\text{C}} + \alpha(t-25) + \beta(t-25)^2$$

donde:  $R_t$  = resistencia a la temperatura ambiente  $t$   
 $R_{25^\circ\text{C}}$  = resistencia a 25 °C  
 $\alpha, \beta$  = coeficientes de temperatura

El coeficiente de temperatura  $\alpha$  es generalmente menor de  $10 \cdot 10^{-6}$ , mientras que el coeficiente  $\beta$  varía entre  $-3 \cdot 10^{-7}$  y  $-6 \cdot 10^{-7}$ . Esto significa que un cambio en la temperatura de 10 °C a partir de la temperatura de referencia de 25 °C puede originar un cambio en la resistencia de 30 a 60 partes por millón del valor nominal.

En los laboratorios de metrología eléctrica se utilizan dos tipos de resistencia patrón: el patrón tipo Thomas de 1  $\Omega$  y el patrón de 10 k $\Omega$ . El primero es el patrón fundamental porque permite establecer el valor de la resistencia con un grado de exactitud más alto. Sin embargo, el segundo es más útil en las mediciones prácticas, porque cae en el rango medio de los valores utilizados.

El Laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería cuenta con ambos tipos de resistencias, los cuales poseen una estabilidad mejor a 1 parte por millón por año, por lo que necesitan recalibrarse cada 10 o 20 años.

La exactitud de las resistencias patrones es transferida a patrones secundarios o resistencias de trabajo por métodos de relación, utilizando un divisor primario de voltaje del tipo *Kelvin-Varley*. Para medidas menos precisas de resistencias se utilizan de forma más directa y sencilla los puentes tipo *Wheatstone*.

### **1.2.6. Medición de potencia**

El patrón de referencia para medir potencia eléctrica es un sistema de ensayo universal marca MTE (*Meter Test Equipment*).

Este equipo permite efectuar amplias inspecciones de todos los componentes de una instalación moderna de contadores. Según el fabricante *el amplio rango de medida, la alta precisión y la baja sensibilidad a interferencias externas son algunas de sus características más notables. Entre sus funciones relevantes se encuentran la medida de potencia activa, reactiva y aparente así como sus respectivas energías, medida de error, presentación del diagrama vectorial de la situación de la red, medida de armónicos y la medida del burden de transformadores de tensión e intensidad.* Este equipo es bastante moderno, teniéndose la posibilidad de operarlo tanto manualmente como utilizando programas de cómputo (*software*) específico.

### **1.2.7. Medición de frecuencia**

La medición exacta del tiempo es importante en todos los campos de la investigación científica. Como el tiempo es una de las unidades fundamentales a partir de la cual se derivan todas las demás unidades, es necesario que las mediciones de tiempo se hagan con mucha exactitud.

Se define la frecuencia como el número de eventos recurrentes que tienen lugar en un intervalo unitario de tiempo.



Cuando se refiere uno a señales eléctricas, la frecuencia (símbolo  $f$ ) es por lo general el número de ciclos de una onda periódica que se presentan por segundo. La duración del tiempo (en segundos) de un ciclo completo de esa onda se llama el período (símbolo  $T$ ) de la onda. La frecuencia y el período de una onda se relacionan mediante

$$f = 1/T$$

La unidad de frecuencia es el hertz (Hz, que antes se llamaba ciclos por segundo). La ecuación anterior implica que si se conoce ya sea el tiempo o la frecuencia, el otro término puede conocerse fácilmente.

Los primeros patrones de tiempo se basaban en la rotación de la Tierra alrededor de su eje. Un día es el tiempo que tarda la Tierra para efectuar una revolución completa alrededor de su eje. Cuando fue inventado el primer reloj se escogió al segundo como el tiempo aproximado de una oscilación completa de un péndulo. Eventualmente se definió al segundo como 1/ 86400 parte de un día.

Sin embargo, cuando se hicieron mediciones astronómicas más precisas de la rotación de la Tierra, se dedujo que existen pequeñas variaciones en el tiempo de rotación axial de la Tierra. Así, se vio que un patrón de tiempo que estuviese ligado con la rotación de la Tierra nunca sería completamente constante. Como las mediciones modernas requieren del conocimiento de intervalos de tiempo muy exactos, fueron desarrollados varios estándares o normas que no dependen de las observaciones astronómicas.

El estándar moderno de la unidad de tiempo/frecuencia se define en términos de un estándar atómico. En este estándar se mide la frecuencia resonante de átomos de cesio y se convierte a tiempo. Como la frecuencia depende solamente de la estructura interna del átomo de cesio (siempre que los átomos no estén perturbados por condiciones externas), la exactitud de este estándar queda garantizada a aproximadamente 1 parte en  $10^{13}$ .

En todo laboratorio de mediciones eléctricas se requiere un patrón preciso de frecuencia. Este se requiere para la adecuada calibración de patrones secundarios y de trabajo, tales como osciladores de cristal, sintetizadores de frecuencia, contadores, osciloscopios, etcétera.

Los patrones de tiempo y frecuencia (son esencialmente el mismo patrón para tiempo y frecuencia) son únicos en el sentido de que se pueden transmitir por ondas de radio desde una localidad a otra sin movimiento real del patrón. Por esto es posible tener la trazabilidad hasta el patrón primario sin dificultad.

### **1.2.8. Medidor calibrador**

El Laboratorio de Metrología cuenta con un medidor calibrador de instrumentos, marca Fluke, modelo 760A, que es utilizado como patrón de referencia. El manual del instrumento está fechado en enero de 1968.

*El medidor calibrador modelo 760A está diseñado para la calibración de instrumentos de medición (medidores) de voltaje, resistencia o corriente, que tengan una exactitud (que en algunos casos puede ser mejor) del 1 %.*

*El calibrador dará un voltaje de precisión en el rango de 1 mV hasta 1000 V, o bien, un rango de corriente desde 1  $\mu$ A hasta 10 A para propósitos de calibración. Los medidores de resistencia pueden ser chequeados o calibrados por comparación con la década de resistencias de precisión con rango desde 0  $\Omega$  hasta 10 M $\Omega$  en pasos de 1  $\Omega$ .*

*El error de voltaje o corriente de un instrumento sujeto a prueba puede ser leído directamente del panel frontal del calibrador en términos de porcentaje. El error en términos de voltios, amperios u ohmios, puede ser determinado en el medidor del instrumento sujeto a prueba.*

#### 1.2.9. Multímetro de referencia

Por su alto nivel de exactitud y resolución en los laboratorios se emplean multímetros de 7 ½ dígitos o de 8 ½ dígitos.

El laboratorio cuenta con un multímetro marca *Hewlett Packard*, modelo 3458A, cuya exactitud está especificada en partes por millón (ppm) de la lectura desplegada, más ppm del rango seleccionado para voltios de corriente directa, ohmios, y corriente CD.

Para voltaje de corriente alterna y corriente CA, la especificación es un porcentaje de la lectura, más un porcentaje del rango seleccionado. Por rango, se entiende el valor de la escala seleccionada para efectuar la medición, no la lectura de plena escala.

Estas exactitudes son válidas para un período específico de tiempo después de la última calibración efectuada al multímetro. Adicionalmente, hay que considerar los errores debidos a temperatura y al ruido de la línea de potencia eléctrica.

Por sus características el multímetro HP3458A se emplea para determinar voltaje de corriente directa, resistencia, corriente CD, voltaje de corriente alterna, corriente CA y frecuencia.

Por su exactitud y resolución se utiliza como un instrumento de referencia en laboratorios modernos. El multímetro HP3458A cuenta con un certificado de calibración fechado el 16 de noviembre de 1999. Para que este equipo mantenga su trazabilidad es necesario que la calibración sea efectuada en un intervalo de tiempo, que debe determinarse por la recomendación del fabricante conjuntamente con la experiencia del personal del laboratorio, para que cumpla con los requerimientos de las mediciones a efectuar.

### **1.3. Patrones de laboratorio**

1.3.1. Patrón es una medida materializada, un instrumento de medición, un material de referencia, o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o más valores de una magnitud, para utilizarse como referencia.

- 1.3.1.1. De acuerdo a su jurisdicción (territorio en el cual se reconoce como tal) un patrón puede ser patrón internacional, o bien, patrón nacional.
  - 1.3.1.1.1. Patrón internacional es aquel patrón reconocido por un acuerdo internacional para utilizarse internacionalmente como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.
  - 1.3.1.1.2. Patrón nacional es aquel patrón reconocido por decisión nacional en un país determinado. Sirve de base para dar valores a otros patrones, y se refiere a patrones internacionales, o se ínter-compara con otros patrones nacionales.
- 1.3.1.2. De acuerdo a su jerarquía metrológica un patrón puede ser patrón primario, patrón secundario, patrón de referencia o patrón de trabajo.
  - 1.3.1.2.1. Patrón primario es aquel que tiene las más altas cualidades metrológicas, y su valor es aceptado sin referencia a otros patrones.
  - 1.3.1.2.2. Patrón secundario es aquel cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud. Estos se encuentran en servicios metrológicos privados, oficinas gubernamentales para verificación y cumplimiento de los reglamentos metrológicos del país, y aquellas instituciones que tienen laboratorios metrológicos de alta precisión.

1.3.1.2.3. Patrón de referencia es el patrón de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

1.3.1.2.4. Patrón de trabajo o de control es el patrón que se usa rutinariamente para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia. Se calibra usualmente contra un patrón de referencia.

## **1.3.2. Verificación, validación y calibración**

Para propósitos de este trabajo se definen tres conceptos establecidos en el Vocabulario Internacional de Metrología: verificación, validación y calibración, como sigue:

### **1.3.2.1. Verificación**

*Aporte de evidencia objetiva de que un elemento satisface requisitos especificados para lo cual se toma en cuenta la incertidumbre de medida.*

#### ➤ Ejemplo

a) *La confirmación de que un material de referencia es homogéneo para la magnitud y el procedimiento de medición según se declara, utilizando ensayos con porciones de masa no menor a 10 mg.*

b) *La confirmación de que se han logrado las propiedades de funcionamiento declaradas o los requisitos legales de un sistema de medida.*

c) *La confirmación de que es posible alcanzar una incertidumbre de medida objetivo declarada.*

➤ **Observaciones**

1. *El elemento puede ser, por ejemplo, un proceso, un procedimiento de medición, un material, un compuesto o un sistema de medición.*

2. *Uno de los requisitos especificados puede ser, por ejemplo, que se satisfagan las especificaciones del fabricante.*

3. *En metrología legal, la verificación está relacionada con el examen, marcado y emisión de un certificado de verificación de un instrumento para medir.*

4. *La verificación no debe confundirse con la calibración o la validación.*

### **1.3.2.2. Validación**

*Verificación de que los requisitos especificados son adecuados para un uso determinado.*

➤ Ejemplo

*Un procedimiento de medición ordinariamente usado para la calibración de voltímetros analógicos puede ser validado para la calibración de voltímetros digitales.*

### **1.3.2.3. Calibración**

*Operación que bajo condiciones especificadas, en una primera etapa establece una relación entre los valores de la magnitud y sus incertidumbres de medida obtenidos de los patrones de medida y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas, y, en una segunda etapa, usa esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación.*

➤ Observaciones

1. *Una calibración puede expresarse por una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos puede dar lugar a una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su respectiva incertidumbre.*

2. *Una calibración no debería confundirse con el ajuste de un sistema de medición, a menudo llamada incorrectamente “autocalibración”, ni con la verificación de la calibración.*



3. *A veces se percibe como que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.*

El requisito primario para todos los instrumentos utilizados en los laboratorios analíticos es que deben ser suministrados de acuerdo a su propósito establecido. El proceso de verificación del equipo debe, por lo tanto, establecer que la especificación operacional del instrumento es apropiada para el propósito requerido, y que el instrumento se desempeña de acuerdo a esa especificación. La verificación del equipo también debe establecer que un instrumento es y será conservado en un estado de mantenimiento y calibración consistente con su uso.

Frecuentemente existe confusión con respecto a qué se debe incluir en el proceso de verificación del equipo, y, en particular, qué está cubierto en las etapas individuales de verificación.

Esto surge porque los proveedores de diferentes compañías ofrecen niveles variados de apoyo para la verificación del equipo; y, en la actualidad, no hay una aceptación uniforme de qué es lo que se cubre en cada etapa de la verificación del equipo, ni como será llamada cada etapa.

La aplicación de cada etapa de la verificación de equipo variará durante el tiempo de vida de un instrumento. Las etapas serán aplicables desde la compra de un instrumento nuevo.

Hay aspectos de la verificación que deberán llevarse a cabo durante toda la vida del instrumento, y proporcionar una referencia contra la cual el funcionamiento continuo del instrumento pueda ser evaluado.

El proceso de verificación del equipo y los requisitos de cada etapa de verificación son genéricos y por lo tanto aplicables a instrumentos complejos y simples. Sin embargo, las pruebas operacionales específicas llevadas a cabo durante la verificación variaran, por supuesto, de acuerdo al tipo de instrumento.

Cada etapa del proceso de verificación involucra el mismo enfoque general: la preparación de un plan de verificación, que incluya la definición del alcance de la verificación (por ejemplo, la prueba a llevarse a cabo y el criterio de aceptación a utilizarse); ejecución del plan (durante el cual los resultados de las pruebas sean registrados, tal y como las pruebas se llevan a cabo); y la elaboración de un informe (y si se requiere, un certificado de verificación de equipo) en el que se documentan los resultados de la verificación.

El usuario es responsable de la validación del proceso de medición, de la calidad y la confiabilidad de los datos producidos. Por lo tanto, el usuario es responsable de asegurar que un instrumento es adecuado para su uso propuesto y que está operando satisfactoriamente. De esta forma, el usuario es también responsable de la verificación de equipos.

El usuario debe establecer el nivel de verificación de equipo que se requiere, en base al propósito establecido del instrumento.

También debe establecer qué aspectos de la verificación de equipo deberán hacerse en el laboratorio y cuales deberán ser realizados por un tercero; este último puede ser el proveedor original del instrumento. El alcance de lo que llevará a cabo el usuario, dependerá de su experiencia y competencia.

El proveedor deberá proporcionar una guía clara sobre qué es lo que el usuario debe llevar a cabo, qué es lo que el usuario y proveedor pueden realizar y lo que puede ser realizado solo por el proveedor. El proveedor deberá elaborar y proporcionar documentos que estén disponibles acerca de las herramientas y servicios que permitan la ejecución de la verificación de equipo, y, en particular, para proporcionar instrucciones claras y detalles de las pruebas que son requeridas para demostrar un desempeño satisfactorio del instrumento. Tales pruebas pueden llevarse a cabo por el proveedor o el usuario, pero deben permanecer bajo el control del usuario.

En cualquier aspecto de la verificación de equipo y/o revisión de desempeño o prueba que se lleve a cabo por el proveedor o un tercero, el usuario debe dar aprobación de que las pruebas fueron realizadas competentemente y correctamente (el registro de la capacitación del personal que realiza la instalación del instrumento debe ser proporcionada al usuario, con la finalidad de proveer evidencia básica de su competencia).

El éxito o el fracaso de todas las revisiones en la verificación de equipo y las pruebas realizadas, deberán registrarse formalmente.

Los resultados de aquellas pruebas y revisiones que hayan sido llevadas a cabo por el proveedor del instrumento, o por un tercero, deberán ser documentados e informados al usuario, con la finalidad de que dé su aprobación a las mismas.

El usuario puede esperar que los proveedores lleven a cabo todos los aspectos de la verificación de equipo pero debe aceptar que tales servicios con frecuencia incurrirán en un costo económico.

Cuando sean necesarias las operaciones de mantenimiento y de calibración estas deben realizarse antes de la verificación de equipo.

Como propósito de este trabajo se estableció la verificación de los patrones eléctricos de referencia del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en general, y en particular del calibrador de medidores Fluke 760A. Basándose en el principio de que es *el usuario* el que *debe establecer el nivel de verificación de equipo que se requiere en base al propósito establecido del instrumento* se considera que los valores establecidos por los fabricantes en sus manuales son adecuados a los propósitos actuales del laboratorio. Esto permitiría que, basándose en los valores dados por el fabricante de cada instrumento, se estableciera la expresión de la competencia técnica del laboratorio para efectuar mediciones eléctricas.

La verificación presente busca establecer si determinado patrón del laboratorio aún cumple con los requisitos que el fabricante estableció en los manuales existentes. Es importante considerar que los requerimientos de competencia técnica del laboratorio se cumplan y se mejoren si es posible.

### **1.3.3. Patrones de referencia del Laboratorio de Metrología Eléctrica**

#### **1.3.3.1. Patrones de voltaje DC**

El laboratorio tiene un conjunto de celdas de voltaje DC como referencia primaria, celdas secundarias, y la referencia del medidor calibrador.

##### **1.3.3.1.1. Celdas estándar de voltaje**

La fuente primaria de voltaje para el Laboratorio de Metrología es un conjunto de tres celdas del tipo saturado que se comparan regularmente para definir su estabilidad a largo plazo. Utilizando equipos y métodos precisos solamente hará falta calibrar estas celdas aproximadamente cada diez años. Esto le da al laboratorio un cierto grado de autonomía. La medición de voltaje se lleva a cabo a partir de las celdas primarias. Utilizando una celda de trabajo constituida por una pila de mercurio, por medio de un potenciómetro primario, y un divisor de voltaje del tipo Kelvin-Varley, se puede medir voltajes del orden de 1 V con una exactitud de  $\pm 0.0002\%$ . Para tensiones mayores se utiliza una “caja de voltaje” que reduce la exactitud al  $\pm 0.001\%$ .

El fabricante especifica que *el modelo SCO-106 es un patrón primario de referencia absoluta de voltaje, que emplea tres celdas estándar, consideradas como la más confiable fuente de voltaje disponible.*

*Estas celdas estándar están ubicadas en un ambiente de temperatura controlada y poseen una exactitud mejor en dos órdenes de magnitud que el de las celdas convencionales estándar.*

*El arreglo de tres celdas comprende la mínima cantidad estadísticamente compatible con el costo moderado de la unidad. Las celdas son eléctricamente independientes. Las celdas están colocadas en un baño isotérmico que brinda una estabilidad térmica excepcional que permite un voltaje estable con variación de  $2 \mu V$  por año.*

➤ Equipo asociado a las celdas de voltaje

Para la verificación de las celdas de voltaje, y sugerido por el fabricante como procedimiento estándar, se cuenta con equipo de precisión asociado. Este equipo lo constituye un detector de nulos, una “caja de voltaje”, y un potenciómetro primario de voltaje. Se describen a continuación.

Detector de nulos: El detector de nulos marca JRL, modelo ND-106, es un dispositivo extremadamente sensible y exacto, completamente fabricado con dispositivos de estado sólido, compatible con sistemas de alta precisión y sistemas primarios de medición. Está diseñado para aplicaciones en donde los galvanómetros estándar no pueden ser utilizados por su sensibilidad inadecuada, baja impedancia de entrada y estabilidad insuficiente. A diferencia de dispositivos similares menos sensibles el ND-106 no se satura de ruido debido a la alta impedancia de entrada que enmascara señales de muy baja potencia que se necesita detectar.

El ND-106 permite medir confiablemente potenciales tan pequeños como  $\pm 0.2 \mu\text{V}$ , o aún menores ( $0.1 \mu\text{V}$ ) cuando se aplican desde una fuente de baja impedancia. La impedancia de entrada es suficientemente alta ( $100\,000 \Omega$ ) para asegurar que la fuente de señal no se sobrecarga en la mayoría de aplicaciones.

De particular importancia es la alta estabilidad que requiere un instrumento de medición para efectuar mediciones de comparación tales como calibración o monitoreo. El ND-106 tiene una estabilidad excepcional que asegura que una medición indicada dentro del rango de entrada no variará debido a deriva del ND-106 en una cantidad mayor a  $1 \mu\text{V}$  en un período de una semana.

Potenciómetro primario de voltaje: es un sistema de gran precisión y exactitud que permite medir voltaje de corriente directa. Tiene diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentran: medición de corriente directa, calibración de celdas estándar, medición de resistencia y calibración de instrumentos. La exactitud y precisión del sistema radica en la habilidad de proveer exactamente  $1.000000 \text{ V} \pm 2 \mu\text{V}$  a través de un puente tipo Kelvin-Varley. El divisor de voltaje tiene la capacidad de dividir con precisión  $1.000000 \text{ V}$  en pasos de  $1 \mu\text{V}$ . La habilidad de este divisor de proveer cualquier voltaje deseado, en el rango de 0 a 1 V, con una resolución de  $1 \mu\text{V}$ , permite tener un sistema de medición de voltaje donde el voltaje desconocido se referencia contra un voltaje conocido por medio de un galvanómetro detector de nullos de gran sensibilidad.

La adición al sistema de una “caja de voltaje” permite extender el rango de medición de voltaje hasta 1000 V. La caja de voltaje es un divisor que reduce el voltaje desconocido por un factor conocido de manera que se tenga una salida en el rango de 0 a 1 V.

Referencia absoluta de voltaje. Patrón primario de celdas saturadas modelo SCO 106, número de serie 372S. El estándar absoluto de voltaje emplea tres celdas saturadas en un ambiente de temperatura controlada con exactitud de dos órdenes de magnitud mejor que las celdas normales. Las tres celdas integran el mínimo grupo compatible con un costo moderado. Las celdas son eléctricamente independientes.

En esta verificación se busca efectuar una comparación entre los valores aportados en los certificados de calibración, fechados el 31 de agosto de 1974 y el 18 de agosto de 1975, respectivamente, contra valores tomados en cuatro fechas distintas en el año 2007. El período transcurrido es de treinta y dos años después de la última calibración efectuada en el laboratorio donde se fabricaron.



Tabla I. Tabla de valores obtenidos de la celda número uno.

Dato del año 1,974	Dato del año 1,975	Día uno	Día dos	Día tres	Día cuatro
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 31 de agosto de 1974, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 18 de agosto de 1975, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	1.0176959	1.017724	1.0177215	1.017612
		1.0176961	1.017723	1.017721	1.0176112
		1.0176962	1.017722	1.0177205	1.0176107
		1.0176964	1.017721	1.0177197	1.01761
		1.0176965	1.017729	1.0177195	1.0176088
		1.017697		1.0177189	1.0176081
		1.0176971		1.0177188	1.0176077
		1.0176976		1.0177189	1.0176075
		1.0176981		1.017731	1.0176077
		1.0176988		1.0177222	1.0176076
		1.017701		1.0177211	1.0176078
		1.0177012		1.0177208	1.0176081
		1.017708		1.017719	
		1.017707		1.0177193	
		1.017706			
		1.017704			
		1.017708			
		17.3009049	5.088619	14.2480922	12.2113072
Valor promedio 1.0176802	1.0177035	1.017700288	1.0177238	1.017720871	1.017608933
Porcentaje 100	100.00228	100.00196	100.00428	100.00398	99.99299
Celda número uno. Se sigue la nomenclatura que el fabricante provee en el manual y que en la disposición física es la primera de izquierda a derecha. Valores de voltaje expresados en voltios.					

Tabla II. Tabla de valores obtenidos de la celda número dos.

Dato del año 1,974	Dato del año 1,975	Día uno	Día dos	Día tres	Día cuatro
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 31 de agosto de 1974, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 18 de agosto de 1975, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	1.0055051	1.00022	1.004994	1.00823
		1.0095365	0.99998	1.001588	1.00791
		1.0068734	1.0057	0.992091	1.00316
		1.0055714	1.0025	0.995237	1.00327
		1.0077105	1.0097	1.004396	1.00595
		1.0019315	1.0135	1.002537	1.00709
		1.0034354		1.01283	1.00436
		1.0026632		1.009237	1.00672
		1.0027091		1.010612	
		1.0042461		1.0042961	
		1.001165		1.0050203	
				1.0047632	
		11.0513472	6.0316	12.0476016	8.04669
Valor promedio 1.0176795	1.0177047	1.004667927	1.005266667	1.0039668	1.00583625
Porcentaje 100	100.00247	98.72	98.78027	98.65255	98.83
Celda número dos. Se sigue la nomenclatura que el fabricante provee en el manual y que en la disposición física es la segunda de izquierda a derecha. Valores de voltaje expresados en voltios.					

Tabla III. Tabla de valores obtenidos de la celda número tres.

Dato del año 1,974	Dato del año 1,975	Día uno	Día dos	Día tres	Día cuatro
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 31 de agosto de 1974, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 18 de agosto de 1975, según certificado de calibración expedido por Julie Research Laboratories.	0.9441	0.906	0.8952	0.972
		0.9481	0.951	0.9257	0.967
		0.9457	0.964	0.9378	0.948
		0.9414	0.986	0.943	0.926
		0.9422	0.992	0.9441	0.909
		0.9406	0.985	0.9326	0.914
		0.9405	0.962	0.9291	0.907
		0.937	0.978	0.9289	0.908
		0.9367	0.973	0.9315	
				0.9344	0.969
			0.965	0.9259	
			0.963	0.9244	
			0.961	0.96237	
			0.959	0.95311	
		9.4107	13.514	13.05998	7.451
Valor promedio 1.017679	1.0177031	0.94107	0.965285714	0.932855714	0.931375
Porcentaje 100	100.00236	92.47	94.85	91.66	91.52
Celda número tres. Se sigue la nomenclatura que el fabricante provee en el manual y que en la disposición física es la tercera de izquierda a derecha. Valores de voltaje expresados en voltios.					

Los datos obtenidos en las columnas “día uno”, “día dos”, “día tres” y “día cuatro”, fueron medidos sin haber realizado el procedimiento de verificación de temperatura del horno de las celdas que recomienda el fabricante.

Esto se debe a que no se pudo utilizar el equipo asociado a las celdas, en particular el detector de nulos, que no está funcionando adecuadamente.

Para la celda uno se observa que los valores obtenidos son bastante consistentes con los datos de 1974 y 1975. Si consideramos el dato de 1974 como 100%, observamos que en 1975 se tuvo un valor de 100.00196% respecto al primero. Los cuatro valores tomados en dos mil siete dan un valor promedio de 100.0008% respecto al valor de 1974.

Para la celda dos, si consideramos el valor obtenido en 1974 como 100%, observamos que en 1975 se tuvo un valor de 100.00247% respecto al primero. Se observa que los valores obtenidos en dos mil siete son en promedio un 98.74% respecto al valor obtenido en 1974.

Para la celda tres, si consideramos el valor obtenido en 1974 como 100%, observamos que en 1975 se tuvo un valor de 100.00236% respecto al primero. Se observa que los valores obtenidos en dos mil siete son en promedio un 92.627% respecto al valor obtenido en 1974.

#### 1.3.3.1.2. Patrones secundarios de voltaje

El laboratorio cuenta con tres celdas secundarias de voltaje marca EPPLEY. Estas celdas son de cadmio del tipo no saturado.

Estas celdas tienen un coeficiente de temperatura que es despreciable en el rango de temperaturas ordinarias. Sin embargo, los cambios abruptos de temperatura pueden producir variaciones temporales mayores de un centésimo del uno por ciento del valor del voltaje.

Para un uso adecuado de estas celdas deben observarse las siguientes precauciones:

- Si se desea una exactitud del 0,005% la celda debe operar en el rango de temperatura comprendido entre 15 °C y 30 °C.
- Si una exactitud del 0,01% es satisfactoria la celda debe operar en un rango de temperatura comprendido entre 4 °C y 40 °C.
- Deben evitarse los cambios abruptos de temperatura.
- Todas las partes de la celda deben estar a la misma temperatura.
- Nunca debe permitirse que una corriente mayor de 0,0001 A circule a través de la celda.
- El voltaje de la celda debe ser redeterminado al expirar el certificado de calibración.

Las mediciones efectuadas a las tres celdas secundarias se presentan en las tablas que siguen a continuación.

Tabla IV. Tabla de valores obtenidos de la celda secundaria número uno.

Celda Eppley serie 802653, número de registro del laboratorio ME-2.1					
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 10 de noviembre de 1975, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 8 de febrero de 1979, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 3 de junio de 1980, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	Día uno	Día dos	Día tres
			1.018718	1.0187232	1.0187647
			1.018728	1.0187245	1.0187653
			1.0187087	1.0187247	1.0187662
				1.0187259	1.0187665
				1.0187261	1.0187661
			3.0561547	5.0936244	5.0938288
1.019152	1.0191	1.01906	1.018718233	1.01872488	1.01876576

Tabla V. Tabla de valores obtenidos de la celda secundaria número dos.

Celda Eppley serie 829297, número de registro del laboratorio ME-2.2					
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 10 de noviembre de 1975, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 8 de febrero de 1979, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 3 de junio de 1980, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	Día uno	Día dos	Día tres
			1.0189147	1.018904	1.0189185
			1.0189177	1.018905	1.0189186
			1.0189148	1.018906	1.0189182
				1.018898	1.0189126
				1.018902	1.0189175
			1.018903	1.0189129	
			3.0567472	6.113418	6.1134983
1.019175	1.01914	1.01911	1.018915733	1.018903	1.018916383

Tabla VI. Tabla de valores obtenidos de la celda secundaria número tres.

Celda Eppley serie 829298, número de registro del laboratorio ME-2.3					
En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 10 de noviembre de 1975, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 8 de febrero de 1979, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	En esta columna se presenta el dato obtenido en la calibración efectuada el día 3 de junio de 1980, según certificado de calibración expedido por The Eppley Laboratory.	Día uno	Día dos	Día tres
			1.0185787	1.018592	1.018617
			1.0185591	1.018603	1.0186074
			1.018584	1.01859	1.0186081
				1.0186	1.018609
					1.0186095
			3.0557218	4.074385	5.093051
1.019129	1.019078	1.01901	1.018573933	1.01859625	1.0186102

### 1.3.3.2. Voltaje de CA

#### Referencia de voltaje CA

El patrón de transferencia CA-CD no se evaluó ya que para su funcionamiento requiere varias baterías de referencia (baterías de mercurio de 1.345 V cada una). Estas baterías no se encuentran disponibles en el país. Este tipo de baterías ya no se fabrican debido a los efectos nocivos del mercurio en la salud y en el medio ambiente.

### 1.3.3.3. Corriente CD

#### Referencia de corriente CD

Los rangos de corriente dados por el medidor calibrador Fluke 760A. De acuerdo al manual del fabricante se tiene el rango desde  $1\mu\text{A}$  hasta 10A.

#### 1.3.3.4. **Corriente CA**

Referencia de corriente CA

Los rangos de corriente dados por el medidor calibrador Fluke 760A. De acuerdo al manual del fabricante se tiene el rango desde  $1\mu\text{A}$  hasta 10A.

#### 1.3.3.5. **Resistencias patrón de $1\Omega$ y de $10\text{k}\Omega$**

El laboratorio cuenta con un resistor patrón de  $10\text{ k}\Omega$  marca *Electro Scientific Industries*, modelo SR 104. De acuerdo al fabricante *es un estándar transportable con valor nominal de  $10\text{ k}\Omega$ , contenido herméticamente sellado en una masa térmica con un termómetro de resistencia del mismo valor nominal que la resistencia estándar.*

*El conjunto está aislado de los cambios en la temperatura del medio ambiente por un aislamiento de espuma. La resistencia patrón y el termómetro están conectados a terminales que permiten la medición o calibración con dos, tres, cuatro o cinco terminales.* También cuenta con tres resistencias tipo Thomas de  $1\Omega$  cada una. Los valores de las resistencias patrón de  $10\text{ k}\Omega$  y de  $1\Omega$  medidos se resumen en la siguiente tabla.



Tabla VII. Tabla de valores obtenidos de las resistencias patrón.

Patrones de resistencia (1Ω y 10kΩ)			
Patrón de 10kΩ	Patrón 1Ω, n/s 35049	Patrón 1Ω, n/s 35056	Patrón 1Ω, n/s 35062
10000.851	1.00023	1.00009	1.00046
10000.927	1.00026	1.00006	1.00043
10000.932	1.00031	1.00009	1.0004
10000.929	1.00028	1.00007	1.00042
10000.933	1.00027	1.0001	1.0004
10000.936	1.00025	1.00012	1.00037
10000.931	1.00026	1.00008	1.00036
10000.935	1.00029	1.00011	1.00038
10000.934	1.00025	1.00012	1.00032
90008.308	9.0024	9.00084	9.00354
10000.92311	1.000266667	1.000093333	1.000393333
Temperatura 22.3°C	Temperatura 23.5°C	Temperatura 23.2°C	Temperatura 23.2°C

## Referencia

De acuerdo a las tablas mostradas en la descripción de las resistencias patrón del laboratorio se tiene que las resistencias de 1 Ω y de 10 kΩ mantienen adecuadamente sus valores.

Referencia Fluke 760A. El fabricante establece el rango desde 0Ω hasta 10MΩ.

#### 1.3.3.6. **Potencia**

El equipo MTE descrito anteriormente es un equipo bastante moderno. Se considera apto para la medición de energía. No ha presentado problemas, de acuerdo a información proporcionada por el personal del laboratorio.

#### 1.3.3.7. **Patrón de frecuencia V.L.F.**

Como patrón de frecuencia y tiempo se utiliza un patrón transmitido por ondas de radio de muy baja frecuencia (V.L.F. o *very low frequency* en idioma inglés) que determina la frecuencia y el tiempo con una exactitud de una parte en  $10^{12}$ .

Un receptor-comparador V.L.F. permite calibrar un oscilador local, o patrón secundario de frecuencia con una exactitud de hasta una parte en  $10^{11}$ . Esto permite garantizar calibraciones de frecuencia (contadores electrónicos, osciloscopios, transmisores, etc.) con una exactitud de una parte en  $10^{10}$ .

Referencia: el receptor V.L.F. no se encuentra en funcionamiento, por lo que no está disponible para calibración.

#### 1.3.3.8. **Multímetro Hewlett Packard modelo HP3458A**

El multímetro HP 3458A es el dispositivo más exacto que tiene el laboratorio para efectuar mediciones.

Voltaje DC: La exactitud que garantiza el fabricante depende del tiempo desde el que se efectuó la última calibración y de la escala que se emplea para la medición.

Para un tiempo de un año la exactitud de las diferentes escalas varía entre 8.3 y 10.3 partes por millón. Para un período de dos años la exactitud varía entre 14.05 y 17 partes por millón.

Voltaje de CA: el multímetro HP 3458A es el dispositivo más exacto que tiene el laboratorio para efectuar medición de voltaje CA. El HP 3458A tiene tres técnicas distintas para efectuar mediciones del valor eficaz verdadero del voltaje de CA.

Cada una de estas técnicas presenta ventajas de acuerdo a los requerimientos específicos de la medición. De acuerdo a la técnica empleada se tiene que las mejores exactitudes están comprendidas en el rango de 0.01% a 0.1%. Es importante considerar el rango de frecuencia de la señal a medir ya que cada técnica tiene su rango óptimo de funcionamiento. La máxima resolución está comprendida en el rango de 10 nV hasta 100  $\mu$ V de acuerdo al rango de medición de CA seleccionado. La exactitud que garantiza el fabricante se considera para un período de veinticuatro horas después de la última calibración hasta dos años después de la misma. Se expresa como un porcentaje de la lectura, más un porcentaje del rango de medición seleccionado, y depende de la frecuencia de la señal medida. La exactitud va desde un 0.009% hasta un 1.51% para una frecuencia desde 1 Hz hasta 2 MHz. Para frecuencias mayores a 2 MHz hasta 10 MHz la exactitud está en el rango desde 0.122% hasta 15.1% Para los valores exactos de cada rango de medición seleccionado y rango de frecuencia debe consultarse la especificación del fabricante.

Corriente CD: El multímetro HP3458A tiene rangos de medición que van desde 100 nA hasta 1 A. La resolución del instrumento depende del rango de medición y va desde 1 pA hasta 100 nA. La exactitud depende del período transcurrido desde la última calibración y de la escala elegida para la medición. Se calcula en partes por millón de la lectura más partes por millón de la escala. Está comprendida entre 14 y 125 partes por millón.

Corriente CA: El multímetro HP3458A tiene rangos de medición que van desde 100  $\mu$ A hasta 1 A. La resolución del instrumento depende del rango de medición y va desde 100 pA hasta 1  $\mu$ A.

La exactitud que garantiza el fabricante se considera para un período de veinticuatro horas después de la última calibración hasta dos años después de la misma. Se calcula como porcentaje de la lectura más porcentaje del rango de medición, y depende de la frecuencia de la señal medida. Está comprendida entre 0.08% y 0.7%. Para los valores exactos de cada rango de medición seleccionado y rango de frecuencia debe consultarse la especificación del fabricante.

Resistencia: El multímetro HP3458A tiene rangos de medición que van desde 10  $\Omega$  hasta 1G $\Omega$ . La resolución del instrumento depende del rango de medición y va desde 10  $\mu\Omega$  hasta 100  $\Omega$ . La exactitud se calcula en partes por millón de la lectura más partes por millón de la escala. Está comprendida entre 2.2 y 10010 partes por millón.

Frecuencia: el multímetro HP 3458A tiene rangos de medición de frecuencia desde 1 Hz hasta 10 MHz. El rango del período va desde 100 ns hasta 1 s. La exactitud considerada es para un período de veinticuatro horas después de la última calibración hasta dos años después de la misma. La exactitud va desde 0.01% hasta 0.05% de la lectura obtenida.

#### 1.3.3.9. Medidor calibrador Fluke 760A

Este equipo es muy importante porque los laboratorios de calibración del área eléctrica incluyen como expresión de su capacidad técnica los parámetros que sus multímetros y calibradores tienen para efectuar comparaciones y mediciones.

Como parte de este trabajo de graduación, y por consenso con el asesor, se decidió reparar y ajustar el medidor calibrador Fluke 760A. En el siguiente capítulo se considera en detalle el medidor calibrador citado.



## **2. MEDIDOR CALIBRADOR FLUKE 760A**

El Laboratorio de Metrología cuenta con un medidor calibrador marca Fluke, modelo 760A, que es utilizado como patrón de referencia. El manual del instrumento está fechado en enero de 1968.

*De acuerdo al manual del fabricante el calibrador de instrumentos de medición modelo 760A está diseñado para la calibración de instrumentos de medición (medidores) de voltaje, resistencia o corriente, que tengan una exactitud (que en algunos casos puede ser mejor) del 1 %. El calibrador dará un voltaje de precisión en el rango de 1 mV hasta 1000 V, o bien, un rango de corriente desde 1  $\mu$ A hasta 10 A para propósitos de calibración. Los medidores de resistencia pueden ser chequeados o calibrados por comparación con la década de resistencias de precisión con rango desde 0  $\Omega$  hasta 10 M $\Omega$  en pasos de 1  $\Omega$ .*

*El error de voltaje o corriente de un instrumento sujeto a prueba puede ser leído directamente del panel frontal del calibrador en términos de porcentaje. El error en términos de voltios, amperios u ohmios, puede ser determinado en el medidor del instrumento sujeto a prueba.*

### **2.1. Verificación del medidor calibrador Fluke 760A**

Para la verificación se obtuvieron tres tablas de datos que consideran la referencia de voltaje, resistencia y corriente que el equipo suministra.

En los numerales siguientes se indica el procedimiento seguido.

### 2.1.1. Voltaje de corriente directa

Se consideraron siete valores que representan los rangos de medición que el equipo suministra. Para esta descripción se hace referencia a la tabla VIII, que sigue a continuación.

Tabla VIII. Verificación de valores de voltaje CD del medidor calibrador.

Voltaje de corriente directa									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	V	V	V	V	V	V	V	V	%
0.5	0.49974	0.49922	0.49887	0.49985	0.49962	2.4973	0.49946	0.00054	0.108
1	1.000311	1.00034	1.000346	1.000268	1.000357	5.001621	1.000324	-0.00032	-0.03241
5	5.001208	5.001335	5.001404	5.001448	5.001498	25.00689	5.001379	-0.00138	-0.02757
10	10.00455	10.00473	10.00489	10.00507	10.00515	50.0244	10.00488	-0.00488	-0.04879
100	100.0345	100.0364	100.0336	100.0355	100.0327	500.1726	100.0345	-0.03453	-0.03453
500	500.1899	500.1939	500.1948	500.2156	500.1988	2500.993	500.1986	-0.1986	-0.03972
1000	1000.345	1000.553	1000.361	1000.285	1000.513	5002.056	1000.411	-0.41128	-0.04113

En la columna uno, denominada Fluke 760A, se listan los siete valores que se ajustaron en los indicadores del instrumento, elegidos para efectuar las mediciones. Son los siguientes: 0.5 V, 1 V, 5 V, 10 V, 100 V, 500 V y 1000 V.



En las columnas tituladas Medición 1, Medición 2, Medición 3, Medición 4 y Medición 5 se muestran los resultados de cinco mediciones efectuadas para cada uno de los valores elegidos.

En la página 2-1 del manual del fabricante se aconseja *esperar aproximadamente diez minutos después del encendido para que el instrumento se estabilice*. Para efectuar estas mediciones el período considerado para la estabilización fue de treinta minutos. El valor de la frecuencia de la línea de alimentación se estableció en 60 Hz.

En la columna titulada Sumatoria se establece la suma de las cinco mediciones anteriores. La columna titulada Promedio es un promedio aritmético de las cinco mediciones efectuadas.

La columna titulada Diferencia establece la cantidad en la cual difieren la cantidad nominal ajustada en el panel del instrumento y la cantidad medida establecida en el promedio aritmético.

La columna titulada Porcentaje indica la cantidad expresada en porcentaje en la cual difieren la cantidad nominal ajustada en el panel del instrumento y la cantidad medida. La cantidad porcentual de signo positivo indica el porcentaje en el cual la cantidad medida es menor que la cantidad ajustada en el panel del calibrador de medidores. La cantidad porcentual de signo negativo indica el porcentaje en el cual la cantidad medida es mayor que la cantidad ajustada en el panel del calibrador de medidores.

Algunas mediciones fueron efectuadas al azar en cuanto a intervalo de tiempo entre una y otra se refiere. Otras fueron efectuadas midiendo un intervalo definido de tiempo. Lo anterior fue considerado para que los datos fueran obtenidos al azar y fueran representativos de varios instantes de operación del equipo.

**2.1.2. Voltaje de corriente alterna:** para los voltajes de corriente alterna se efectuó exactamente el mismo procedimiento indicado en el numeral anterior. Los datos obtenidos se listan en la tabla IX que sigue a continuación.

Tabla IX. Verificación de valores de voltaje CA del medidor calibrador.

Voltaje de corriente alterna									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	V	V	V	V	V	V	V	V	%
0.5	0.499281	0.500022	0.503132	0.501643	0.50431	2.508388	0.501678	-0.00168	-0.33552
1	0.998937	0.999158	1.00001	0.999429	1.0012	4.998734	0.999747	0.000253	0.02532
5	4.99697	4.99943	5.00112	5.00085	4.99928	24.99765	4.99953	0.00047	0.0094
10	9.99681	9.99743	9.99938	9.99794	9.99852	49.99008	9.998016	0.001984	0.01984
100	99.9735	99.9794	99.9872	99.9859	99.9863	499.9123	99.98246	0.01754	0.01754
500	499.735	499.759	499.772	499.761	499.768	2498.795	499.759	0.241	0.0482
1000	1000.02	999.984	1000.005	1000.041	999.975	5000.025	1000.005	-0.005	-0.0005

**2.1.3. Resistencia:** para los valores de resistencia se efectuó exactamente el mismo procedimiento indicado en el numeral anterior. Los datos obtenidos se listan en la tabla X, que sigue a continuación.

Tabla X. Verificación de valores de resistencia del medidor calibrador.

Resistencia									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	%
1	1.1032	1.10014	1.09954	1.10008	1.09023	5.49319	1.098638	-0.09864	-9.8638
10	10.32751	10.32057	10.32011	10.27131	10.26578	51.50528	10.30106	-0.30106	-3.01056
100	100.2521	100.2517	100.2513	100.2511	100.2507	501.2569	100.2514	-0.25138	-0.25138
1k	1000.296	1000.295	1000.295	1000.294	1000.294	5001.474	1000.295	-0.29478	-0.02948
10k	10000.54	10000.57	10000.53	10000.57	10000.58	50002.79	10000.56	-0.5588	-0.00559
100k	100005.4	100005	100005.7	100004.7	100005.3	500026.1	100005.2	-5.226	-0.00523
1M	1000100	1000112	1000085	1000122	1000067	5000486	1000097	-97.16	-0.00972
10M	10001873	10001589	10002194	10002032	10001514	50009202	10001840	-1840.4	-0.0184
1E+06	1235294	1235385	1234826	1235157	1234857	6175519	1235104	-536.8	-0.04348

**2.1.4. Corriente CD.** En la columna uno de la tabla XI, denominada Fluke 760A, se listan los dos valores que se ajustaron en los indicadores del instrumento, elegidos para efectuar las mediciones. Son los siguientes: 0.1 A y 0.5 A. Para el resto de las columnas el procedimiento es el mismo que en los incisos anteriores.

Tabla XI. Verificación de valores de corriente CD del medidor calibrador.

Corriente CD									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	A	A	A	A	A	A	A	A	%
0.1	0.09995	0.09997	0.09998	0.099988	0.099896	0.499784	0.099957	4.32E-05	0.0432
0.5	0.49952	0.50067	0.50073	0.50038	0.49982	2.50112	0.500224	-0.00022	-0.0448

2.1.5. **Corriente CA.** Para los valores de corriente CA se efectuó exactamente el mismo procedimiento indicado en el numeral anterior. Los datos obtenidos se listan en la tabla XII.

Tabla XII. Verificación de valores de corriente CA del medidor calibrador.

Corriente CA									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	A	A	A	A	A	A	A	A	%
0.1	0.10008	0.10012	0.10016	0.10016	0.10017	0.50069	0.100138	-0.00014	-0.138
0.5	0.499187	0.500011	0.499791	0.499774	0.499992	2.498755	0.499751	0.000249	0.0498

**2.2. Diferencias entre máximo error permitido y error medido.** De los datos obtenidos en las tablas anteriores se deduce que el calibrador de medidores no funciona adecuadamente. Para cuantificar las diferencias entre el máximo error nominal de acuerdo al manual del fabricante y los valores medidos se compilaron las tablas que se presentan a continuación.

### 2.2.1. Voltaje de CD

Tabla XIII. Máximo error de voltaje CD permitido y medido.

Voltaje de corriente directa			
Fluke 760A	Máximo error permitido V	Diferencia V	Porcentaje de diferencia %
0.5	0.000075	0.1284	171 200
1	0.000125	0.4252	340 160
5	0.000525	0.0044	838.00
10	0.001025	0.0274	2 673
100	0.010025	0.3192	3 184
500	0.050025	21.2446	42 468
1000	0.100025	484.3742	484 253

### 2.2.2. Voltaje de corriente alterna

Tabla XIV. Máximo error de voltaje CA permitido y medido.

Voltaje de corriente alterna			
Fluke 760A	Máximo error permitido V	Diferencia V	Porcentaje de diferencia %
0.5	0.00015	0.0188	12 533
1	0.000275	0.2072	75 345
5	0.001275	0.8626	67 655
10	0.002525	1.5156	60 023
100	0.025025	17.6284	70 443
500	0.125025	248.1354	198 468
1000	0.250025	744.3976	297 729

### 2.2.3. Resistencia

Tabla XV. Máximo error de resistencia permitido y medido.

Resistencia			
Fluke 760A	Máximo error permitido $\Omega$	Diferencia $\Omega$	Porcentaje de diferencia %
1	0.5001	16.588	3 316
10	0.501	15.78	3 149
100	0.51	15.84	3 106
1k	0.6	15.89	2 648
10k	1.5	19.48	1298
100k	10.5	99.03	943
1M	100.5	4468	4 445
10M	1000.5	96.3	9.62
1 234 567	123.9567	1989	1 604

### 2.2.4. Corriente CD

Tabla XVI. Máximo error de corriente CD permitido y medido.

Corriente CD			
Fluke 760A	Máximo error permitido A	Diferencia A	Porcentaje de diferencia %
0.1	0.000250025	0.071488	28 592
0.2	0.000500025	0.15974	31 946

### 2.2.5. Corriente CA

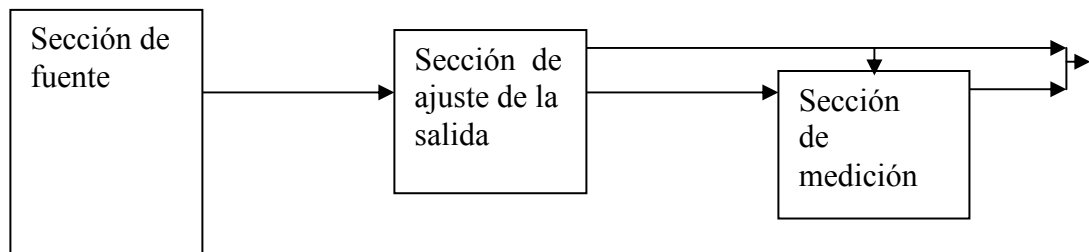
Tabla XVII. Máximo error de corriente CA permitido y medido.

Corriente CA			
Fluke 760A	Máximo error permitido A	Diferencia A	Porcentaje de diferencia %
0.1	0.000250025	0.03462	13 846
0.2	0.000500025	0.09693	19 385

### 2.3. Teoría de operación

Para una mejor comprensión del instrumento éste puede ser dividido en tres secciones que dan una visión general de la operación del mismo. En la ilustración siguiente se muestra el diagrama de bloques del calibrador de medidores Fluke 760A.

Figura I. Secciones generales del Fluke 760A.



Una salida eventual es generada en la sección de fuente. Una señal, ya sea de 400 Hz, o a frecuencia de línea, es suministrada a la sección de ajuste de la salida. Dependiendo de los parámetros seleccionados en el panel frontal la sección de ajuste de la salida provee un voltaje CD o CA (desde 1 mV hasta 1000 V) directamente a los terminales de salida; o bien, una corriente CD o CA (desde 1  $\mu$ A hasta 10 A), a través de la sección de medición, hacia los terminales de salida.

Además de contener circuitos de compensación para la función de corriente del calibrador de medidores, la sección de medición tiene los circuitos de medición para monitorear el voltaje o corriente de salida. Esta función de monitoreo permite un ajuste preciso de la corriente de salida o el nivel de voltaje de salida.

## **2.4. Reparación**

Para efectuar la reparación del calibrador de medidores se siguió el procedimiento de chequeo de funciones presentado en el manual del fabricante. El fabricante establece que *el procedimiento está diseñado para determinar que cada sección opere correctamente, o bien, para localizar la falla aislándola en una sección en particular.*



**2.4.1. Limpieza general:** se efectuó una limpieza general del calibrador de medidores.

Se utilizó limpiador de contactos para limpiar conectores entre tableros de circuito impreso, conectores, contactos a elementos de circuito, resistencias variables e interruptores giratorios.

**2.4.2. Revisión de la función de voltaje CA.** Para ello se establece el valor de la salida en 100.0000 V y se avanzan los controles de ajuste de la salida para obtener un valor mayor al de la escala completa.

Se obtuvo el siguiente juego de valores: 7.83 mV, 78.20 mV, 29.63 V, 57.56 V, 85.76 V y 113.87 V. Si el valor mayor de 100 V no se hubiera obtenido, esto indicaría un probable fallo en el amplificador de potencia y los transistores de potencia asociados; o bien, en la fuente de  $\pm 50$  V. Con esto se descarta un mal funcionamiento de los circuitos mencionados.

**2.4.3. Revisión de la función de voltaje de CD.** Para ello se establece el valor de la salida en 999.99910 V (el 10 del séptimo indicador significa que los controles se ajustaron para obtener 999.999 V más 0.001 V, lo cual da el valor de 1000 V) y se avanzan los controles de ajuste de la salida para obtener un valor mayor al de la escala completa. Se obtuvo el siguiente juego de valores: -1.81 V, -1.62 V, 151.68 V, 297.24 V, 444.02 V, 590.35 V, 740.49 V, 885.36 V y más de 1000 V. Si el valor mayor de 1000 V no se hubiera obtenido, esto indicaría un probable fallo en el amplificador de potencia, en la fuente de  $\pm 50$  V, el transformador de salida T2 o en los interruptores de salida. Con esto se descarta un mal funcionamiento de los circuitos mencionados.

**2.4.4. Revisión de la función de corriente CD.** Para ello se establece el valor de la salida en 0.1 A, y se conecta una carga que cause una caída de voltaje de 1 V o menos a través de sus terminales.

Se eligió una resistencia medida de 9.3  $\Omega$ . Al avanzar los controles de ajuste de la salida se debe obtener un valor mayor que el de la escala completa, en este caso 0.93 V. El voltaje medido tuvo un valor de 0.128 V.

Esto indica un posible problema con el rectificador de corriente, que incluye los diodos rectificadores CR1, CR2, el filtro compuesto por C8, L1 y R5. El diodo rectificador CR1 no funcionaba correctamente. El número del diodo es el MR1120, que tiene como equivalente el número NTE5870. Se reemplazó por un diodo nuevo.

**2.4.5. Revisión de los capacitores principales,** que se denominan C1, C2, C3, C4 y C8 del ensamblaje principal, en el manual del fabricante.

Para medir los capacitores no se cuenta con una escala adecuada al valor nominal de estos. Se utiliza un capacitor de prueba con un valor nominal de 100  $\mu$ F colocado en serie con el capacitor a probar.

En el paso uno se tienen los valores nominales de los capacitores y el valor equivalente nominal al conectarlos en serie.

En el paso dos se tienen los valores de los capacitores obtenidos por medición y cálculo. En el caso que nos ocupa se tiene que los valores de los capacitores a probar obtenidos por medición y cálculo exceden el porcentaje de máxima tolerancia que el fabricante indica.

Esto nos indica que el procedimiento para extender la escala del medidor de capacitores no es adecuado. De acuerdo a este trabajo se infiere que el medidor de capacitores no tiene suficiente resolución como para captar el valor de la capacitancia equivalente con precisión como para que los datos sean confiables. Como prueba de respaldo se reemplazó el capacitor C8 por un capacitor nuevo. No se encontró ninguna diferencia de funcionamiento en el calibrador de medidores. Si C8 hubiera estado funcionando mal, como lo indica el valor calculado en el paso dos, al sustituirlo por uno nuevo se habrían observado los cambios.

En los pasos tres y cuatro se muestran los valores de tolerancia máximos especificados por el fabricante y los valores obtenidos por medición y cálculo. Se tiene que se exceden las tolerancias máximas permitidas.

En el paso cinco se muestra que la capacitancia equivalente medida es aproximadamente un noventa por ciento del valor nominal de los componentes. Para efecto del cálculo del componente bajo prueba este valor no permite obtener un mejor aproximado al valor real del componente.

Los resultados obtenidos se tabulan en la tabla XVIII que sigue a continuación.

Tabla XVIII. Medición de capacitores principales.

Paso	Capacitor	C de prueba nominal	C a probar nominal	Producto	Suma	C equivalente nominal
Uno	C1	100	2100	210000	2200	95.4545455
	C2	100	2100	210000	2200	95.4545455
	C3	100	2600	260000	2700	96.2962963
	C4	100	2600	260000	2700	96.2962963
	C8	100	9300	930000	9400	98.9361702
		C de prueba medido	C a probar calculado	Producto	Diferencia	C equivalente medido
Dos	C1	92.1	1493.3972	7989.675	5.35	86.75
	C2	92.1	1563.00439	8010.3975	5.125	86.975
	C3	92.1	1604.382	8021.91	5	87.1
	C4	92.1	2055.34557	8118.615	3.95	88.15
	C8	92.1	3234.33529	8247.555	2.55	89.55
		C de prueba nominal	C de prueba medido	Porcentaje (%)		Máxima tolerancia
Tres		100	92.1	92.1	-7.9%	5%
		100	92.1	92.1	-7.9%	5%
		100	92.1	92.1	-7.9%	5%
		100	92.1	92.1	-7.9%	5%
		100	92.1	92.1	-7.9%	5%
		C a probar nominal	C a probar "medido"	Porcentaje (%)		Máxima tolerancia
Cuatro	C1	2100	1493	71.0952381	-29%	10%
	C2	2100	1563	74.4285714	-25.58%	10%
	C3	2600	1604	61.6923077	-38.31%	10%
	C4	2600	2055	79.0384615	-21%	10%
	C8	9300	3234	34.7741935	-65.23%	10%
		C equivalente nominal	C equivalente medida	Porcentaje (%)		
Cinco		95.45	86.75	90.8852803		
		95.45	86.975	91.1210058		
		96.29	87.1	90.4559144		
		96.29	88.15	91.5463703		
		98.93	89.55	90.5185485		

## 2.4.6. Ajuste

Después de la reparación se procedió a efectuar el procedimiento de ajuste (en el manual se utiliza el término “calibración”, pero en este trabajo se prefiere darle el nombre de “ajuste”, ya que concuerda mejor con lo descrito en el vocabulario metrológico internacional en lo concerniente a calibración como comparación contra patrones). El procedimiento no se concluyó ya que la referencia de 1.000000 V no se pudo obtener. Es necesario reparar el detector de nulos aludido como equipo asociado a las celdas primarias de voltaje.

Se obtuvo un nuevo juego de tablas de datos, en el cual se observa el estado de funcionamiento después de completar los pasos de ajuste descritos por el fabricante que pudieron ser completados. Se listan a continuación.

### 2.4.6.1. Voltaje de corriente directa

Tabla XIX. Medición de voltajes de CD después de ajuste.

Voltaje de corriente directa									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	V	V	V	V	V	V	V	V	%
0.5	0.49974	0.49922	0.49887	0.49985	0.49962	2.4973	0.49946	0.00054	0.108
1	1.000311	1.00034	1.000346	1.000268	1.000357	5.001621	1.000324	-0.00032	-0.03241
5	5.001208	5.001335	5.001404	5.001448	5.001498	25.00689	5.001379	-0.00138	-0.02757
10	10.00455	10.00473	10.00489	10.00507	10.00515	50.0244	10.00488	-0.00488	-0.04879
100	100.0345	100.0364	100.0336	100.0355	100.0327	500.1726	100.0345	-0.03453	-0.03453
500	500.1899	500.1939	500.1948	500.2156	500.1988	2500.993	500.1986	-0.1986	-0.03972
1000	1000.345	1000.553	1000.361	1000.285	1000.513	5002.056	1000.411	-0.41128	-0.04113

### 2.4.6.2. Voltaje de corriente alterna

Tabla XX. Medición de voltajes de CA después del ajuste.

Voltaje de corriente alterna									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	V	V	V	V	V	V	V	V	%
0.5	0.499281	0.500022	0.503132	0.501643	0.50431	2.508388	0.501678	-0.00168	-0.33552
1	0.998937	0.999158	1.00001	0.999429	1.0012	4.998734	0.999747	0.000253	0.02532
5	4.99697	4.99943	5.00112	5.00085	4.99928	24.99765	4.99953	0.00047	0.0094
10	9.99681	9.99743	9.99938	9.99794	9.99852	49.99008	9.998016	0.001984	0.01984
100	99.9735	99.9794	99.9872	99.9859	99.9863	499.9123	99.98246	0.01754	0.01754
500	499.735	499.759	499.772	499.761	499.768	2498.795	499.759	0.241	0.0482
1000	1000.02	999.984	1000.005	1000.041	999.975	5000.025	1000.005	-0.005	-0.0005

### 2.4.6.3. Resistencia

Tabla XXI. Medición de resistencia después del ajuste.

Resistencia									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	%
1	1.1032	1.10014	1.09954	1.10008	1.09023	5.49319	1.098638	-0.09864	-9.8638
10	10.32751	10.32057	10.32011	10.27131	10.26578	51.50528	10.30106	-0.30106	-3.01056
100	100.2521	100.2517	100.2513	100.2511	100.2507	501.2569	100.2514	-0.25138	-0.25138
1k	1000.296	1000.295	1000.295	1000.294	1000.294	5001.474	1000.295	-0.29478	-0.02948
10k	10000.54	10000.57	10000.53	10000.57	10000.58	50002.79	10000.56	-0.5588	-0.00559
100k	100005.4	100005	100005.7	100004.7	100005.3	500026.1	100005.2	-5.226	-0.00523
1M	1000100	1000112	1000085	1000122	1000067	5000486	1000097	-97.16	-0.00972
10M	10001873	10001589	10002194	10002032	10001514	50009202	10001840	-1840.4	-0.0184
1E+06	1235294	1235385	1234826	1235157	1234857	6175519	1235104	-536.8	-0.04348

#### 2.4.6.4. Corriente CD

Tabla XXII. Medición de corriente CD después del ajuste.

Corriente CD									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	A	A	A	A	A	A	A	A	%
0.1	0.09995	0.09997	0.09998	0.099988	0.099896	0.499784	0.099957	4.32E-05	0.0432
0.5	0.49952	0.50067	0.50073	0.50038	0.49982	2.50112	0.500224	-0.00022	-0.0448

#### 2.4.6.5. Corriente CA

Tabla XXIII. Medición de corriente CA después del ajuste.

Corriente CA									
Fluke 760A	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Sumatoria	Promedio	Diferencia	Porcentaje
	A	A	A	A	A	A	A	A	%
0.1	0.10008	0.10012	0.10016	0.10016	0.10017	0.50069	0.100138	-0.00014	-0.138
0.5	0.499187	0.500011	0.499791	0.499774	0.499992	2.498755	0.499751	0.000249	0.0498

No se pudo completar el procedimiento de ajuste ya que la referencia de 1.000000 V descrita en el Anexo II necesita una batería de mercurio de gran estabilidad. Estas baterías no están disponibles en el mercado ya que su fabricación se ha suspendido por los riesgos que implica el mercurio en la salud y el medio ambiente.

Se fabricó una fuente de voltaje con regulación, utilizando reguladores de gran estabilidad, pero no es lo suficientemente estable, especialmente en los decimales del orden de los milivoltios. Se efectuaron pruebas con diferentes tipos de baterías comerciales pero ocurre lo mismo que con la fuente regulada.

## **2.5. Comparación entre Fluke 760A y Fluke 5500A**

El medidor calibrador Fluke 760A del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería es un equipo que, de acuerdo al manual existente, fue construido hace unos cuarenta años.

El calibrador multiproducto Fluke 5500A es uno de los calibradores más ampliamente usados en la actualidad en laboratorios acreditados. En este numeral se establece una comparación entre los valores de exactitud teóricos que los manuales del fabricante establecen para cada instrumento.

Es importante hacer notar que los valores de parámetros obtenidos en la verificación del medidor calibrador Fluke 760A indicaban la existencia de algún problema en el funcionamiento. Después de la reparación del equipo no se pudo completar el ajuste del mismo para establecer si los valores actuales de los parámetros están dentro de los máximos permitidos en las especificaciones del fabricante. Sin embargo, la comparación de los valores teóricos de los dos equipos, nos dan una idea de la evolución de los niveles de exactitud obtenidos para los calibradores mencionados.



De acuerdo al fabricante el *Fluke 5500A*, comparado con calibradores tradicionales diseñados para calibrar un cierto tipo de instrumento, establece el estándar de una clase totalmente nueva de calibrador multiproducto, que abarca un rango sin precedentes de aplicaciones de calibración en corriente directa y baja frecuencia. El *Fluke 5500* puede calibrar multímetros digitales y análogos, termómetros (termocupla y RTD), vatímetros manuales, acopladores de datos, amperímetros de gancho, panel de medidores, calibradores de procesos, analizadores de armónicas y muchas otras herramientas de medición similares.

Tabla XXIV. Comparación de características entre Fluke 760A y Fluke 5500A.

Parámetro	Rango		Especificación de exactitud	
	Fluke 760 A	Fluke 5100A	Fluke 760 A	Fluke 5100A
Voltaje DC	0 a 1000V	0 a 1020V	+-(0.1% del valor +25 $\mu$ V)	+ 50ppm
Corriente DC	1 $\mu$ A a 10A	0 a 11A	+-(0.25% del valor +0.025 $\mu$ A)	+ 0.01% del valor
Resistencia	0 a 10M $\Omega$	0 a 329.9999M $\Omega$	+-(0.1% del valor +0.5 $\Omega$ )	+ 0.009% del valor
Voltaje AC	1mV a 1000V	1mV a 1020V	+-(0.25% del valor +25 $\mu$ V)	+ 0.03% del valor
Corriente AC	1 $\mu$ A a 10A	29mA a 11A	+-(0.25% del valor +0.025 $\mu$ A)	+ 0.06% del valor
Capacitancia		0.33nF a 1.1mF		+ 0.25% del valor
Termocupla		-250 $^{\circ}$ C a 2316 $^{\circ}$ C		+ 0.14 $^{\circ}$ C del valor
Fuente RTD		-200 $^{\circ}$ C a 630 $^{\circ}$ C		+ 0.03 $^{\circ}$ C del valor
Potencia DC		109 $\mu$ W a 11kW		+ 0.08% del valor
Potencia AC		109 $\mu$ W a 11kW		+ 0.15% del valor
Fase		0 a 179.99 grados		+ 25ppm del valor
Frecuencia		0.01Hz a 2.0MHz		+25ppm del valor

Considerando los datos de la tabla anterior se efectuó el cálculo del máximo error permitido de acuerdo a los valores teóricos del fabricante, para un valor aleatorio de voltaje, corriente, y resistencia, de los cinco parámetros comunes a ambos instrumentos. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla XXV. Relación de error entre Fluke 760A y Fluke 5500A.

Voltaje DC	Relación de error de aproximadamente 2000 veces más exacto.
Corriente DC	Relación de error de aproximadamente 25 veces más exacto.
Resistencia	Relación de error de aproximadamente 66 veces más exacto.
Voltaje AC	Relación de error de aproximadamente 8 veces más exacto.
Corriente AC	Relación de error de aproximadamente 4 veces más exacto.

En los cinco parámetros considerados, como es obvio, se observó que el calibrador Fluke 5500A es más exacto que su predecesor Fluke 760A.

Para el cálculo de la incertidumbre total del valor definido en el panel del instrumento se observa, de acuerdo a la tabla XXV, que:

Fluke 760A: el valor de la incertidumbre total está dado por un porcentaje del valor mostrado en el panel del instrumento más un valor de incertidumbre en las especificaciones.

Fluke 5500A: el valor de la incertidumbre total está dado por un porcentaje del valor mostrado en el panel del instrumento únicamente. Las especificaciones de incertidumbre incluyen: estabilidad, coeficiente de temperatura, linealidad, regulación de la línea, regulación de la carga y la trazabilidad de los estándares externos usados para calibración; por lo tanto, no es necesario añadir ninguna cantidad en la determinación de la incertidumbre total en el rango de temperaturas establecido para la operación del instrumento.



### **3. NORMATIVA COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025**

En 1990 se introdujo la última revisión de la Guía ISO/IEC 25, que originalmente fue creada para laboratorios de prueba, pero se consideró como un documento de consenso internacional de referencia para especificar los elementos mínimos de un laboratorio de calibración.

Desde el año 2000 se encuentra disponible la norma ISO/IEC 17 025 que presenta varios elementos que demuestran la conveniencia de efectuar avances en los procesos de acreditación de los laboratorios.

El poder de crear vínculos tecnológicos a través del reconocimiento de la capacidad de un laboratorio para efectuar ensayos muestra su vigencia cuando diversos países se esfuerzan porque sus productos cumplan normativas que son aceptadas a nivel global, de tal forma que se garantiza el reconocimiento internacional.

Los componentes y subsistemas elaborados en algunos países, que son críticos para el correcto desempeño de sistemas de producción, monitoreo, investigación, etcétera, necesitan satisfacer todos los criterios requeridos en otros países como mínimos para un correcto desempeño. La norma COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025 provee marcos de operación para que los laboratorios que efectúan ensayos y mediciones garanticen que los reportes y certificados emitidos por la institución sean confiables, de tal forma que tengan aceptación en la mayoría de países del mundo.

Como muchas entidades actualmente están conscientes de que la actividad de acreditación de laboratorios se incrementa, la pregunta ¿deberíamos acreditar a nuestra institución?, ha cambiado a ¿cuál es la mejor estrategia que podemos adoptar para que nuestra institución sea acreditada?

La norma COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025 es el estándar básico aceptado por organizaciones regionales e internacionales para la acreditación de laboratorios.

Es el documento usado, prácticamente por todos los laboratorios nacionales de metrología, para el desarrollo de sus sistemas de calidad.

Las personas familiarizadas con la normativa internacional de sistemas de calidad conocen los ocho principios básicos de ésta, que son:

- Enfoque hacia el cliente
- Liderazgo
- Involucrar a las personas
- Aproximación a los procesos
- Dirección
- Mejora continua
- Aproximación a los hechos para la toma de decisiones, y
- Relaciones de suministro mutuamente beneficiosas

Un examen cuidadoso de los principios que siguen nos proporciona una visión necesaria para comprender por qué el estándar COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025 está correctamente diseñado para servir a:

- La comunidad de laboratorios
- Los organismos normativos y de acreditación de laboratorios
- Los organismos de normativa de conformidad, especificaciones y regulación, y
- Las instituciones nacionales de metrología que sustentan los diferentes niveles de sistemas nacionales de medidas.

Capacidad: concepto de que un laboratorio tiene los recursos (personal, con los niveles y conocimientos requeridos; ambiente adecuado, con las instalaciones y equipos requeridos, y; el sistema de control de calidad, con los procedimientos adecuados) para efectuar las tareas requeridas y producir resultados competentes.

Ejercicio de responsabilidad: concepto de que las personas en la organización tienen la autoridad de ejecutar funciones específicas dentro del proceso global y de que la organización puede demostrar responsabilidad por los resultados que obtenga.

Método científico: concepto de que el trabajo efectuado en la organización está basado en propuestas científicas aceptadas, preferentemente por consenso, y que cualquier desviación de las propuestas científicas aceptadas pueda ser sostenida de una manera considerada aceptable por expertos en el campo.

Objetividad de los resultados: concepto de que los resultados producidos dentro de la visión de trabajo de la organización estén principalmente basados en cantidades medibles o derivadas. Concepto de que resultados subjetivos de ensayos son producidos únicamente por personas inadecuadamente calificadas para efectuarlos, y cuyos resultados son obviamente subjetivos, fácilmente reconocidos por los expertos como subjetivos.

Imparcialidad en la conducta: concepto de que la influencia primaria y exclusiva para obtener resultados competentes es el uso de propuestas científicas aceptadas, considerando que cualquier otra influencia es secundaria e inaceptable.

Trazabilidad de las mediciones: concepto de que los resultados producidos dentro de la visión de trabajo del laboratorio estén basados en sistemas reconocidos de medida, que se deriven de cantidades ampliamente reconocidas (tales como el Sistema Internacional de Unidades), u otras unidades o dispositivos perfectamente caracterizados. Concepto de que la cadena de comparaciones entre las cantidades o dispositivos plenamente aceptados, y el dispositivo bajo prueba, no se rompa nunca, para transferir las características de la medida aceptada, incluyendo la incertidumbre de la cadena de medición.

Repetibilidad de la prueba: concepto de que el ensayo que produjo los resultados objetivos producirá los mismos resultados -con desviaciones aceptadas-, durante ensayos subsiguientes, con la restricción de utilizar los mismos procedimientos, equipos y personal que efectuó el primer ensayo.



Transparencia del proceso: concepto de que los procesos en uso en el laboratorio están abiertos a escrutinio interno o externo, de tal forma que los factores que puedan afectar adversamente la consecución de los objetivos propuestos basados en el método científico, puedan ser identificados y mitigados rápidamente.

En resumen, la palabra clave en esta normativa, es “**competencia**”, siendo los requerimientos para la competencia técnica el principal objetivo del estándar COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025. Ya que el desempeño técnico es primario el sistema de calidad tiene que enfocarse en el laboratorio y en su operación.

Se describe la parte de la norma COGUANOR NGR/COPANT/ISO/IEC 17 025 que corresponde a los requisitos técnicos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y análisis. La parte correspondiente al sistema de gestión no es objeto del presente estudio.

### **3.1. Generalidades**

- Factores que determinan el desarrollo de las actividades del laboratorio.
- Tomar en cuenta los factores para desarrollar métodos y procedimientos relacionados con la competencia del laboratorio.

### **3.2. Personal**

- Personal calificado con base en la educación apropiada, capacitación y destreza, según sea necesario.
- Política y procedimiento para identificar las necesidades de capacitación.
- Autorizar personal específico para tipos especiales de actividades.

### **3.3. Instalaciones y condiciones ambientales**

- Las condiciones ambientales no deben afectar adversamente la calidad de los servicios.
- Detener las actividades del laboratorio cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados.
- Mantenimiento adecuado, el cual puede incluir procedimientos especiales.

### **3.4. Métodos de ensayo y calibración**

- Actividades que deben incluir los procedimientos de ensayo y/o calibración.
- Instrucciones para uso y operación de equipo cuando sea necesario.

- Satisfacer las necesidades del cliente utilizando métodos basados preferentemente en normas.
- Aplicar métodos publicados en normas, textos y publicaciones científicas (según especificaciones de los fabricantes).
- Acuerdo con el cliente cuando se requieren métodos no considerados por un método normalizado.
- Validar métodos no normalizados, desarrollados por el laboratorio, o fuera de su alcance propuesto.
- Los parámetros obtenidos de la validación deben ser relevantes con las necesidades del cliente.
- Cualquier laboratorio que realice calibraciones propias debe tener un procedimiento para cálculo de la incertidumbre.
- Los laboratorios de ensayo deben calcular la incertidumbre.
- Requisitos explícitos cuando se utilizan computadoras para procesamiento de información.

### **3.5. Equipo**

- Antes de ser puesto en servicio el equipo utilizado debe ser calibrado y verificado.
- Requisitos específicos para el registro de cada equipo y su software (si lo requiere).
- Para equipos que presentan resultados dudosos, examinar el efecto de las desviaciones e iniciar la aplicación del procedimiento para control de trabajo no conforme.
- Proteger el equipo de ajustes que puedan invalidar los resultados.

### **3.6. Trazabilidad de la medición**

- Calibrar todo el equipo usado, incluyendo el usado para mediciones auxiliares (condiciones ambientales), si tiene un efecto significativo.
- Laboratorios de calibración con trazabilidad a las unidades de medición del sistema internacional de unidades (SI).
- Requisitos específicos cuando las calibraciones no pueden ser hechas con magnitudes del SI.
- Materiales de referencia con trazabilidad a unidades del SI o materiales certificados.

- Materiales internos deben ser verificados de una forma técnica y económicamente factible.
- Todos los patrones utilizados deben ser verificados (no calibrados), para conservar la confianza en el estado de calibración.

### **3.7. Muestreo**

- Siempre que sea razonable, utilizar planes de muestreo basados en métodos estadísticos apropiados.
- Registrar cualquier desviación que el cliente solicite.
- Requisitos específicos para los registros durante el muestreo.

### **3.8. Manejo y transporte de los elementos de ensayo y calibración**

- Procedimientos para el manejo y transporte de los elementos de ensayo y calibración durante todo el proceso.
- Debe existir un sistema para identificar los elementos.
- Registrar la discusión con el cliente cuando se presentan desviaciones a las condiciones normales especificadas.

### 3.9. **Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración**

- Procedimientos para supervisar la validez de los ensayos y calibraciones.
- Sugerencias para lograr una supervisión adecuada.

### 3.10. **Informe de resultados**

- Se establece el caso de “clientes internos”.
- Elementos mínimos que debe contener un informe de ensayo o calibración.
- Elementos adicionales específicos para informes de ensayo.
- Elementos adicionales específicos para informes de calibración.
- Se debe tomar en cuenta la incertidumbre de la medición, para hacer cualquier declaración de conformidad.
- Se permiten opiniones e interpretaciones, siempre que se documenten las bases y fundamentos.
- Cualquier modificación o enmienda a un informe emitido, sólo puede hacerse con un documento adicional.

## CONCLUSIONES

1. La verificación de los patrones de referencia de un laboratorio es necesaria para garantizar que los patrones se desempeñan de acuerdo a los requerimientos de las mediciones que se efectúan en ese lugar.
2. Los laboratorios en general, y en este caso particular los laboratorios de metrología eléctrica, prestarán un servicio de acuerdo a parámetros que garantizan la calidad de las mediciones, si operan con un sistema acorde a la normativa Coguanor 17 025.
3. La utilización del sistema internacional de unidades, aplicado correctamente, conlleva la ventaja de contar con un sistema que es aceptado en la mayoría de los países del mundo.
4. En la actualidad los laboratorios de calibración del área eléctrica basan sus mediciones en dos equipos esenciales: el multímetro digital multifunciones y el calibrador de medidores, que para los efectos prácticos son necesarios para garantizar calibraciones adecuadas.
5. Las mediciones que se efectúan en un laboratorio dependen de sus patrones de referencia ya que son los patrones de mejor calidad metrológica disponibles en la institución.

6. Los beneficios de la acreditación de un laboratorio están ampliamente comprobados para garantizar que una institución es competente para prestar servicios a los usuarios.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar las actividades necesarias para llevar a cabo el proceso de acreditación del laboratorio de metrología eléctrica, prestando atención a la pregunta ¿debería acreditarse la institución?, para cambiarla *por* ¿cuál es la mejor estrategia que se puede adoptar para que la institución sea acreditada?
2. Prestar atención especial al establecimiento de programas adecuados de verificación de los equipos que incluyan mantenimiento básico recomendado por el fabricante.
3. Establecer programas adecuados de calibración para los equipos más importantes. En el caso del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería es necesario prestarle especial atención al multímetro *Hewlett Packard* modelo 3458A, que por sus características es vital para el laboratorio.
4. Adquirir el equipo que -a criterio del personal calificado del laboratorio- sea necesario para que en el proceso de acreditación se verifique al instrumental como adecuado para prestar los servicios que se ofrezcan.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Andión Gamboa, Mauricio y otros. **Guía de investigación científica.** Ediciones de Cultura Popular, México, 1988. 108p.
2. Azofeifa, Isaac. **Guía para la investigación y desarrollo de un tema.** Editorial Guaymuras, Honduras, 1989. 98p.
3. Centro Nacional de Metrología, Dirección Sistema Nacional de la Calidad, Ministerio de Economía. **Normas COGUANOR.**
4. Centro Nacional de Metrología, Dirección Sistema Nacional de la Calidad, Ministerio de Economía. **Sistema Internacional de Unidades SI.**
5. Cristóbal Rodríguez, Carmen Judith. Evaluación, análisis y propuesta para la acreditación del Laboratorio de Metrología Eléctrica, del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Trabajo de graduación de Ingeniería Eléctrica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
6. Helfrick, Albert y William Cooper. **Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.** Prentice Hall. México, 1991. 450p.
7. Loveday, G. C. **Diagnóstico de Averías en Electrónica.** Editorial Paraninfo. España, 1982. 344 p.
8. Marbán, Rocío y Julio Pellecer. **Metrología para no-metrólogos.** Segunda edición. 2001 Producción y Servicios Incorporados S. A. Año 2002. 129p.
9. Quattrini Donis, Gian Carlo. Proyecto para el diseño de un laboratorio industrial de metrología eléctrica. Trabajo de tesis de Ingeniería Mecánica Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998.
10. Wolf, Stanley y Richard Smith. **Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio.** Prentice Hall Hispanoamericana. México 1992. 584p.



## Referencias electrónicas:

1. Ministerio de Economía, Guatemala. [www.mineco.gob.gt](http://www.mineco.gob.gt)
  
2. Centro Nacional de Metrología de México. [www.cenam.mx](http://www.cenam.mx)
  - Gutiérrez Galván, Oscar. **Propuesta de expresión de la capacidad técnica de un laboratorio de calibración del área eléctrica.**
  
  - **Calidad de mediciones.**
  
  - **Guía sobre la calificación de equipo de instrumentos analíticos.**
  
  - Lazos Martínez, Rubén J. **Uso de certificados**
  
3. *National Institute of Standards and Technology.* [www.nist.gov](http://www.nist.gov) **The Ampere and Electrical Standards.**



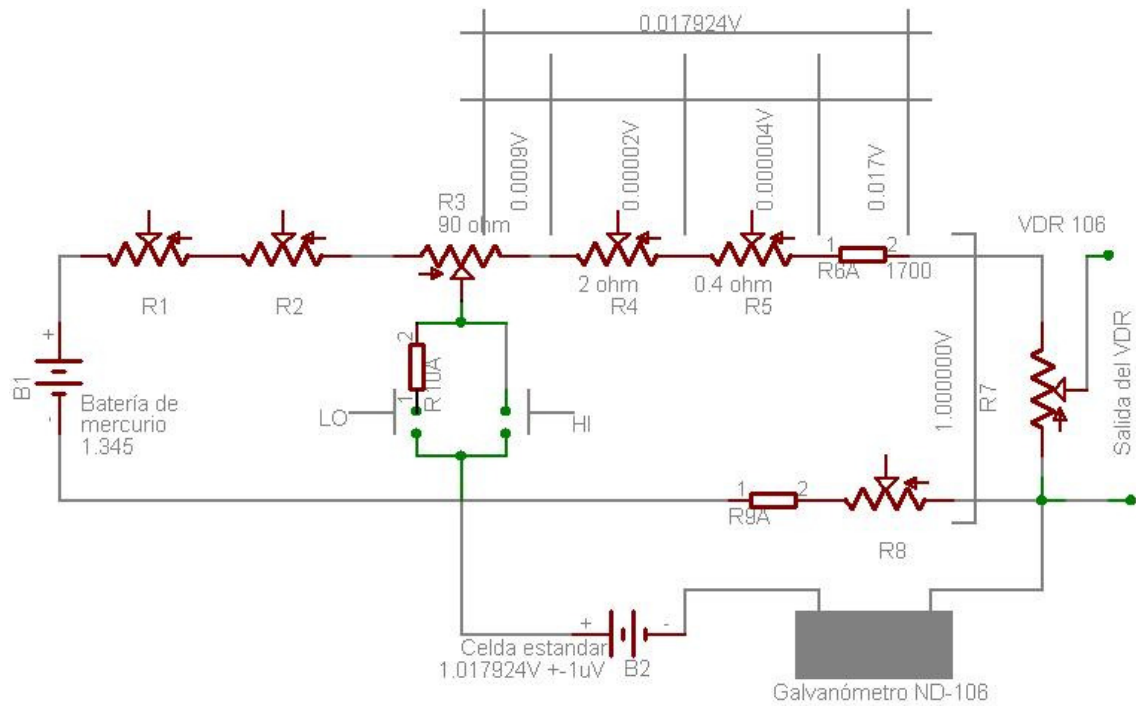
# ANEXOS

## ANEXO I

### La referencia de 1.000000 voltio

Para propósitos de calibración se necesita tener una referencia estable de 1.000000V. Tal referencia se deriva del arreglo mostrado en la figura siguiente:

Figura 2. La referencia de 1.000000 voltio.



Una celda estable de mercurio es referenciada a la salida de una celda estándar de voltaje a través de un juego calibrado de resistencias. Estas resistencias proveen una caída de voltaje, entre la salida de la celda estándar y la entrada de un divisor del tipo Kelvin-Varley (representado por  $R_7$ ), que es igual a la diferencia entre la celda estándar de voltaje y la referencia de 1.000000V que se busca.

Si se asume que la celda estándar de voltaje tiene un valor de 1.017924V, se tiene que: restando 0.017924V obtenemos el valor requerido de 1.000000V. Para lograr esto se asignan los siguientes valores a las resistencias:

$$R_6 = 1,700\Omega$$

Parte derecha de  $R_3 = 90\Omega$

$$R_4 = 2\Omega$$

$$R_5 = 0.4\Omega$$

El divisor de voltaje tiene una resistencia fija de entrada de 100,000 $\Omega$ . La resistencia total desde el lado derecho de  $R_3$ , y desde  $R_4$  hasta  $R_7$ , es entonces de 101,792.4 $\Omega$ . Si el potencial de 1.017924V de la celda estándar se aplica a esta resistencia equivalente, se obtiene una corriente de 10 $\mu$ A, causando la caída de voltaje requerida de 0.017924V a través de la sección de la resistencia de 1,792.4 $\Omega$ , y una caída de voltaje de 1.000000V a través de la resistencia de 100,000 $\Omega$   $R_7$ .



## ANEXO II

### Norma Coguanor NGR/Copant/ISO/IEC 17 025

En el presente trabajo nos interesa conocer el punto 5.5. de la Norma 17 025, sección titulada: "EQUIPOS".

5.5.1 El laboratorio debe estar equipado con todos los ítems de muestreo, equipo de medición y ensayo requeridos para la correcta realización de los ensayos y/o calibraciones (incluyendo muestreo, preparación de ítems de ensayo y/o calibración, procesamiento y análisis de los datos de ensayo y/o calibración). En los casos donde el laboratorio necesita utilizar equipos fuera de su control permanente, debe asegurar que se cumplan los requisitos de esta Norma Internacional.

5.5.2 Los equipos y su *software* utilizado para ensayo, calibración y muestreo deben ser capaces de alcanzar la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones pertinentes a los ensayos y/o calibraciones concernientes. Se deben establecer programas de calibración para las magnitudes o los valores claves de los instrumentos cuando estas propiedades tienen un efecto significativo en los resultados. Antes de colocar en servicio, los equipos (incluyendo los utilizados para el muestreo) deben ser calibrados o verificados para establecer que estos cumplen con los requisitos especificados del laboratorio y con las especificaciones normalizadas pertinentes. Estos deben ser verificados y/o calibrados antes del uso (véase 5.6).

5.5.3 Los equipos deben ser operados por personal autorizado. Las instrucciones actualizadas sobre el uso y mantenimiento de equipos (incluyendo

todos los manuales pertinentes proporcionados por el fabricante del equipo) deben estar fácilmente disponibles para ser usados por el personal apropiado del laboratorio.

5.5.4 Cada ítem del equipo y su software utilizado para ensayo y calibración y que sea significativo en el resultado debe, ser identificado de forma única, cuando sea factible.

5.5.5 Se deben mantener registros de cada ítem del equipo y su software que sea significativo para los ensayos y/o calibraciones realizadas. Los registros deben incluir por lo menos lo siguiente:

- a) la identificación del ítem del equipo y su software;
- b) el nombre del fabricante, identificación del tipo, y número de serial u otra identificación única;
- c) las verificaciones de que el equipo cumple con la especificación (véase 5.5.2);
- d) la ubicación actual, cuando sea apropiado;
- e) las instrucciones del fabricante, si están disponibles, o referencia a su ubicación;
- f) las fechas, resultados y copias de informes y certificados de todas las calibraciones, ajustes, criterios de aceptación, y fecha prevista de la próxima calibración;
- g) el plan de mantenimiento, cuando sea apropiado, y mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha;
- h) cualquier daño, mal funcionamiento, modificación o reparación al equipo.

5.5.6 El laboratorio debe tener procedimientos para el manejo seguro, transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento planificado del equipo de

medición para asegurar su funcionamiento correcto y prevenir contaminación o deterioro.

NOTA Pueden ser necesarios procedimientos adicionales cuando el equipo de medición es utilizado fuera del laboratorio permanente para ensayos, calibraciones o muestreo.

5.5.7 El equipo que ha estado sujeto a sobrecarga o maltrato, de resultados sospechosos, o ha mostrado estar defectuoso o fuera de los límites especificados, debe ser retirado del servicio. Este debe estar aislado para prevenir su uso o claramente etiquetado o marcado como fuera de servicio, hasta que sea reparado y muestre por calibración o ensayo que funciona correctamente. El laboratorio debe examinar el efecto del defecto o desviación de los límites especificados en ensayos y/o calibraciones anteriores y debe aplicar el procedimiento de "Control de trabajo no conforme" (véase 4.9).

5.5.8 Siempre que sea factible, todo equipo bajo el control del laboratorio y que requiere calibración debe ser etiquetado, codificado o identificado de alguna otra forma para indicar el estado de calibración, incluyendo la fecha de la última calibración y la fecha o criterio de expiración que hace necesaria una recalibración.

5.5.9 Cuando, por cualquier razón, el equipo salga fuera del control directo del laboratorio, el laboratorio debe asegurar que el funcionamiento y el estado de calibración del equipo sean comprobados y muestren ser satisfactorios antes que el equipo sea reintegrado al servicio.

5.5.10 Cuando son necesarias comprobaciones intermedias para mantener la confianza en el estado de calibración del equipo, estas comprobaciones deben ser llevadas a cabo de acuerdo a un procedimiento definido.

5.5.11 Cuando las calibraciones den lugar a un conjunto de factores de corrección, el laboratorio debe tener procedimientos para asegurar que las copias se actualizan correctamente (por ejemplo, en el software de una computadora).

5.5.12 El equipo de calibración y ensayo, incluyendo tanto hardware (soporte físico) como software (soporte lógico), debe estar protegido contra ajustes que pudieran invalidar los resultados del ensayo y/o calibración.

## ANEXO III

### **¿Es verdad que los laboratorios acreditados se desempeñan de una mejor manera que los no acreditados?**

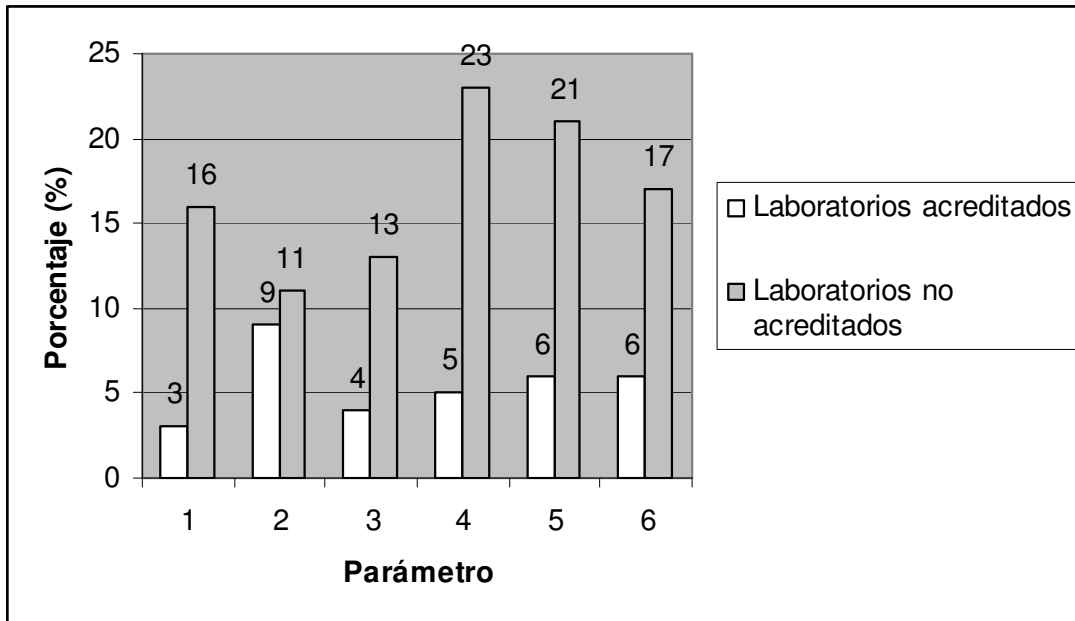
En el documento titulado “*ISO/IEC 17025 – Enhancing the competitiveness of calibration and testing laboratories*”, el autor Graham Cameron del *Standards Council of Canada*, presenta un estudio efectuado para determinar si los laboratorios acreditados mostraban un mejor desempeño que los laboratorios no acreditados.

La figura adjunta muestra el desempeño de los laboratorios considerando seis rondas de evaluación efectuadas durante tres años. El criterio de selección de los laboratorios se fundamentó únicamente en el hecho de que si estos estaban acreditados o no. Es importante señalar que de los laboratorios objeto del estudio ninguno de ellos efectúa mediciones eléctricas. El propósito de la Norma 17 025 abarca en general laboratorios de ensayo y calibración.

Se utilizaron cinco parámetros de prueba que se indican en el eje horizontal con los números del uno al cinco. El número seis indica un promedio.

Porcentaje de laboratorios con resultados insatisfactorios:

Figura 3. Laboratorios no acreditados contra laboratorios acreditados.



Quinientos veintiocho resultados de laboratorios no acreditados fueron comparados contra el mismo número de resultados de laboratorios acreditados. Se verificó que la habilidad de los laboratorios para efectuar los muestreos y las pruebas fuera la misma para ambos grupos.

Como resultado se tiene que los laboratorios acreditados obtuvieron mejores punteos, un mayor número de punteos perfectos y menos punteos insatisfactorios en los cinco parámetros considerados. La conclusión es bastante obvia: los laboratorios acreditados producen resultados más consistentes y competentes que los laboratorios no acreditados.

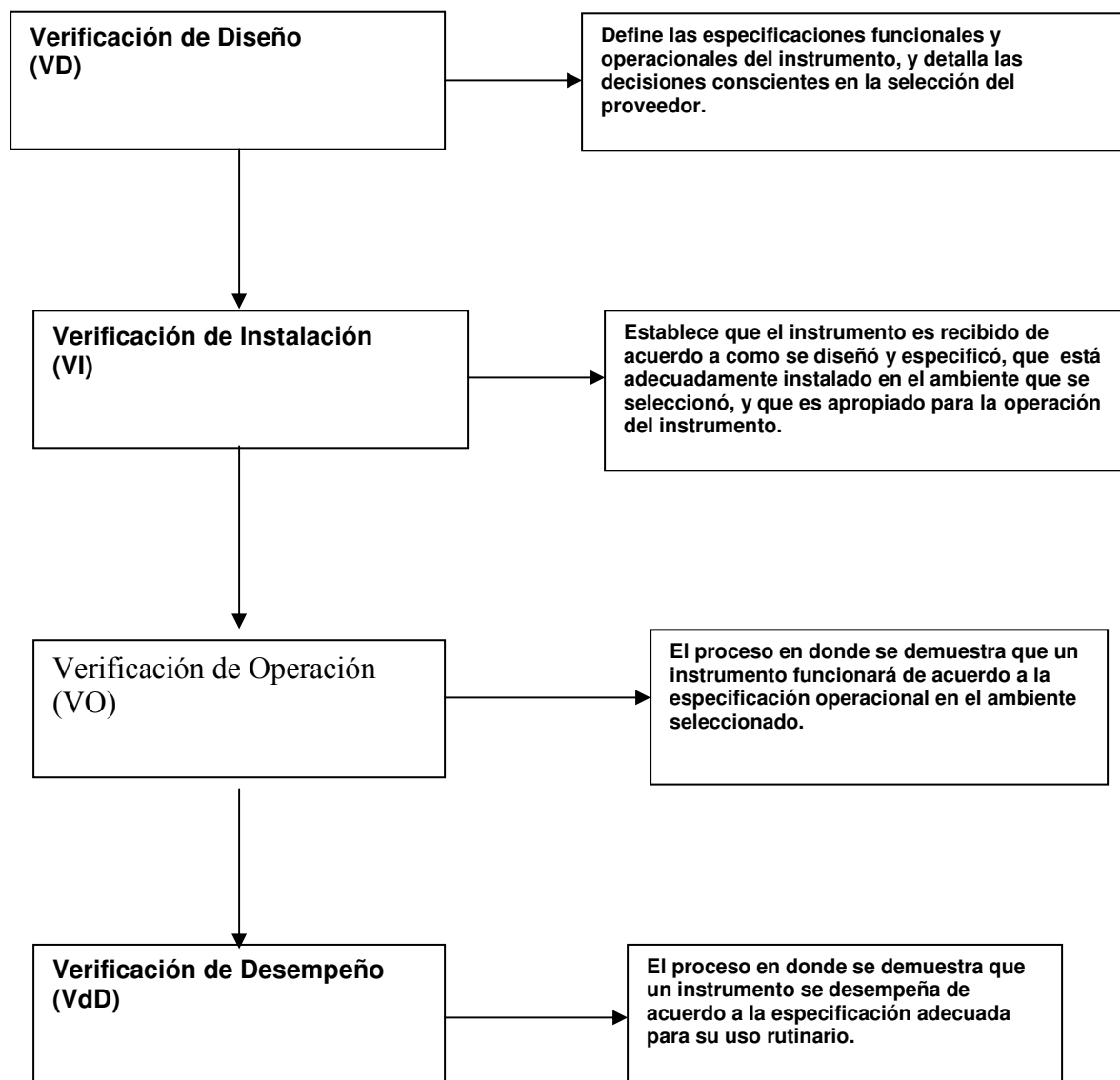
## **ANEXO IV**

### **El proceso de verificación de equipo**

El requisito primario para todos los instrumentos utilizados en los laboratorios analíticos es que deben ser suministrados de acuerdo a su propósito establecido. El proceso de verificación del equipo debe, por lo tanto, establecer que la especificación operacional del instrumento es apropiada para el propósito requerido, y que el instrumento se desempeña de acuerdo a esa especificación. La verificación del equipo también debe establecer que un instrumento es y será conservado en un estado de mantenimiento y calibración consistente con su uso.

El proceso de verificación del equipo (VE) descrito en este documento es resumido en la figura 1 y está basado en cuatro etapas de “verificación”: Verificación de Diseño (VD); Verificación de Instalación (VI); Verificación de Operación (VO) y Verificación de Desempeño (VdD). Las secciones subsecuentes de esta guía describen individualmente estas cuatro etapas de verificación en más detalle y proporcionan una amplia guía de lo que cada etapa debe incluir.

Figura 4. Proceso de Verificación de Equipo





Frecuentemente existe confusión con respecto a qué se debe incluir en el proceso de verificación del equipo, y, en particular, qué está cubierto en las etapas individuales de verificación (VD-VI-VO-VdD). Esto surge porque los proveedores de diferentes compañías ofrecen niveles variados de apoyo para la verificación del equipo; y, en la actualidad, no hay una aceptación uniforme de qué es lo que se cubre en cada etapa de la verificación del equipo, ni como será llamada cada etapa.

La aplicación de cada etapa de la VE variará durante el tiempo de vida de un instrumento. Las cuatro etapas serán aplicables desde la compra de un instrumento nuevo. Puede ser necesario que los aspectos de VD y VI sean efectuados nuevamente cuando existan cambios mayores en el instrumento. La VdD, y muchos aspectos de la VO, deberán llevarse a cabo durante toda la vida del instrumento, y proporcionar una referencia contra la cual el funcionamiento continuo del instrumento pueda ser evaluado.

El proceso de VE y los requisitos de cada etapa de verificación son genéricos y por lo tanto aplicables a instrumentos complejos y simples. Sin embargo, las pruebas operacionales específicas llevadas a cabo durante la verificación variaran, por supuesto, de acuerdo al tipo de instrumento.

Cada etapa del proceso de verificación involucra el mismo enfoque general: la preparación de un plan de verificación, que incluya la definición del alcance de la verificación (p. ej. la prueba a llevarse a cabo y el criterio de aceptación a utilizarse); ejecución del plan (durante el cual los resultados de las pruebas sean registrados, tal y como las pruebas se llevan a cabo); y la elaboración de un informe (y si se requiere, un certificado de VE) en el que se documentan los resultados de la VE.

El usuario es responsable de la validación del proceso de medición, de la calidad y la confiabilidad de los datos producidos. Por lo tanto, el usuario es responsable de asegurar que un instrumento es adecuado para su uso propuesto y que está operando satisfactoriamente. De esta forma, el usuario es también responsable de la VE.

El usuario debe establecer el nivel de VE que se requiere, en base al propósito establecido del instrumento. También debe establecer qué aspectos de la VE deberán hacerse en el laboratorio y cuales deberán ser realizados por un tercero; este último puede ser el proveedor original del instrumento. El alcance de lo que llevará a cabo el usuario, dependerá de su experiencia y competencia.

El proveedor deberá proporcionar una guía clara sobre qué es lo que el usuario debe llevar a cabo, qué es lo que el usuario y proveedor pueden realizar y lo que puede ser realizado solo por el proveedor. El proveedor deberá elaborar y proporcionar documentos que estén disponibles acerca de las herramientas y servicios que permitan la ejecución de la VE, y, en particular, para proporcionar instrucciones claras y detalles de las pruebas que son requeridas para demostrar un desempeño satisfactorio del instrumento.

Tales pruebas (una parte integral de VO/VdD) pueden llevarse a cabo por el proveedor o el usuario, pero deben permanecer bajo el control del usuario.

En cualquier aspecto de la VE y/o revisión de desempeño o prueba que se lleve a cabo por el proveedor o un tercero, el usuario debe dar aprobación de que las pruebas fueron realizadas competentemente y correctamente (el registro de la capacitación del personal que realiza la instalación del instrumento debe ser proporcionada al usuario, con la finalidad de proveer evidencia básica de su competencia).

El éxito o el fracaso de todas las revisiones en la VE y las pruebas realizadas, deberán registrarse formalmente.

Los resultados de aquellas pruebas y revisiones que hayan sido llevadas a cabo por el proveedor del instrumento, o por un tercero, deberán ser documentados e informados al usuario, con la finalidad de que dé su aprobación a las mismas.

El usuario puede esperar que los proveedores lleven a cabo todos los aspectos de la VE pero debe aceptar que tales servicios con frecuencia incurrirán en un costo económico.

Cuando sean necesarias las operaciones de mantenimiento y de calibración estas deben realizarse antes de la VE.

**3.1.1. Verificación de diseño:** La verificación de diseño tiene que ver con lo que se requiere hacer con el instrumento, por lo que tiene que ser vinculado directamente al propósito de uso.

La VD proporciona al usuario una oportunidad para demostrar que, en una etapa anticipada a la adquisición e instalación del instrumento, se ha considerado el propósito de su uso y que la VD ha sido incorporada en el proceso de VE.

3.1.1.1 En la VD deberá, hasta donde sea posible, establecerse el uso propuesto o probable del instrumento y definir las especificaciones operacionales y funcionales apropiadas. Esto puede ser un compromiso entre lo ideal y los detalles prácticos, considerando de que se dispone. Es responsabilidad del usuario asegurar que existan especificaciones que sean apropiadas; estas especificaciones pueden ser preparadas por el usuario, el (los) proveedor(es) o por discusión entre ambos.

3.1.1.2. La especificación operacional deberá definir las características claves de desempeño del instrumento, los intervalos sobre los cuales se requiere operar el instrumento, y que se desempeñe consistentemente.

3.1.1.3. La especificación funcional deberá considerar todos los requisitos del instrumento, incluyendo la especificación operacional (ver 2.3), y otros factores críticos relacionados con su uso, por ejemplo:

a) Todas las exigencias del negocio;

b) La documentación relacionada al uso del instrumento (p. ej.: documentación clara, manuales de operación fáciles de usar, identificación por número de versión y fecha; protocolos para VI, VO y VdD; procedimientos estándar de operación, etc.);

- c) El nivel de habilidad requerida para operar el instrumento y los detalles de cualquier capacitación necesaria y cursos proporcionados por el proveedor.
- d) Rendimiento de muestra, presentación y necesidades para su introducción;
- e) Necesidades de adquisición de datos, forma de procesarlos y presentarlos;
- f) Requisitos para servicios, instalaciones y consumibles (p. ej. electricidad, gases especiales, y su consumo esperado);
- g) Condiciones ambientales o intervalo de condiciones dentro de las cuales el instrumento debe trabajar.
- h) Sugerencias sobre los intervalos y los procedimientos para mantenimiento y calibración del instrumento, incluyendo el costo y la disponibilidad de cualquier contrato de servicio.

**3.1.2. Verificación de instalación:** Hay un límite muy fino entre lo que esta incluido en la verificación de instalación y en la verificación de operación. En efecto, la línea puede dibujarse de modo diferente para todos los fabricantes y/o diferentes instrumentos. En este documento la VI cubre toda la instalación del instrumento, incluyendo su respuesta a la aplicación inicial de energía.

3.1.2.1 La VI involucra la revisión formal para confirmar que el instrumento, sus módulos y accesorios, se han suministrado como se solicitaron (de acuerdo a especificaciones establecidas entre el usuario y el proveedor), y que el instrumento es instalado adecuadamente en el ambiente que se seleccionó. La VI debe documentarse formalmente, y deberá cumplir lo siguiente:

a) Que el instrumento (incluyendo todos los módulos y los accesorios) se hayan entregado como se solicitó (notas de entrega, orden de compra, especificaciones acordadas) y que el instrumento haya sido revisado y reportado sin daño.

b) Que se proporcionó toda la documentación requerida y que es correcta (ej. manuales de operación, los cuales también deberán incluir su número y fecha de emisión, la especificación del proveedor y los detalles de todos los servicios y herramientas necesarias para operar el instrumento).

c) Que se haya proporcionado el servicio recomendado, como el mantenimiento, los programas e intervalos de calibración y verificación. Cuando el mantenimiento puede ser realizado por el usuario, deben establecerse métodos e instrucciones adecuadas, así como también los puntos de contacto para la realización del servicio y la adquisición de repuestos.

d) Que se hayan suministrado computadoras, microprocesadores, licencias y programas de cómputo de edición correcta.

e) Que se haya proporcionado la información acerca de los consumibles necesarios empleados durante la operación normal del sistema del instrumento y los procedimientos de encendido y apagado.

f) Que el ambiente seleccionado para el instrumento sea el adecuado, con un espacio apropiado para su instalación, operación, y servicios adecuados (electricidad, gases especiales, etc.). (Nota: puede ahorrarse tiempo y esfuerzo significativo si estos requisitos básicos se revisan antes de la VI formal del instrumento).

g) Que haya sido proporcionada la información acerca de la seguridad e higiene, y ambiente relacionado a la operación del instrumento. Es responsabilidad del proveedor proporcionar información adecuada acerca de la seguridad que el usuario debe observar y documentar la aceptación de esta guía.

h) Que se registre la respuesta inicial del instrumento debida a la aplicación inicial de energía, documentando que está de acuerdo a lo especificado, registrar cualquier desviación encontrada (si el sistema está diseñado para realizar cualquier diagnóstico automático o procedimientos de encendido la respuesta a estas funciones deberá observarse y documentarse).

3.1.2.2. La VI puede ser realizada por el proveedor y/o el usuario. Sin embargo, deberá notarse que, en algunos casos, la complejidad del instrumento puede excluir al usuario para que realice la VI, y, por otro lado, el desempaque del instrumento por el usuario puede invalidar la garantía.

3.1.2.3. La VI debe llevarse a cabo por una persona competente y de acuerdo con los procedimientos e instrucciones del proveedor. El éxito o la falla de cada una de las revisiones de la VI, deberán ser registradas formalmente, y los resultados de prueba de las revisiones de la VI que hayan sido realizadas por el proveedor deberán ser informadas al usuario.

### **3.1.3. Verificación de operación**

3.1.3.1. El propósito de la verificación de operación es demostrar y proporcionar evidencia documentada de que el instrumento funcionará de acuerdo a la especificación operacional en el ambiente seleccionado.

3.1.3.2. Normalmente, para un instrumento nuevo, la verificación de operación se realiza después de la verificación de instalación, o después de un cambio significativo en el instrumento, o después de realizar un cambio de un componente resultado de una reparación o servicio.

3.1.3.3. La verificación de operación puede ser llevada a cabo por el proveedor o el usuario, pero debe permanecer bajo el control del usuario. Sin embargo, para instrumentos de configuración compleja, solo puede ser realizada por el proveedor.

3.1.3.4. La verificación de operación debe realizarse de acuerdo a los procedimientos y las instrucciones del proveedor, utilizando los materiales y protocolos apropiados y debe satisfacer los requisitos generales establecidos en la sección de verificación de equipo. En esta sección no es posible dar una guía general de los requisitos para la verificación de operación, porque en esta etapa las revisiones y las pruebas necesarias para demostrar que la especificación operacional del instrumento se cumple son específicas y varían, dependiendo del tipo de instrumento que este bajo verificación. Sin embargo, la verificación de operación debe ser formalmente documentada de acuerdo con los requisitos generales descritos en la sección de documentación.



### **3.1.4. Verificación de desempeño**

El propósito de la verificación de desempeño es asegurar que el instrumento funciona correctamente y que la especificación es apropiada para su uso de rutina. Esta especificación puede ser la especificación operacional original o una más adecuada para su uso actual. La verificación de desempeño proporciona la evidencia continua del control y desempeño aceptable del instrumento durante su uso rutinario.

3.1.4.1. La frecuencia y el requerimiento para la verificación de desempeño deberá ser especificada en los manuales de operación “in-house”, o en un procedimiento estándar de operación. Deberá basarse en el tipo de instrumento, y, por supuesto, en el desempeño previo del instrumento (historial de funcionamiento), incluyendo los períodos establecidos de calibración del instrumento basados en la práctica (gráficos de control), con la finalidad que permanezca el instrumento en los límites de aceptación.

3.1.4.2. Cuando sea posible, todas las revisiones y pruebas de la verificación de desempeño, deberán llevarse a cabo utilizando parámetros lo más cercanos a aquellos utilizados durante una operación de rutina normal del instrumento. Para la mayoría de los instrumentos habrá un área “gris” entre el funcionamiento óptimo y el nivel inaceptable. Cuando este sea el caso, el usuario debe identificar un umbral (estableciendo un criterio) bajo el cual el funcionamiento del instrumento es no aceptable, y, por lo tanto, establecer que el instrumento no debe ser usado hasta que su funcionamiento sea reestablecido.

3.1.4.3. Los aspectos de verificación de desempeño son con frecuencia incluidos dentro de los procedimientos o métodos de medición analítica. Este

enfoque, es con frecuencia llamado Prueba de Aptitud del Sistema PAS (System Suitability Checking, SSC), la cual demuestra que el desempeño del procedimiento de medición (incluyendo las condiciones de operación instrumental) es apropiado para una aplicación en particular. La PAS deberá utilizarse antes y durante el análisis para proporcionar una evidencia de operación satisfactoria o una evidencia de que el desempeño ya no es aceptable.

3.1.4.4. Cuando el proveedor suministra un sistema de medición completo, la verificación de diseño puede realizarse por el proveedor, pero debe permanecer bajo control del usuario. En algunas circunstancias, la verificación de diseño puede involucrar que se realicen varias revisiones y pruebas que son también realizadas durante la verificación de operación, y, por lo tanto, éstas deben realizarse por el proveedor. Sin embargo, para cualquier verificación de desempeño llevada a cabo por el proveedor, es probable que el usuario también tenga que realizar frecuentemente la misma verificación de desempeño (revisiones y pruebas) para confirmar el desempeño satisfactorio y continuo del instrumento durante el uso rutinario.

3.1.4.5. La verificación de desempeño deberá llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos generales descritos en la sección de verificación del equipo. No es posible dar una guía general sobre los requisitos de la verificación de desempeño porque, en esta etapa, las revisiones y pruebas necesarias para demostrar un funcionamiento satisfactorio del instrumento son específicas y dependientes del tipo de instrumento y de la aplicación (medición analítica). Sin embargo, la verificación de desempeño debe documentarse formalmente de acuerdo con lo establecido en la sección de documentación.

### **3.1.5. Re-verificación**

3.1.5.1 En general, un instrumento experimentará una variedad de cambios durante su vida útil. Estos pueden variar desde el reemplazo rutinario de una parte simple, consumible, hasta cambios significativos que afectan el sistema completo del instrumento. Los ejemplos de tales circunstancias incluyen:

- Movimiento o reubicación del instrumento.
- Interrupción de los servicios o suministros.
- Mantenimiento de rutina y reemplazo de refacciones
- Modificación (p. ej. actualización del instrumento o mejora)
- Un cambio de uso.

3.1.5.2. Cada vez que ocurran tales cambios, es esencial repetir aspectos relevantes del proceso de verificación original. Este procedimiento es ampliamente referido como re-verificación.

3.1.5.3. El nivel de re-verificación requerido dependerá del alcance de los cambios y su impacto sobre el instrumento. En muchos casos, la re-verificación puede ser realizada utilizando los mismos protocolos de verificación, revisiones y pruebas, los cuales fueron llevados a cabo previo al uso rutinario del equipo.

3.1.5.4. La naturaleza y la razón para cualquier cambio al instrumento, en conjunto con los resultados de todas las pruebas y revisiones de la re-verificación realizada, deberán documentarse formalmente de acuerdo a los requisitos presentados en la sección de documentación.

3.1.5.5. La re-verificación no es necesariamente repetir todo el proceso de verificación. Sin embargo, debe cubrir el cambio realizado y verificar aquellas partes (refacciones y/o accesorios, equipos acoplados, entre otros) del instrumento, que afecten dicho cambio.

3.1.5.6. Por ejemplo, el reemplazo de la fuente de un detector (p. ej. lámpara de deuterio) requerirá re-verificar el detector, utilizando procedimientos y protocolos apropiados para la verificación de operación/verificación de diseño, pero sería poco probable requerir la verificación adicional de otros componentes del instrumento (p. ej. el inyector o la bomba). Sin embargo, debido a que el cambio afectó al instrumento como un todo, podría ser necesario llevar a cabo revisiones para la verificación de desempeño en todo el sistema, para demostrar su desempeño satisfactorio posterior al cambio.

3.1.5.7. Similarmente, para algunos sistemas “modulares” es posible, con frecuencia intercambiar los componentes dependiendo de la aplicación y del uso propuesto para el instrumento. Los cambios en la configuración del instrumento (p. ej. reemplazo de un detector por otro) puede no necesariamente requerir re-verificación del módulo individual, pero requerirá re-verificación del sistema del instrumento como un todo.

3.1.5.8. Cambios significativos del instrumento, por ejemplo, un componente principal o una actualización del programa de cómputo o una mejora que permita incrementar la capacidad del instrumento, normalmente requerirá una re-verificación más amplia. En efecto, para tales cambios substanciales, hay con frecuencia una línea fina entre lo que es considerado que sea re-verificación y lo que constituye la verificación de un nuevo componente.

3.1.5.9. La actualización del instrumento y/o su programa de cómputo, deberá documentarse completamente y describir las razones, diferencias, las nuevas características y los beneficios del cambio efectuado. Los usuarios deberán averiguar y solicitar evidencia documentada a los proveedores, de que la actualización haya sido desarrollada y fabricada de acuerdo a normas apropiadas y formalmente validada durante su producción. La actualización del programa de cómputo deberá, en lo que sea posible, ser compatible con las versiones previas y donde esto no sea posible, el proveedor deberá ofrecer una transferencia “validada” de los datos existentes al sistema actualizado.

3.1.5.10 Posterior a la instalación de actualización, el instrumento deberá re-verificarse utilizando revisiones y pruebas adecuadas. Cuando sea posible, las revisiones y pruebas utilizadas para la re-verificación deben diseñarse de tal forma, que los resultados puedan ser comparados con aquellos que se obtuvieron utilizando las versiones anteriores. Cualquier diferencia entre los resultados de prueba obtenidos por las versiones anteriores y las nuevas, deberán identificarse, documentarse y resolverse.

### **3.1.6. Calibración y trazabilidad**

3.1.6.1. La Guía ISO 17 025, las series de Normas ISO 9000 y las Buenas Prácticas de Laboratorio establecen que, en donde sea relevante y posible, las calibraciones deberán ser trazables a patrones nacionales o internacionales.

La importancia de la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales está en el establecimiento de la exactitud de los datos resultantes del proceso de medición. En donde esto no es relevante o posible las bases para la calibración o el establecimiento de la exactitud de los resultados deben documentarse.

3.1.6.2. Cuando se utilizan instrumentos para medir valores absolutos de un parámetro (p. ej. temperatura, longitud de onda), el instrumento deberá ser calibrado utilizando materiales de referencia o patrones trazables a patrones nacionales o internacionales. La mayoría de los instrumentos de medición analítica no se utilizan en esta forma. En lugar de esto, el parámetro medido (p. ej. mV) es comparado con el valor de una magnitud conocida del mensurando de interés, de un material de calibración, en una forma tal que obedezca las leyes definidas. Actualmente está en discusión la influencia de la calibración o caracterización física del instrumento y su incertidumbre, en la incertidumbre final del valor medido de la magnitud del mensurando. En este sentido se está analizando información experimental en casos específicos, para sustentar técnicamente los argumentos de discusión. Entre tanto, se considera que la mejor aproximación a los valores verdaderos del mensurando, es la obtenida mediante el uso apropiado de los materiales de referencia certificados en cada caso.

3.1.6.3. Para muchas aplicaciones, la exactitud de los parámetros de operación del instrumento no es crítica, y, por lo tanto, la necesidad de realizar una calibración correspondiente a dicho parámetro, que sea trazable a patrones nacionales o internacionales, no es importante. En tales circunstancias, la exactitud del parámetro de operación es secundaria, siempre y cuando permanezca reproducible consistentemente, durante la medición analítica de la

muestra y del patrón correspondiente, adicionalmente deberá demostrarse el desempeño adecuado del instrumento de medición.

3.1.6.4. Sin embargo, en otras circunstancias, la exactitud de los parámetros de operación de un instrumento y subsecuentemente la calibración trazable a patrones nacionales e internacionales será de mayor importancia; por ejemplo: cuando un procedimiento de medición analítica es desarrollado en un laboratorio y éste se transfiere a otro laboratorio para uso rutinario o en donde la exactitud del parámetro pueda tener un impacto crítico sobre el funcionamiento del proceso de medición.

3.1.6.5. La trazabilidad a patrones nacionales e internacionales es normalmente, y con frecuencia establecida más eficientemente, a través del uso de materiales de referencia certificados o patrones trazables al SI.

Los usuarios deben evitar sobre-especificar requisitos de trazabilidad y/o calibración (p. ej. para parámetros que no son críticos en el método), porque los evaluadores tendrán justificación para exigir que el usuario demuestre que cualquier requisito metrológico especificado en el procedimiento debe cumplirse razonablemente.





## **ANEXO V**

### **El detector de nulos ND-106**

El detector de nulos ND-106, como equipo asociado a las celdas primarias de voltaje, se utiliza para verificar la temperatura del horno, para que esta sea estable y no afecte a la referencia por variación de la temperatura. Adicionalmente, cuenta con una referencia estable de baterías de mercurio, que es necesaria para establecer una referencia de 1.000000V para propósitos de calibración y ajuste.

El equipo no funciona bien. Después del período de calentamiento se observa que la aguja del galvanómetro oscila y no permite que el ajuste de cero pueda establecerse.

Como primer paso se efectuó la rutina de mantenimiento sugerida por el fabricante. No se observó una mejora sustancial en la estabilidad del galvanómetro. El ajuste a cero tampoco se puede obtener.

Se realizó una segunda rutina de mantenimiento, prestando especial cuidado en la limpieza de contactos mecánicos, pero no dio resultado diferente.

Como segundo paso se procedió a verificar el estado de funcionamiento de la fuente de voltaje. Esta fuente proporciona los voltajes de referencia del equipo para operar con normalidad. Se estableció que la fuente ya había sido reparada con anterioridad. No se pudo encontrar documentación de alguna modificación efectuada.

La medición de los voltajes de referencia no coincide con los voltajes establecidos en el manual. Adicionalmente, el diagrama esquemático de la fuente en el manual del fabricante no coincide con todos los componentes físicos encontrados. Se procedió a una revisión de componentes. Por ejemplo, las resistencias de la fuente. Se obtuvo la tabla de datos siguiente:

Tabla XXVI. Resistencias de fuente del detector de nulos ND-106.

	Nominal	Tolerancia	Máximo	Mínimo	Medido 1	Medido 2	Medido 3	Medido 4	Medido 5	Suma	Promedio	Condición
R 401	150	10%	165	135	171.37	170.98	170.92	170.82	170.69	854.78	170.956	Excede
R 402	18000	10%	19800	16200	23896	23881	23875	23859	23858	119369	23873.8	Excede
R 403	1000	10%	1100	900	1203	1204	1204	1204	1204	6019	1203.8	Excede
R 404	1000	10%	1100	900	1411	1412	1412	1413	1414	7062	1412.4	Excede
R 405	2200	10%	2420	1980	2697	2705	2708	2710	2712	13532	2706.4	Excede
R 406	33	10%	36.3	29.7	62.653	62.836	63.405	63.473	63.542	315.909	63.1818	Excede
R 407	470	10%	517	423	1055	1172	1165	1152	1078	5622	1124.4	Excede
R 408	1500	10%	1650	1350	1703	1704	1704	1704	1704	8519	1703.8	Excede
R 409	6800	10%	7480	6120	8179	8178	8178	8180	8179	40894	8178.8	Excede
R 410	6800	10%	7480	6120	7398	7399	7399	7399	7399	36994	7398.8	Bien
R 411	6800	10%	7480	6120	8215	8149	8149	8148	8219	40880	8176	Excede
R 412	1500000	10%	1650000	1350000	1581000	1581000	1580000	1580000	1580000	7902000	1580400	Bien
R 413	2700	10%	2970	2430	3305	3304	3303	3303	3303	16518	3303.6	Excede
R 414	4700	10%	5170	4230	5006	5003	5003	5005	5004	25021	5004.2	Bien
R 415	1000	10%	1100	900	1308	1317	1321	1323	1324	6593	1318.6	Excede
R 417	39000	10%	42900	35100	44821	44829	44818	44823	44826	224117	44823.4	Excede
R 418	39000	10%	42900	35100	44792	44784	44797	44782	44781	223936	44787.2	Excede
R 419	6800	10%	7480	6120	8402	8399	8394	8396	8397	41988	8397.6	Excede
R 420	6800	10%	7480	6120	9184	9166	9176	9182	9195	45903	9180.6	Excede

En esta tabla se observa que prácticamente todas las resistencias están alteradas.

En el caso del ND-106, se utilizan resistencias comerciales de carbón, con una tolerancia de 5% o 10%. En el caso del FLUKE 760A se utilizan resistencias especiales que mantienen su valor bastante cercano al nominal establecido por el fabricante a pesar de ser aproximadamente de la misma edad que las del ND-106.

Con los datos anteriores se comprueba que el equipo necesita una revisión total. Se ha propuesto a varios estudiantes la reparación del equipo como proyecto de graduación pero ninguno ha aceptado hasta la fecha.

Existe el problema adicional de las baterías de referencia de 1.345V. Estas baterías, elaboradas con mercurio, no se encuentran disponibles en el mercado ya que no se fabrican por el riesgo a la salud y al medio ambiente.