

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Posibilidades de desarrollo y aplicación de la Metrología
Eléctrica en Guatemala

Guatemala

1996

Posibilidades de desarrollo y aplicación de la Metrología
Eléctrica en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Electrónica

Posibilidades de desarrollo y aplicación de la Metrología
Eléctrica en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Brenda Karina
Rodríguez Rodas para optar al grado académico de Licenciada
en Ingeniería Electrónica

Guatemala

1996

Vo.Bo.: (f) Loesener
Dr. Otto Loesener

Tribunal:
(f) Loesener
Dr. Otto Loesener

(f) _____
Ing. Rodolfo Königsberger

(f) _____
Ing. Roberto Tejada

Fecha de aprobación: 26 de Julio de 1996

ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
RESUMEN.....	x
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. INTRODUCCIÓN A LA METROLOGÍA.....	4
A. Antecedentes.....	4
1. Sistemas de Medición.....	4
2. Esquema de la Organización Internacional de la Medición.....	5
B. Definición y conceptos básicos de la Metrología.....	9
C. Clasificación de la Metrología.....	12
D. Trazabilidad de las mediciones.....	12
III. METROLOGÍA ELÉCTRICA.....	14
A. Historia de la Metrología Eléctrica.....	14
B. Unidades y Patrones Eléctricos.....	15
C. Desarrollo de los patrones de Resistencia, Corriente y Voltaje.....	18
1. Patrón de resistencia.....	18
2. Patrón de corriente.....	22
3. Patrón de diferencia de potencial.....	23

IV. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA METROLOGÍA	
ELÉCTRICA	27
A. Instituciones y acciones.....	27
1. Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR.....	27
2. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología	
Industrial ICAITI.....	28
3. Organización de Estados Americanos OEA.....	29
B. Características de los laboratorios de Metrología Eléctrica existentes	
en el país.....	31
1. Laboratorio de Metrología Eléctrica, Centro de Investigaciones de	
Ingeniería (USAC).....	31
2. Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA).....	35
3. Instituto de Electrificación Nacional (INDE).....	36
4. Laboratorio de Metrología Eléctrica del Instituto Centroamericano de	
Investigación y Tecnología (ICAITI).....	37
5. Sector Privado.....	38
6. Cartas de Trazabilidad de los laboratorios estudiados.....	39
C. Análisis de la situación de la Metrología Eléctrica en Guatemala.....	48
D. Diagnóstico de las necesidades de la industria guatemalteca en el área de	
Metrología Eléctrica.....	49
1. Descripción del diagnóstico.....	49
2. Discusión de los resultados del diagnóstico de Metrología Eléctrica en	
la industria guatemalteca.....	50
V. Requerimientos básicos de un laboratorio eléctrico en base a las necesidades	
de la industria guatemalteca.....	53

A. Requerimientos mínimos en la infraestructura de un laboratorio de Metrología eléctrica.....	53
1. Construcción.....	53
2. Ventilación.....	53
3. Requerimientos eléctricos.....	54
4. Requerimientos especiales.....	54
B. Equipo complementario no existente en Guatemala requerido para el Laboratorio de Metrología Eléctrica.....	54
1. Impedancia.....	55
2. Frecuencia.....	55
3. Varios.....	56
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
A. Conclusiones.....	57
B. Recomendaciones.....	58
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	60
VIII. APÉNDICES.....	61
A. Apéndice A: Inventario de los patrones y equipo de medición de los Laboratorios estudiados.....	62
B. Apéndice B: Muestra de la encuesta sobre metrología eléctrica utilizada en el diagnóstico industrial guatemalteco.....	83
C. Listado de las industrias guatemaltecas que conformaron la muestra del diagnóstico sobre metrología eléctrica.....	85
D. Resultados del diagnóstico de metrología eléctrica en la industria Guatemalteca.....	88
IX. GLOSARIO.....	101

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Cartas de trazabilidad de los laboratorios estudiados.....	

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Esquema del Sistema Internacional de Medidas.....	8
2. Esquema de un Organismo de Acreditamiento.....	11
3. Cuadro esquemático de los patrones nacionales e internacionales en un cuadro de trazabilidad de instrumentos de medición.....	17
4. Realización de las unidades de corriente y resistencia.....	21
5. Relación entre las unidades eléctricas, las unidades mecánicas y las constantes de campo.....	26

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo realizar un diagnóstico de la situación de la Metrología Eléctrica en Guatemala, así como dar a conocer la importancia del uso de la Metrología Eléctrica, sus ventajas y aplicaciones en el sector industrial guatemalteco.

Para esto, se llevó a cabo una investigación teórica y un trabajo de campo, el cual se dividió en dos partes: 1) Un inventario del equipo y patrones de medición eléctricos con los que cuentan los laboratorios de calibración existentes y 2) Un diagnóstico de la situación actual de la Metrología Eléctrica en una muestra del sector industrial guatemalteco.

En base a los datos encontrados en las dos actividades anteriores, se llegó a las siguientes conclusiones: 1) La metrología eléctrica en Guatemala se encuentra en un bajo estado de desarrollo debido a la falta de recursos humanos y económicos. 2) Inexistencia de una ley que regule la calibración y verificación de los instrumentos de medición eléctricos. 3) Existe poco conocimiento por parte del industrial guatemalteco, de la existencia de laboratorios nacionales que prestan los servicios necesarios para la calibración de instrumentos eléctricos. 4) Las instituciones estatales y de investigación prestan poca importancia a la Metrología Eléctrica como parte esencial de los requerimientos de sistemas de calidad modernos en la industria.

I. INTRODUCCIÓN

Las mediciones eléctricas son importantes para un país, ya que éstas no afectan solamente los aspectos comerciales de compra-venta de toda clase de productos, sino que también el desarrollo tecnológico industrial.

Es de mencionar que durante la Cumbre de las Américas, reunión que se llevó a cabo en diciembre de 1994, los gobiernos del hemisferio acordaron promover la reevaluación de la interacción que existe entre la infraestructura científica y tecnológica y los mecanismos de cooperación internacional y la utilización de los mecanismos multilaterales existentes en la región para apuntalar una amplia gama de intereses comunes de ciencia y tecnología, incluyendo una mejor capacitación técnica y la estandarización de la ciencia y la tecnología, incluidas la metrología y otras normas técnicas [1].

Hoy en día, se comprende que el bienestar económico de una nación y su capacidad industrial, no son posibles sin una adecuada técnica de medición. La exactitud de las mediciones es un factor importante en el desarrollo de un país, porque incide en la calidad de los productos fabricados, garantiza el correcto desenvolvimiento comercial y el mejor aprovechamiento de los recursos naturales del país. Esto ha sido importante siempre, sin embargo actualmente con el gran desarrollo tecnológico de Guatemala, la exactitud de las mediciones se torna absolutamente imprescindible ya que el grado de desarrollo de un país, está íntimamente ligado a la existencia de laboratorios o institutos nacionales de metrología.

En la actualidad, dada la existencia de mercados normados (como el de la Unión Europea, el TLC, etc.), las más recientes exigencias de calidad dentro del nuevo esquema de globalización de la economía y la formación de bloques comerciales, resulta imprescindible para el sector industrial, que su producción se conforme a normas aceptadas internacionalmente, mejorando así los potenciales de exportación. De esta forma, un sistema de aseguramiento metrológico bien establecido y trabajado en forma integral, hace posible el aumento de la productividad industrial, lo que a su vez facilita el proceso de desarrollo industrial y económico del país.

Las empresas, al contar con un sistema de aseguramiento metroológico en el campo de la electricidad, optimizan el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos de medición, los que proporcionan datos y resultados fehacientes con la mínima incertidumbre permisible para dichos equipos.

El establecimiento de un sistema de medición integrado y la creación de las condiciones previas para el desarrollo de la producción mediante normas industriales, será más urgente cuanto más complejas sean las relaciones económicas con los mercados internacionales. El desarrollo del sector productivo de Guatemala, necesita, entre otros aspectos, incrementar significativamente sus índices de calidad y de productividad para poder alcanzar un nivel competitivo internacional. Se debe contar con instrumentos de medición apropiados para asegurar la exactitud en las mediciones.

Aunque en Guatemala está legalizado el Sistema Internacional de Unidades, esto no es suficiente. Es indispensable contar con un laboratorio que sea operativo y que disponga de los patrones fundamentales, con un grado de exactitud adecuado al desarrollo industrial del país.

Debido a lo anteriormente descrito, este trabajo de graduación se ve encaminado a un análisis del estado de la metrología eléctrica en Guatemala; con qué equipos se cuenta y de qué manera se están cubriendo las necesidades del sector eléctrico guatemalteco. Ya que en la actualidad se está llevando a cabo una rápida evolución de la tecnología, el arte de medir se ve afectado positivamente, y debido a ello es importante que sean estudiados los nuevos sistemas y aparatos que se están desarrollando para una mejor precisión en las medidas.

Estos sistemas y modelos, deben ser estudiados y desarrollados para ser aplicados en la industria guatemalteca, la cual busca competitividad para mantenerse vigente en el mercado nacional e internacional.

Se pretende definir los patrones primarios y/o secundarios necesarios según los requerimientos específicos tanto del sector eléctrico como de la industria, pues ambos requieren la calibración de equipo eléctrico y electrónico para realizar sus labores de una manera más efectiva. Esto tendería a favorecer el desarrollo de los conocimientos científicos y tecnológicos a través de la modernización de los sistemas de medición eléctrica.

En Guatemala, las entidades estatales o privadas que poseen laboratorios de metrología eléctrica o algún tipo de instrumentos electrónicos para la medición eléctrica son muy pocas. Los únicos estudios que han sido realizados fueron: la creación del Laboratorio de Normalización Eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos [2], el diagnóstico realizado para el establecimiento de un Laboratorio de Mediciones Eléctricas y Calibración de Instrumentos [3], el cual contó con el soporte de la Organización de Estados Americanos (OEA) en 1972; el estudio para la creación de bases para la Normalización Eléctrica en C.A. realizado por el Ing. Rodolfo Koenigsberger en 1979; el realizado por el ICAITI en 1990, para la planificación del Laboratorio Regional de Metrología y finalmente, el diagnóstico metrológico industrial, financiado por la Comisión de las Comunidades Europeas que se realizó a lo largo de 1995, coordinado por medio de RE.TE (Asociación Italiana de Técnicos para la Cooperación y la Solidaridad Internacional) y avalado por el PTB (Instituto de Física y Metrología de la República Federal de Alemania). Este contó para el seguimiento efectivo de su realización, con un Comité Consultivo formado por representantes de la Cámara de Comercio y Cámara de Industria de Guatemala, ICAITI, USAC, y PTB. Dicho diagnóstico finalizó en marzo de 1996 y no cubrió el área de la Metrología Eléctrica, por lo que este trabajo se concibe como un complemento de aquel, pues se centró en las necesidades de la industria guatemalteca en el subsector eléctrico.

II. INTRODUCCIÓN SOBRE METROLOGÍA

A. Antecedentes

1. Sistemas de Medición.

Desde los inicios de la humanidad, el hombre comprendió en forma clara que estaba obligado a disponer de algo con qué medir. Para ello era necesario partir de una unidad de medida con la cual pudiera comparar la magnitud que deseaba medir: medición y así obtener un resultado: la medida [4].

Las primeras unidades de medida que se utilizaron fueron de origen antropomórfico: el pié, el codo, etc. Posteriormente aparecieron otras unidades múltiplos de las anteriores: la milla, el estadio, etc. La historia enseña cómo los pueblos y civilizaciones antiguas, comprendieron la importancia que la medida tenía en el desarrollo del comercio y le dedicaron especial atención a la creación de Patrones de Medida, los que fueron conservados cuidadosamente como elementos de referencia. Con esta estandarización, nacen los primeros conceptos que fueron la base para la creación de Sistemas de Medición.

Entre los sistemas de medición que existen, podemos mencionar a los siguientes como los más utilizados:

a. Sistema Métrico Decimal: En el año de 1790, Charles Talleyrand, diputado por el credo ante la Asamblea Nacional Francesa, propuso a ésta una unificación de los pesos y medidas existentes. El estudio fue delegado a la Academia de Ciencias de París, participando entre otros: Borda, Lagrange, Laplace, etc. La propuesta final de este estudio fue la de considerar como unidad de longitud a una diezmillonésima parte del arco meridiano que pasaba por París, a la que se le llamó “metro” [4].

En 1795, la Asamblea Nacional Francesa decretó el Sistema Métrico decimal con la nomenclatura de unidades y prefijos decimales correspondientes. Y en 1799, se constituyen los patrones del metro y el kilogramo.

En su origen, el Sistema Métrico Decimal comprendió las medidas necesarias para las transacciones comerciales. Sin embargo, con el desarrollo de la ciencia fueron descubiertas nuevas unidades físicas para las que eran necesarias nuevas unidades y por ello se dieron aportaciones al Sistema Métrico como el CGS (centímetro-gramo-segundo), el MKS (metro-kilogramo-segundo), el MKSA (metro-kilogramo-segundo-amperio) y otros.

b. Sistema Internacional de Unidades (SI): Fue establecido en la Décima Primera

Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada en 1960. El SI surgió como una ampliación del sistema MKSA del Sistema Métrico y de una encuesta sobre la opinión de científicos y técnicos [5].

El SI es un conjunto coherente de unidades divididas en 3 clases:

- 1) Unidades de Base o Fundamentales: Son las consideradas mutuamente independientes.
- 2) Unidades Derivadas: Son las que pueden formarse por combinación de unidades base.
- 3) Unidades Suplementarias: Contienen únicamente las unidades de ángulo plano y sólido.

Cuenta además con 16 múltiplos y submúltiplos decimales llamados prefijos [6].

c. Sistema Español de Medidas: No se conocen datos sobre los hechos que dieron lugar a este sistema de medidas. Se conoce con este nombre al sistema de medidas utilizado en Castilla, España y que fuera traído a América por los colonizadores. Actualmente no existe ningún patrón internacional de estas unidades y en 1982 España derogó este sistema y adoptó el SI.

d. Sistema Inglés de Medidas: Sistema originado en Inglaterra. No existen patrones internacionales para las unidades de este sistema. Actualmente, Inglaterra se encuentra en la transición para adoptar el Sistema Internacional de Unidades (SI).

2. Esquema de la Organización Internacional de la Medición

La organización de las mediciones a nivel internacional es relativamente reciente, en mayo de 1875 fue firmada en París la Convención del Metro, con la participación de 17 países. Esta convención instituyó para su funcionamiento los organismos siguientes:

a. Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM): Formada por los delegados de los Estados miembros de la Convención del Metro. Ellos son los encargados de dar los lineamientos necesarios para asegurar la propagación y desarrollo del SI y confirmar los resultados de nuevas determinaciones metrológicas fundamentales.

b. Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM): Su nivel es científico y técnico y no tiene representación de los Estados firmantes. Está compuesta por 18 personas, científicos y metrologos eminentes.

c. Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM): Constituye el organismo ejecutor de las decisiones del CGPM, bajo la supervisión del CIPM. Está compuesto por personal científico, técnico y administrativo. Su funcionamiento y el equipo de sus laboratorios metrológicos, están asegurados por las contribuciones de los países miembros. Una vez creado el BIPM, se dio inicio a los trabajos para crear los patrones internacionales del metro y del kilogramo, y de realizar copias de los mismos para proporcionárselos a los países firmantes de la Convención del Metro, los cuales deberían ser declarados como Patrones Nacionales de dichos países [7].

d. Sistema Interamericano de Metrología, SIM: El tema de la metrología surgió por primera vez en 1971 en la junta denominada Aplicación de la Ciencia y Tecnología en Latinoamérica, que se llevó a cabo en la ciudad de Brasilia. Posteriormente en una junta de representantes de países Latinoamericanos celebrada en 1972 en la ciudad argentina de Mar del Plata, se propuso y aceptó la creación de un Sistema Regional de metrología y Calibración (SIMYC). A continuación se realizó una reunión en el Instituto Nacional de Patrones y Tecnología de los Estados Unidos (NBS), con la participación de 11 países Latinoamericanos, para definir los objetivos, dirección, funciones, principios y la fundación oficial del SIMYC.

En agosto de 1975, en una junta realizada en Buenos Aires, Argentina, se trató la designación especial de un proyecto de metrología en el que los participantes fueron los Institutos de Pesas y Medidas de: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, México, Panamá, Paraguay y Uruguay. Se identificaron tres áreas de trabajo: Industrial, Científica y Legal en Metrología, siendo los coordinadores para estas áreas Argentina, Ecuador y México respectivamente. Como resultado de estas actividades se fundó en 1979 el Sistema Americano de Metrología (SIM) con la participación de 13 países de la región y con el apoyo de la OEA.

Entre los principales objetivos del SIM tenemos:

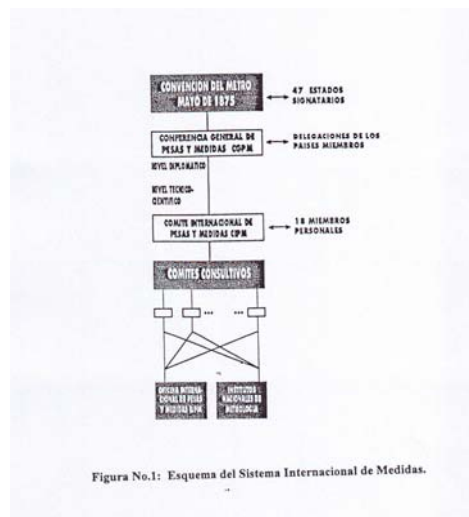
- Elevar los estándares de la metrología básica en cada país del hemisferio, creando o mejorando los centros nacionales del sistema de metrología.

- Alentar la competitividad y la calidad en el sector manufacturero y promover el intercambio comercial.
- Utilizar las pesas y medidas para promover la equidad en las transacciones comerciales.

En la actualidad, los países que conforman el SIM son los siguientes: NORAMET: Canadá, Estados Unidos y México; CAMET: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Panamá, Costa Rica y Belice; ANDIMET: Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia y Ecuador; SURAMET: Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Chile; CARIMET: República Dominicana, Granada, Jamaica, San Vicente y Granada, Antigua y Bermuda, Santa Lucía, San Kitts y Nevis, Barbados, Dominica, Guyana, Surinam, Trinidad y Tobago, Haití y Bahamas.

Cada uno de estos miembros, se clasifican de acuerdo a las siguientes categorías: Miembros Efectivos: la institución y/u organismo de cada país americano responsables de la custodia y mantenimiento de sus patrones nacionales o en su ausencia, el organismo responsable de la metrología legal reconocido por el consejo; Miembros Institucionales: otras instituciones de América que ofrezcan servicios regionales de metrología; y Miembros Observadores: países de otras regiones que manifiesten el deseo de cooperar con el SIM.

En la figura No. 1 se puede observar un esquema que nos indica la forma en que interactúan los organismos internacionales de metrología mencionados anteriormente.



B. Definición y Conceptos Básicos de la Metrología

La Metrología es el campo de los conocimientos relativos a las mediciones. Abarca todos los aspectos tanto teóricos como prácticos referentes a las mediciones, cualesquiera que sea su nivel de exactitud y cualesquiera que sean los dominios de la ciencia y la tecnología.

Existen ciertos términos metrológicos que serán utilizados a lo largo de este trabajo de graduación, por lo que la definición de cada uno de ellos se podrá encontrar en el glosario al final de este trabajo.

Los campos de la investigación científica que componen la metrología son los siguientes:

- 1) Investigación Paramétrica: Se ocupa de encontrar las características, los niveles o las constantes fundamentales que definen y hacen particular un fenómeno.
- 2) Establecimiento de un Sistema de Unidades: Debido a las interacciones paramétricas y el surgimiento de diversas unidades de medida, es necesario contar con un sistema coherente de unidades de medida que establezca el conjunto de definiciones. Ejemplo de ello es el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- 3) Desarrollo de Métodos de Medición: Con el desarrollo de la tecnología, se descubren nuevos parámetros y la necesidad de cuantificarlos, con lo cual se inicia la etapa de encontrar los métodos de medición y sus respectivas bases científicas.
- 4) Diseño de Instrumentos de Medición: Es en general, el diseño y materialización de algún artefacto o proceso para la cuantificación de las diversas unidades de medida, ya sea fundamentales o derivadas.
- 5) Homologación Metrológica: Es importante comparar tanto a nivel nacional como internacional, los patrones de medida para mantener la unificación llevada a cabo por la Metrología Científica, lo cual evita los desaciertos y mantiene en armonía el intercambio comercial y tecnológico.

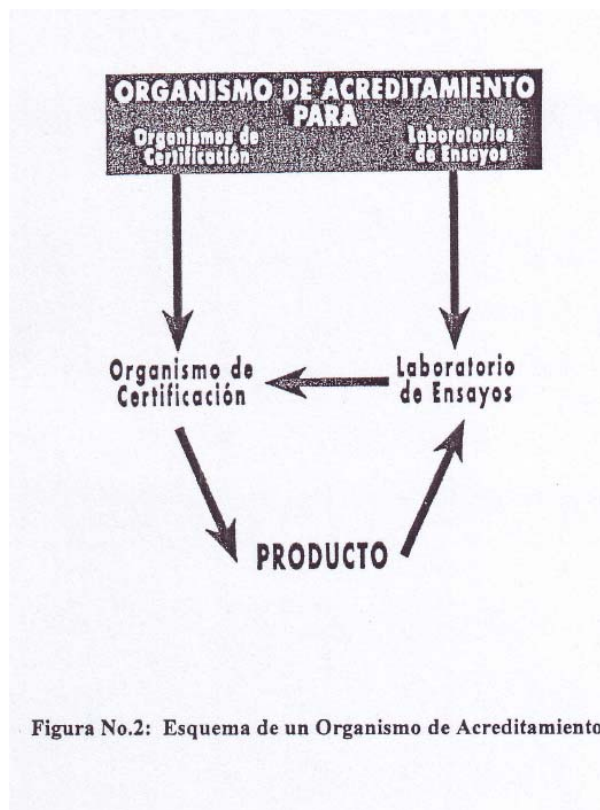
Los campos en los cuales puede aplicarse la Metrología y por ende todos sus conceptos básicos son:

- En el desarrollo científico y tecnológico, ya que la humanidad genera constantemente nuevos conocimientos y nuevas técnicas, las cuales se ven detenidas por las limitaciones que la medición descubre.
- En la transferencia de tecnología, ya que reproducir una elaborada tecnología requiere necesariamente mediciones y solo éstas podrán definir las características reales finales.

- En la normalización, pues en la creación de una norma se definen y especifican procesos, mediciones y características de productos en términos de cantidades y unidades de medida, por lo que la medición es la base sobre la que se elabora una norma.

10

- En el aseguramiento de la calidad, pues sólo se puede hacerlo midiendo cada uno de los parámetros de los diferentes elementos de control que se unen para la elaboración de un determinado producto. Para ello se necesita de la certificación de empresas, para lo que son necesarios organismos que asuman la tarea de la certificación. En la figura No. 2 se observa la interrelación entre los Organismos de Certificación, los Laboratorios de Ensayo y el producto final. Se pueden adquirir sistemas de control muy sofisticados, pero si no se miden con instrumentos confiables, sistemáticamente calibrados, todo es inútil resultando una deficiente calidad y pérdida de recursos.



C. Clasificación de la Metrología

Las tres grandes clases en las que se divide la Metrología son:

Metrología Científica:

Se basa en la investigación. Ayuda a la posesión, mantenimiento y custodia de los Patrones Nacionales e Internacionales; investiga a nivel nacional e internacional para la unificación de las unidades de medida y proporciona apoyo técnico-científico a todos los centros de investigación tanto en los instrumentos de medición como en la capacitación de su personal.

Metrología Legal:

Es el ámbito oficial de las mediciones. Es la encargada de velar por la uniformidad de medidas y unidades en el país. Es la encargada de garantizar el intercambio justo de mercancías en las diferentes industrias y de velar porque siempre haya disponibilidad de patrones trazables para la industria. Se encarga además de las leyes, reglamentos y directivas técnicas así como de la organización técnica oficial de la verificación.

Metrología Industrial:

Es la encargada de regular todas las actividades metrológicas que necesita la industria para cumplir con sus tareas tales como: informaciones como mediciones, calibraciones, rutas de trazabilidad de los instrumentos utilizados, información de los lugares donde se efectúa el servicio de calibración y el aseguramiento de la calidad [8].

D. Trazabilidad de las Mediciones

Según la Norma ISO 8402, trazabilidad es la capacidad para reconstruir la historia, la utilización o la localización de una entidad por medio de identificaciones registradas. En cuanto se refiere a la calibración, la trazabilidad se aplica a la forma de relacionar los equipos de medición a patrones nacionales o internacionales, a patrones primarios, a constantes físicas o propiedades básicas o a materiales de referencia.

Para respaldar un certificado de trazabilidad, se debe establecer un camino adecuadamente documentado. Esta documentación provee evidencia aceptable que se vuelve importante al utilizar servicios de calibración y al evaluar la trazabilidad de patrones usados. Los requerimientos de trazabilidad deben especificar un punto origen.

En otras palabras, lo que se genera a través de la documentación de la trazabilidad, es un árbol genealógico que garantiza que incluso los parientes lejanos o las calibraciones e más baja exactitud, están emparentadas con patrones confiables de los cuales se conoce la historia.

Las compañías de servicios están relacionadas con la exactitud y la trazabilidad y saben que los proveedores de productos o servicios también deben cumplir con estándares de calidad. Por ello es necesario que los proveedores de productos los documenten, de manera que una vez la información requerida ha sido documentada, el personal debe seguir el programa para asegurar los resultados de calidad [10].

Para lograr la consistencia en los procesos de calibración, se debe documentar la trazabilidad. Hay que escribir detalladamente los procedimientos de calibración de los equipos, explicar en qué normas o publicaciones se basan y sobre todo incluir la identificación más completa de los patrones de calibración, indicando a qué patrones de exactitud superior están referidos. Si no se puede garantizar la trazabilidad, la única forma de estar seguros de que las mediciones están correctas, dentro del grado de exactitud dado, es calibrando el instrumento a intervalos regulares, por medio de aparatos que sí cumplen las condiciones requeridas.

III. METROLOGÍA ELÉCTRICA

A. Historia de la Metrología Eléctrica

Las primeras etapas de la ciencia eléctrica fueron marcadas por observaciones cualitativas de los fenómenos. Las primeras observaciones fueron hechas en el campo de la electrificación por frotamiento, llevando esto al estudio de los efectos de las cargas en reposo, llamadas posteriormente electricidad estática. De estos estudios apareció el primer resultado cuantitativo el cual expresaba la fuerza entre dos cargas: La ley de Coulomb.

La producción de un flujo constante de corriente eléctrica, fue posible debido al descubrimiento de la pila voltaica por Volta en 1800. Durante los siguientes años, se observó una gran actividad relacionada con el uso de la corriente eléctrica en diversas formas, incluyendo los experimentos electroquímicos y la producción de efectos magnéticos. El estudio cuantitativo de los circuitos eléctricos se originó en 1827, cuando Ohm expresó la ley que hoy lleva su nombre. Ohm expresó el hecho de que la magnitud de corriente fluyendo a través de un circuito, depende directamente de la fuerza electromotriz e inversamente de una propiedad a la que dio el nombre de resistencia. Valores relativos de corriente pudieron ser determinados por medio de una brújula y una bobina (galvanómetro de tangente), pero la constante de proporcionalidad de dicho instrumento, dependía de sus dimensiones del cambio magnético terrestre (variable), por lo cual ninguna constante pudo ser determinada en forma generalizada. Una unidad de resistencia usualmente consistía en un alambre de cobre o hierro de longitud arbitraria que dependía de lo que el trabajador tenía a la mano en ese momento [11].

Pronto fue evidente que las unidades eléctricas debían estar relacionadas con las unidades mecánicas de longitud, energía, etc. Gauss tomó el primer paso en esta dirección en 1832 cuando midió la componente horizontal del campo magnético terrestre en términos de la longitud, masa y tiempo.

Kohlrausch, en 1849, midió resistencias en términos de las unidades mecánicas. Weber dio una importante contribución en 1851 con su propuesta de un sistema completo de unidades eléctricas basadas en unidades mecánicas. Sus principios son la base del sistema que usamos en la actualidad.

B. Unidades y Patrones Eléctricos

Existe una diferencia entre una unidad definida teóricamente y un patrón usado para propósitos de medición. Las unidades definidas comienzan con una cantidad que se considera como la más conveniente para establecer un sistema completo y lógico. La medición, por otro lado, se preocupa del establecimiento de patrones estándares que puedan ser utilizados en el laboratorio para poder determinar las cantidades usadas comúnmente en el trabajo práctico, tales como resistencia, corriente, etc. Es natural que para obtener ambas se sigan dos secuencias diferentes.

Un sistema de medidas se basa en convenciones internacionales que definen las diferentes unidades fundamentales. Estas inherentemente son exactas por ser definiciones teóricas. Sin embargo es necesario hacer una realización física de las mismas para que pueda servir como un patrón o estándar de comparación. Se define así un patrón como un instrumento de medición destinado a definir o materializar, conservar o reproducir la unidad de medida de una magnitud (o un múltiplo o submúltiplos de esta unidad) para transmitirla por comparación a otros instrumentos de medición.

Los patrones se pueden clasificar en cuatro niveles, los cuales son componentes de un esquema jerárquico nacional:

Nivel 1: A este nivel se encuentra el patrón primario, relativo a una determinada magnitud, que presenta las más altas cualidades metrológicas en un determinado campo. La calidad del patrón primario es válida tanto para las unidades de base, como para las unidades derivadas y en ningún caso se utiliza directamente para mediciones. Únicamente se utiliza para ser comparado con los patrones secundarios.

Nivel 2: A este nivel se encuentran los patrones secundarios cuyo valor está fijado por comparación directa o indirecta con un patrón primario. Estos se utilizan en los laboratorios de calibración, ya sean estatales o privados. Un patrón secundario puede ser utilizado para calibrar patrones con un menor orden de exactitud. Si ésto ocurre, se le designa como un patrón de referencia.

Nivel 3: En este nivel están los patrones de trabajo de tercer orden, obtenidos por comparación con un patrón secundario. Estos patrones pueden diferenciarse de los patrones de referencia ya sea por su forma o su diseño, facilitando así su traslado y reduciendo sus costos. Se destinan a verificar en la industria, los instrumentos de medición comunes de menor precisión.

Nivel 4: En este nivel se encuentran los patrones de trabajo obtenidos por comparación con un patrón de trabajo de tercer nivel considerado como patrón de referencia. La exactitud de estos patrones es frecuentemente suficiente en varios sectores de la industria.

La forma en que estos patrones se relacionan, se puede observar en la figura No. 3 donde notamos el cuadro esquemático de la trazabilidad correcta de instrumentos de medición. En la base de la pirámide, se puede observar que se encuentran los instrumentos de medición que son comparados con los patrones de trabajo que existen en la industria en general. Estos patrones a su vez, se verifican por medio de los patrones de referencia, los cuales se encuentran en los laboratorios de calibración, llegándose a sí a los patrones nacionales guardados en el Instituto Nacional Metrológico hasta llegar a los patrones internacionales que en este caso operan en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). Esto a la vez nos da una idea clara de una ruta de trazabilidad correcta de los instrumentos de medición.

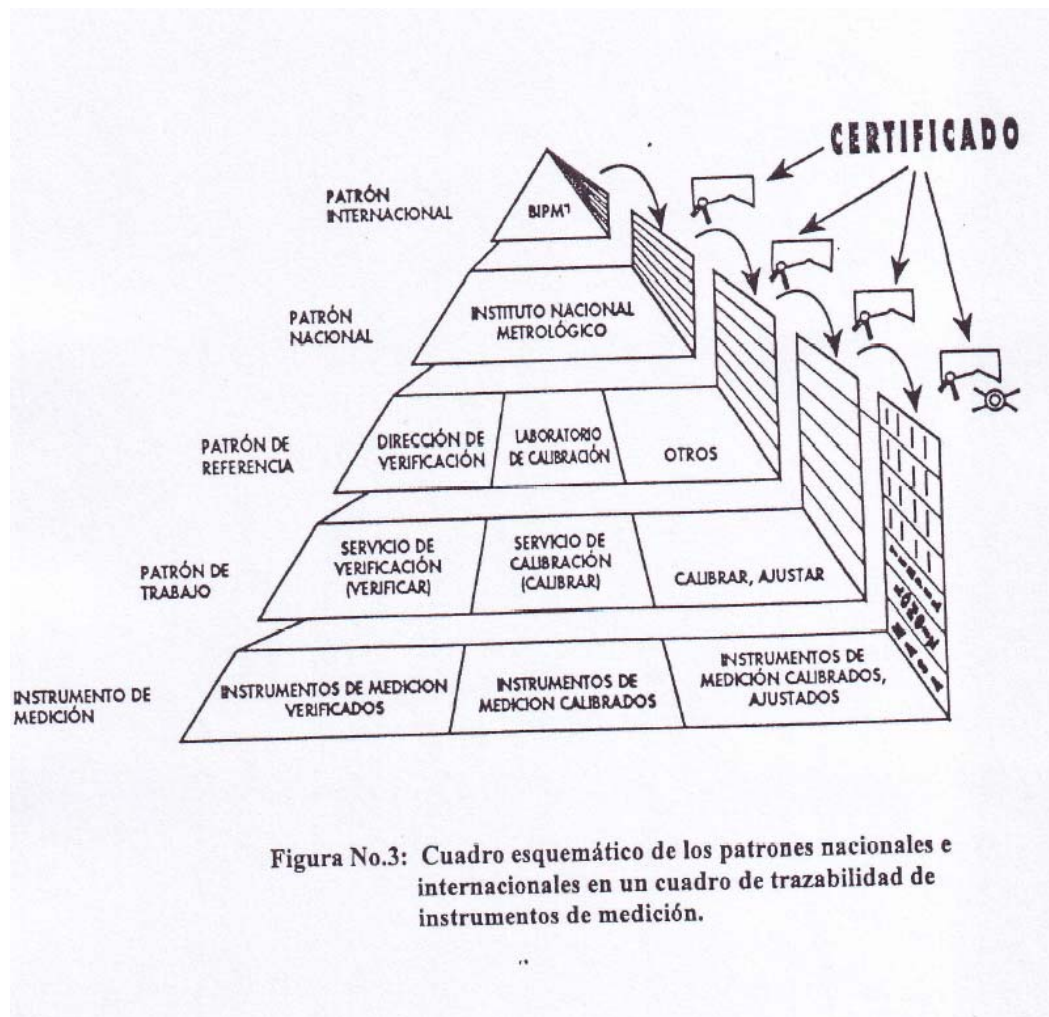


Figura No.3: Cuadro esquemático de los patrones nacionales e internacionales en un cuadro de trazabilidad de instrumentos de medición.

C. Desarrollo de los Patrones de Resistencia, Corriente y Voltaje

1. Patrón de Resistencia

En 1861, la Asociación Británica para el avance de la Ciencia, nombró un comité para establecer patrones de resistencia. Este comité es famoso por sus miembros, destacándose entre ellos: Maxwell, Joule, Lord Kelvin y Wheatstone. Ellos realizaron un estudio sobre los posibles sistemas de unidades y decidieron usar las ideas de Weber sobre el electromagnetismo, las cuales se basaban en el sistema centímetro-gramo-segundo de unidades mecánicas. Decidieron que la unidad práctica de resistencia debía ser igual a 10^9 unidades electromagnéticas absolutas y posteriores estudios para establecer los patrones de trabajo, concordaron con esta elección. La unidad de la Asociación Británica, anunciada en 1864 y posteriormente difundida profusamente, consistía en un alambre hecho de una aleación de platino con plata en forma de espiral, sellado en un contenedor lleno de parafina. Esta construcción estaba realizada para proteger el alambre y darle un alto grado de permanencia. Esta unidad fue usada como patrón por casi dos décadas.

La unidad práctica de resistencia, el ohmio, ha sido igual en teoría, a 10^9 abs. e.m.u. desde entonces. La magnitud de la unidad que usamos en la actualidad, fue cambiando con el tiempo debido a la nueva tecnología desarrollada.

El ohm de la Asociación Británica fue catalogado en el momento de su introducción en 1864 como una realización exacta de los 10^9 abs. e.m.u. Sin embargo, en 1878, Rowland anunció que la unidad estaba errada por cerca de un 1.5%.

Posteriormente, en un congreso internacional en París en 1884 se decidió basar el ohm en un patrón reproducible, consistente en una columna de mercurio de 106 cm. de largo y de 1 mm^2 de sección transversal, medida a 0°C . El mercurio fue elegido, porque era posible su reproducción en su forma más pura, por medio de destilaciones repetidas. La unidad así definida fue llamada el “ohmio legal”.

El congreso de Chicago en 1893, cambió la longitud a 106.3 cms y especificó el peso de la columna en 14.4521 gramos. Esta unidad fue generalmente adoptada y fue llamada el “ohmio internacional”.

El “ohmio de mercurio” fue la base legal para las mediciones en muchos países durante varios años. Fue adoptado porque al principio pareció fácil reproducirlo para los laboratorios alrededor del mundo. El mercurio tiene la ventaja de ser independiente de esfuerzos residuales y el ser purificable hasta un grado máximo. Es en estos dos aspectos en que es superior al alambre de hierro y al de cobre, pues la resistencia de ambos es fácilmente afectada por pequeñas cantidades de impurezas y por esfuerzos residuales. Pero en uso práctico, el ohmio de mercurio fue una gran desilusión debido a la imposibilidad de obtener con él resultados exactos. Hubo problemas debido al coeficiente de temperatura bastante grande, contaminación del mercurio por los electrodos, etc. La mayor dificultad se dio en la manufactura de los tubos de vidrio que debían ser rectos y uniformes para llegar al grado requerido de exactitud. También se encontró que una ondulación en el eje del tubo por un valor tan pequeño que no era posible observarlo con el ojo, podía producir un aumento en la resistencia de la columna de mercurio de 30 o más partes por millón. Debido a ello, el ohmio de mercurio fue poco utilizado.

Posteriormente, se hicieron estudios para lograr la determinación en forma absoluta del ohmio. Absoluta se refiere a la medición en términos de las unidades básicas: longitud, masa y tiempo. Muchos métodos han sido creados para este propósito. Todos ellos hacen uso de un conductor rotativo o de un conmutador cuya velocidad debe ser conocida, introduciendo así el elemento tiempo. Las determinaciones del ohmio absoluto, se desarrollaron tanto en un período corto de tiempo que llegaron a ser más confiables que las de mercurio.

Las mediciones absolutas, que comenzaron en 1912, indicaron que el valor elegido para el ohmio internacional era mayor que el 10^9 dicho. Definido en términos del ohmio de mercurio, parecía que la longitud de la columna debía haber sido 106.245 cm., en lugar de 106.300 cm., de manera que el ohmio internacional era mayor que el ohmio absoluto por 0.05%.

Esta diferencia, se hizo de más y más importancia a medida que las mediciones se realizaron con mayor exactitud. Varias relaciones y fórmulas fueron derivadas de las unidades absolutas por lo que requirieron un factor de corrección en el momento en que las unidades internacionales fueron utilizadas en el trabajo experimental.

La década de 1930-40 vió mucha actividad en forma de reuniones del comité internacional y en nuevas mediciones absolutas realizadas en el Comité Nacional de Patrones de los Estados Unidos (NBS) y en otros laboratorios. El Comité Internacional de Pesas y Medidas acordó cambiar el valor del ohmio así como el de otras unidades a nuevos valores, el 1ero. de enero de 1940. El advenimiento de la guerra pospuso su puesta en práctica y fue hasta 1948 cuando finalmente se utilizó en la práctica.

La realización física del ohmio se hace actualmente por intermedio de la unidad de capacitancia. El picofaradio se determinó en función de la constante de permitividad eléctrica y la longitud del capacitor solamente. Este método se base en un teorema de la Electrostática establecido por Thompson y Lampard que nos dice que las capacidades longitudinales C_1 y C_2 de un cilindro hueco de longitud infinita y cuya superficie está dividida en cuatro partes, son independientes de las dimensiones seccionales siempre que estas partes estén aisladas entre sí por medio de ranuras de espesor infinitesimal.

Haciendo uso de puentes de corriente alterna y de comparadores, se logra igualar la reactancia capacitiva, con la resistencia en corriente directa y escalarla hasta un ohmio con una incertidumbre total de 1×10^{-7} .

Un esquema de la realización de las unidades de resistencia y capacitancia, se puede observar en la figura No. 4.

A partir del 1 de enero de 1990 fue adoptado un nuevo patrón basado en el efecto cuántico de Hall, que coincide con el valor del ohmio en el sistema SI dentro una incertidumbre de 0.2 ppm.

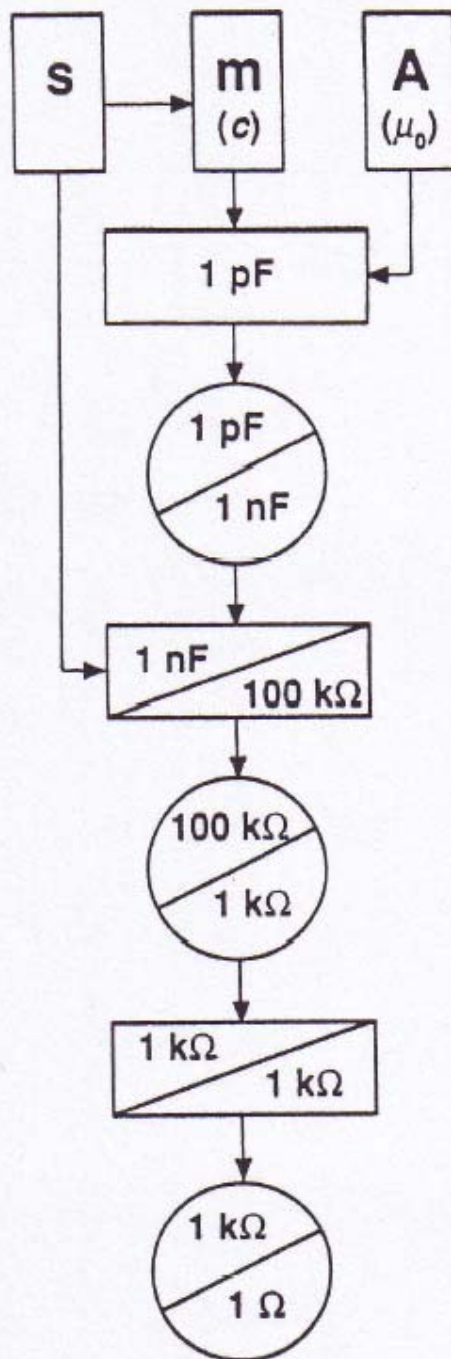


Figura No.4: Realización de las unidades de corriente y resistencia.

2. Patrón de Corriente

Las primeras mediciones de corriente fueron hechas por medio del galvanómetro de tangente en términos del campo eléctrico y magnético. Esto fue insatisfactorio para propósitos de exactitud debido a la variabilidad del campo terrestre y por la interferencia ocasionada por circuitos cercanos. Mediciones absolutas de corriente, fueron realizadas por medio de la fuerza entre conductores por medio de un balance de corriente o electrodinómetro, pero era deseable el adoptar un patrón reproducible que pudiera ser utilizado en cualquier lugar. Se decidió definir al amperio para propósitos de medición por medio de la precipitación de un metal proveniente de una solución. El metal seleccionado fue la plata como precipitación de una solución de referencia de nitrato de plata. Antes de 1880, los resultados eran exactos hasta un 1%, pero para 1900 esto había mejorado hasta un 0.1%. La exactitud aumentó debido al refinamiento de los electrodos, del método utilizado para pesar, etc. El amperio internacional fue definido por la Conferencia de Londres, que se llevó a cabo en 1908, como la corriente que deposita plata a una velocidad de 0.00111800 g/seg. desde una solución patrón de nitrato de plata.

La celda electrolítica, llamada el voltímetro de plata, consiste en un ánodo de plata, solución de nitrato de plata y una taza de platino como el cátodo dentro del cual se crea el depósito de plata. Se debe tener mucho cuidado en evitar que cierta “liga” que se forma en el ánodo llegue hasta el cátodo donde puede causar una falsa indicación de peso. En un tipo de voltímetro, el ánodo se envuelve con papel filtro para prevenir que la liga llegue al cátodo. El voltímetro de plata no es utilizado hoy en día, debido a una mayor exactitud en las medidas absolutas de la corriente y mayor confiabilidad de las celdas patrón.

La definición del amperio por medio de la acción electrolítica, es estrictamente un procedimiento de calibración a realizar, sólo en laboratorios de metrología y no como un método de trabajo para la práctica diaria. Este requiere mucho control en todos los aspectos, incluyendo la solución, el peso del electrodo, etc.

Las mediciones absolutas del amperio son realizadas por medio de una balanza de corriente en el cual se igual con masas la fuerza de repulsión producida por la corriente al pasar por dos bobinas acopladas. Una fórmula para la fuerza entre las bobinas, puede ser derivada de consideraciones teóricas en términos de la corriente y de las dimensiones de las bobinas. El trabajo experimental envuelve las tres unidades fundamentales: masa, longitud y tiempo, en el sentido que la masa equilibrada debe ser trasladada a unidades de fuerza por medio de la aceleración de la gravedad, lo cual envuelve unidades de tiempo.

3. Patrón de Diferencia de Potencial

La Conferencia de Londres de 1893, definió los patrones de resistencia y corriente en base a patrones concretos. Debido a ello, definieron la unidad de fem como el voltio internacional. El voltio internacional es la diferencia de potencial producida por un amperio internacional que fluye a través de un ohmio internacional.

La idea de una celda de voltaje de cualquier clase a utilizar como un patrón de fem comenzó con los estudios de Daniell. La celda de Daniell consistía en electrodos de cobre y zinc y utilizaba como soluciones, el sulfato de cobre y el sulfato de zinc. Esta celda fue utilizada por algún tiempo, pero luego fue abandonada debido a que la fem no era constante y por su corta vida. Latimer Clark en 1873, introdujo una celda que poseía una amalgama de zinc y mercurio como electrodos y sulfato de zinc como su solución. Esta mostró una mayor consistencia en el valor de la fem pero daba problemas muy frecuentemente debido a rajaduras en el vidrio alrededor de los cables de entrada.

En 1892, Weston produjo una nueva celda, similar a la de Clark, excepto por el hecho que reemplazó el zinc por cadmio. Este cambio eliminó muchos de los problemas anteriores y produjo una celda que llegó a un importante grado de constancia del valor de la fem sobre largos períodos de tiempo [12].

Después de algunos valores preliminares con esta nueva celda, y debido a la recomendación de la Conferencia de Londres, un Comité Técnico Internacional se reunió en Washington en 1910 y realizó extensivas mediciones con la celda de cadmio. Como resultado de su trabajo, el valor de 1.01830 voltios fue asignado a la celda, permaneciendo este valor hasta el cambio a los valores absolutos de las unidades en 1948. El Comité Nacional de Patrones de los Estados Unidos (NBS) (hoy llamado Instituto Nacional de Patrones y Tecnología NIST) y otros laboratorios nacionales, mantuvieron una gran cantidad de estas celdas, haciendo cada laboratorio comparaciones frecuentes entre sus propias celdas y con las de los demás laboratorios. Cualquier celda que mostrara una desviación considerable de su fem en comparación con la fem promedio, era removida del lote. Las viejas celdas también eran comparadas con las nuevas.

La principal limitación en el uso de las celdas, es que no se puede extraer un flujo de corriente apreciable y aún las corrientes pequeñas sólo pueden fluir por pocos segundos. Es difícil poner un límite de corriente ya que el daño es proporcional tanto a la intensidad de la corriente como del tiempo en el que fluye. La limitación en la corriente, significa que las mediciones deben realizarse con un potenciómetro o cualquier otra clase de dispositivo de circuito abierto.

A partir de 1972, varios países han adoptado el patrón de Junta Josephson, por tener un mayor grado de reproducibilidad.

El efecto Josephson se basa en que, cuando dos superconductores se acoplan débilmente (como una barra de óxido) y se irradian con microondas, la combinación exhibe una relación de voltaje a corriente, con escalones de voltaje constantes. Este voltaje está dado por la ecuación:

$$V = nfh/2e$$

en donde,

f es la frecuencia de la microonda,

h es la constante de Planck,

e la carga del electrón y

n el número de escalones desde el origen

Por lo tanto, $h/2e$ constituye una constante de proporcionalidad entre la frecuencia y el voltaje en cada escalón.

Esta relación no se ha podido determinar con una incertidumbre menor de 1×10^{-7} , por lo que internacionalmente se convino en aceptar el valor de 483593.42 GHz/V, a partir del año 1976. Esto facilita la diseminación de la unidad de voltaje con una incertidumbre de 1×10^{-9} .

A partir del primero de enero de 1990, este valor fue cambiado a 483597.9 GHz/V, lo que equivale a un aumento de 9.264 ppm con respecto al valor anterior. Esto afecta al amperio por 7.57 ppm y al vatio por 16.84 ppm. Los valores de voltaje que se obtienen, son del orden de los milivoltios, los cuales se elevan a 1 voltio por medio de técnicas potenciométricas y así compararlos con las celdas patrón.

Actualmente, se está desarrollando una nueva técnica para determinar un patrón de voltaje, la cual trata de determinar el coeficiente del momento magnético y el spin, que es la frecuencia de precesión de los protones, que se pueden relacionar con la corriente magnética.

En la figura No. 5 se puede observar la relación que existe entre las unidades eléctricas, las unidades mecánicas y las constantes de campo. El valor numérico de la constante del campo magnético μ_0 , se encuentra en la definición del amperio. Así como el valor numérico de la velocidad de la luz c ha quedado establecida por la definición del metro de acuerdo a la relación de Maxwell ($\mu_0 \times \epsilon_0 \times c^2 = 1$), el valor numérico de la constante del campo eléctrico ϵ_0 también queda determinado. Además, el producto de las constantes fijas μ_0 y c tiene las dimensiones de la resistencia.

IV. Análisis del estado actual de la Metrología Eléctrica en Guatemala

A. Instituciones y acciones

1. Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR

Dependencia del Ministerio de Economía encargada de dirigir, coordinar y unificar las actividades y la política del país en materia de fijación de normas. Dentro de las normas existentes en la COGUANOR, hay algunas con temas eminentemente metrológicos (aún cuando la mayoría de normas lleva tácita la Metrología para su elaboración), que fueron adoptadas con base en una actualización o una necesidad nacional inmediata, no basadas en estudios sistemáticos que dieran lugar a las mismas.

A mediados de 1985, el Secretario General de la COGUANOR presentó la reformulación de un proyecto de Metrología ante la Organización de Estados Americanos OEA, proyecto que dio inicio en diciembre de dicho año. En mayor de 1987, fue entregado este proyecto a la COGUANOR para que ésta continuara con su administración. A la fecha, se han realizado actividades como:

- a) Establecer los programas nacionales sobre Metrología.
- b) Coordinar el establecimiento, uso y aplicación de los Patrones Nacionales, de las unidades legales, así como de los Patrones secundarios necesarios.
- c) Dictar las normas de unificación de las unidades utilizadas en la industria, comercio, salud, investigación y demás actividades relativas a las medidas.
- d) Dictar las normas obligatorias de aprobación de modelo, calibración, comprobación, verificación y demás actividades propias del Departamento de Metrología, así como velar por su cumplimiento.

Cuenta con patrones y equipo auxiliar primario y posee además equipo moderno para la medición de la resistencia dieléctrica del aceite, para la medición de resistencias de aislamiento y resistencia a la tierra [14].

El objetivo principal de este laboratorio, es prestar servicio a la industria, universidades y otras instituciones, por lo tanto no es lucrativo y las tarifas establecidas son para cubrir los gastos de operación.

Dentro de sus actividades podemos mencionar las siguientes:

- a) Calibración de patrones secundarios de voltaje de corriente alterna y directa, frecuencia, resistencia, inductancia, capacitancia, potencia y energía.
- b) Calibración de instrumentos comerciales como voltímetros, amperímetros, ohmetros, puentes, vatímetros, contadores eléctricos monofásicos y trifásicos, etc.
- c) Calibraciones de termómetros y termocuplas.
- d) Otras mediciones de precisión: Resistencia de cables, aislamiento de tierras, mediciones dieléctricas del aceite de los transformadores, etc. [15].

2. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial ICAITI

Es el organismo regional para la verificación y calibración de patrones de medida. Cuenta con profesionales y científicos entrenados en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania.

El programa de metrología del ICAITI, cuenta con el respaldo de un moderno laboratorio de metrología en el cual funcionan los laboratorios de masa, temperatura, presión, volumen, viscosidad, densidad y fuerza. Actualmente se está en la fase inicial de la implementación del laboratorio de electricidad.

El ICAITI a través de los laboratorios de metrología, contribuye al desarrollo de la región centroamericana, implementando el sistema de aseguramiento metrológico mediante las siguientes actividades básicas:

- a) Asesoría Técnica: Incluye la asistencia en el desarrollo del aseguramiento metrológico, asesoría para la compra y puesta en marcha de equipo y programas de medición adecuados, solución de problemas específicos cuando se requiera medir algún parámetro y la aplicación de normas o estándares nacionales e internacionales.

b) Certificación y verificación de equipos de medición: A través de esta actividad, se brinda a la industria y al comercio la posibilidad de certificar sus instrumentos o equipos conforme a normas o estándares internacionales, con el fin de contar con equipos confiables en los procesos productivos y en las transacciones comerciales.

c) Capacitación y entrenamiento: Se realizan actividades para desarrollar las habilidades necesarias para la implementación de un sistema de control metrológico. A través de seminarios introductorios y cursos prácticos en los laboratorios del ICAITI y en las empresas, se pretende inducir al empresario hacia un concepto modernista del aseguramiento metrológico y por ende del aseguramiento de la calidad.

d) Investigación y desarrollo: Investigación de nuevos sistemas y modelos que influyen en la precisión de las mediciones. Estos sistemas y modelos deben ser estudiados y desarrollados para ser aplicados en la industria centroamericana, la cual busca continuamente competitividad para mantenerse vigente en el mercado nacional y mundial.

e) Promoción y divulgación: A través del intercambio de información, se estimula el intercambio de conocimientos y experiencias en el área metrológica, entre los sectores productivos, educativos y científico-tecnológicos de la región. El ICAITI fomenta la formación de oficinas de verificación nacionales y de calibración privadas, para promover y coordinar los esfuerzos nacionales, regionales e internacionales en pro del mejoramiento de la región [16].

3. Organización de Estados Americanos OEA

Organismo regional que tiene dentro de sus objetivos el desarrollo científico-tecnológico, de educación de ciencia y cultura para los países miembros. Dentro del aspecto científico-tecnológico, la OEA aprobó en septiembre de 1985, el financiamiento del proyecto de implementación del Departamento de Metrología, coordinado por la Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica SEGEPLAN a ejecutarse por medio de COGUANOR.

Dentro de las actividades llevadas a cabo en este lapso de tiempo cabe mencionar:

- a) Estudio regional del estado de la Metrología Eléctrica realizado por el Ing. Rodolfo Koenigsberger en 1969 en la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- b) Financiamiento del estudio sobre Metrología Eléctrica realizado por el Dr. Héctor Nava Jaimes en 1973.
- c) Financiamiento de los aparatos de medición y calibración eléctricos que se encuentran en el Laboratorio de Metrología Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala en 1975.
- d) Elaboración, impresión y distribución de calendarios de bolsillo con factores de conversión de unidades comunes al SI en el reverso, boletines ógicos y tablas de Factores de Conversión Oficial.
- e) Elaboración de la tabla de Factores de Conversión Oficial
- f) Elaboración de proyecto de Norma COGUANOR NGO 4013, Vocabulario de los Términos Fundamentales y Generales de Metrología.

En diciembre de 1994 se llevó a cabo la Cumbre de las Américas, en la cual los presidentes de los países de América emitieron una Declaración de Principios, para fomentar la integración económica y el libre comercio a través de la reducción de barreras técnicas y la promoción de programas de cooperación técnica sobre metrología y normalización. De esta manera la Organización de Estados Americanos (OEA) recibe el mandato de apoyar todos aquellos proyectos que conlleven al establecimiento de una Zona de Libre Comercio a Nivel Continental. Debido a ello una de las acciones que toma prioridad en la OEA es el apoyo al resurgimiento del Sistema Interamericano de Metrología (SIM). Posteriormente, la OEA convocó a una reunión de coordinación en la ciudad de Río de Janeiro en enero de 1995, a donde asistieron 35 países y durante la cual se propuso un proyecto para reorganizar y revitalizar el SIM, el cual desde entonces trabaja por el fortalecimiento e integración de las capacidades productivas del Continente, tal como se indica en la sección 2 inciso d.

B. Características de los laboratorios de Metrología Eléctrica existentes en el país.

Para la primera parte del trabajo de campo se llevó a cabo un análisis de los diferentes laboratorios de Metrología Eléctrica existentes en Guatemala. Estos laboratorios fueron escogidos en base a la investigación bibliográfica y entrevista con diferentes personas del ámbito metrológico, las que permitieron conocer cuáles eran las instituciones que cuentan con instrumentos y patrones de medición eléctricos.

Posteriormente, se realizaron visitas a las instituciones escogidas, con el propósito de conocer los servicios que ofrecen a la industria y realizar un inventario del equipo de medición y patrones eléctricos existentes en cada una de ellas, y finalmente en base a la información recabada, se realizaron cartas de trazabilidad de las diferentes magnitudes eléctricas.

Las instituciones estudiadas fueron las siguientes:

- 1) Laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería (USAC)
- 2) Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA)
- 3) Instituto de Electrificación Nacional (INDE)
- 4) Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI)
- 5) Empresas Privadas

1. Laboratorio de Metrología Eléctrica, Centro de Investigaciones de Ingeniería (USAC)

Tal y como se explicó en la sección IV.A, el objetivo fundamental del laboratorio de Metrología Eléctrica, es brindar servicio a la industria privada y gubernamental del país.

Los servicios específicos que presta a la industria se resumen en la siguiente lista:

- a) Calibración de patrones secundarios con certificación
 - 1) Celdas patrones
 - 2) Patrones de Voltaje o Voltímetros de DC
 - 3) Amperímetros de DC
 - 4) Patrones de voltaje o voltímetros de AC
 - 5) Amperímetros de AC
 - 6) Vatímetros de AC
 - 7) Patrones Rotativos
- b) Calibración de Instrumentos Comerciales
 - 1) Voltímetros y amperímetros
 - 2) Vatímetros y contadores monofásicos
 - 3) Vatímetros y contadores trifásicos
 - 4) Multímetros analógicos
 - 5) Multímetros digitales
 - 6) Megger de tierras
- c) Otras calibraciones y mediciones
 - 1) Relaciones de vueltas de transformadores monofásicos y trifásicos
 - 2) Resistencia dieléctrica de aceite
 - 3) Medición de resistencias, inductancias y capacitancias
 - 4) Contadores de frecuencia
 - 5) Verificación de termocuplas
 - 6) Calibración de instrumentos de indicación de temperaturas
 - 7) Aislamiento de cables
 - 8) Rigidez dieléctrica de aceite de transformador
 - 9) Medición de tierras físicas
 - 10) Medición de resistividad del suelo

Para proporcionar estos servicios, se cuenta con dos patrones independientes: voltaje y frecuencia así como varios patrones secundarios de resistencia, inductancia y capacitancia. La relación existente entre los patrones existentes se ha diagramado en cartas de trazabilidad.

Tal como se observa en la carta de trazabilidad No. 1 para las magnitudes de voltaje y frecuencia, el patrón primario está constituido por una referencia de voltaje de 1 celda Weston saturada con una precisión de 0.0001% (trazado por última vez en 1982), que junto a su equipo auxiliar (potenciómetro primario de 7 diales, divisor de voltaje y calibrador de voltaje) permiten generar voltajes DC de 0.01V a 1 kV con una precisión de 0.2% y puede medir voltajes DC en el rango de 0 a 1 MV con una precisión del 0.001%. Hay que hacer notar que este último valor es la última precisión que se tiene certificada, por lo que en la actualidad la precisión de este voltaje no es conocida.

Para la magnitud de voltaje, en la actualidad se encuentra en el ICAITI un patrón electrónico de voltaje DC/AC, el cual en estos momentos es el patrón regional con una incertidumbre certificada de 0.0002%, siendo en este caso el ICAITI el laboratorio de referencia de la Universidad de San Carlos para la magnitud del voltaje.

El patrón de voltaje auxiliado por una caja paralela (shunt) de voltaje y de corriente, puede generar corriente DC desde 10mA a 5^a y realizar mediciones en el rango de 0 a 15 amperios con una precisión de 0.2 y 0.02% respectivamente.

Para la calibración de instrumentos comerciales (voltímetros, amperímetros, multiprobadores, etc.) se utiliza un Calibrador de Instrumentos que a su vez es recalibrado contra un patrón de transferencia AC/DC y una patrón de voltaje AC, pudiendo generarse voltaje AC de 0.01V a 1kV (0.2% de precisión), corriente AC de 10mA a 5A (0.2% de precisión) y realizarse mediciones de voltaje AC en los rangos de 0.5 a 1kV (0.02% de precisión) y corriente AC en el rango de 0 a 15A (0.04% de precisión).

Los patrones secundarios de frecuencia se calibran por medio de un Patrón Receptor-Comparador VLF con una precisión de 0.001%. Los instrumentos comerciales se verifican con un contador electrónico y con un generador de frecuencia, llegando a generarse frecuencias de 20Hz a 2MHz con 0.1% de precisión y a medirse frecuencias de 0 hasta 50 MHz con una precisión de 0.01%.

Se puede observar también que por medio del patrón rotativo del 2% de precisión se mide potencia en el rango de 0.12 a 3kW.

En la carta de trazabilidad No.2 se observa que las mediciones se verifican por medio de un receptor/comparador VLF que a su vez puede ser recalibrado contra voltaje y corriente. Por el momento esto sólo se puede hacer con un factor de potencia unitario, por no disponer todavía de un equipo de medición preciso del ángulo de fase.

La carta de trazabilidad No.3 para el parámetro de resistencia eléctrica, se observa que se cuenta con dos resistencias patrón, una tipo Thomas con un valor de 1Ω y otra de $10\text{ k}\Omega$, ambas con una precisión del 0.005%.

Con la ayuda de instrumentos auxiliares tales como décadas de resistencias y puentes de resistencias, se puede llegar a medir resistencias en el rango de $0.5\mu\Omega$ a $10\text{ M}\Omega$, con diferentes grados de precisión que se encuentran entre el 0.05% al 2%, dependiendo del instrumento auxiliar utilizado. Es de hacer notar que para esta magnitud, el laboratorio de referencia de la Universidad de San Carlos sería el laboratorio de Metrología Eléctrica del ICAITI, al contar éste con 2 resistencias patrón primarias de valores 1Ω y $10\text{ k}\Omega$ con una precisión de 0.0005%, actuando como patrones regionales.

Para el parámetro de capacitancia, se observa en la carta de trazabilidad No.4, la utilización de la década de capacitancia y el punte de capacitancia para las mediciones de capacitancia en el rango de 0.05 pF a $1.1\mu\text{F}$ con una precisión del 1%. Aquí, la trazabilidad se llegaría hasta patrones internacionales debido a la inexistencia de patrones primarios para esta magnitud.

La carta de trazabilidad No.5 corresponde al parámetro de inductancia. Se puede observar la existencia de varios patrones de trabajo en los rangos de $2.5\mu\text{H}$ a 1H con una precisión del 0.01%. Estos patrones, unidos con los puentes de inductancia, nos permiten medir inductancias que se encuentren en los rangos de $0.05\mu\text{H}$ hasta 1kHz con una precisión del 0.05% al 2% dependiendo del puente utilizado.

Al igual que para la capacitancia, la trazabilidad para la magnitud de la inductancia se llevaría hasta patrones internacionales debido a que no existen patrones primarios en el país para esta magnitud.

Un inventario más detallado del equipo y patrones eléctricos disponibles se encuentra en el apéndice A. En éste, el equipo está dividido en las siguientes áreas: Voltaje, Resistencia, Capacitancia, Inductancia, Iluminación, Potencia, Frecuencia, Corriente y Otros. En ellas se detalla el nombre del equipo, fabricante, rango de medición, precisión y categoría del equipo (patrón primario, secundario, equipo de medición, etc.).

2. Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA)

La Empresa Eléctrica de Guatemala cuenta con un laboratorio de Metrología Eléctrica en las áreas de potencia y energía. Entre los servicios que esta empresa ofrece se tienen los siguientes:

- a) Calibración de contadores electrónicos de 1 y 3 fases
- b) Programación de medidores Schlumberger
ABB
Landis & Gyr
JEM-10
- c) Revisión y evaluación de Transformadores de Voltaje y Corriente
- d) Evaluación de la rigidez, color, acidez y tensión interfases del aceite
- e) Servicio de filtrado de aceite
- f) Evaluación de pérdidas en los transformadores en vacío y con carga
- g) Comprobación del buen funcionamiento de los termómetros de los transformadores
- h) Evaluación de tierras físicas
- i) Medición de pequeñas resistencias
- j) Medición del nivel de iluminación
- k) Prueba de relevadores de protección
- l) Medición de capacitancia y factor de potencia

- m) Análisis de fugas de gas
- n) Medición de fugas de corriente

La Empresa Eléctrica de Guatemala se especializa en la calibración de contadores electrónicos y para ello cuenta con un Vathorímetro patrón con una precisión de 0.05% y con la ayuda de un promediador de pulsos para Vathorímetros puede realizar tal función, tal como se observa en la carta de trazabilidad No.1.

Para el caso de la energía eléctrica, el laboratorio de referencia sería el laboratorio de Metrología Eléctrica que se instalará en el Instituto Costarricense de Electricidad, en colaboración con el ICAITI (ICE-ICAITI) en el cual se encontrará el patrón primario, que servirá como patrón regional para esta magnitud eléctrica.

Un inventario detallado del equipo que posee la empresa, se da en el apéndice A, mostrando la exactitud o precisión de cada uno de los equipos listados.

3. Instituto de Electrificación Nacional (INDE)

El INDE posee equipo de medición específico para el área de potencia y sus servicio son más que todo encaminados a la asesoría de empresas con subestaciones eléctricas en la supervisión de transformadores y en el expertaje de factor de potencia.

En el apéndice A se presenta el detalle del equipo de medición que posee el INDE, y en él se puede observar que no posee ningún patrón eléctrico, de manera que la calibración de sus aparatos de medición fue realizada en principio por el laboratorio de Metrología Eléctrica de la USAC, pero a partir de 1985 son las empresas proveedoras de equipo en Estados Unidos las encargadas de la calibración

4. Laboratorio de Metrología Eléctrica del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología (ICAITI)

El laboratorio de Metrología Eléctrica del ICAITI comenzó su organización en el año 1995. En el presente, el ICAITI se encuentra implementando el laboratorio de Metrología Eléctrica para ofrecer en corto plazo los siguientes servicios para la industria:

- a) Calibración de Multímetros
- b) Calibración de Voltímetros DC y AC
- c) Calibración de Amperímetros DC y AC
- d) Calibración de fuentes de voltaje DC y AC
- e) Calibración de medidores de resistencias

En la actualidad, se cuenta con equipo patrón en las áreas de Voltaje y Resistencia. Tal como se observa en la carta de trazabilidad No. 1, se cuenta con un patrón de voltaje DC/AC, que actúa como patrón regional formado por 4 celdas de una precisión de 0.0002% y por medio de un divisor de voltaje, un calibrador de voltaje y corriente y un detector de ceros, genera voltaje DC y AC de 0 a 1.1 kV con una precisión de 0.01%, corriente DC y AC de 0 a 2.2 A con una precisión de 0.5% dependiendo del rango y mide voltaje DC/AC en el rango de 0 a 1.1 kV con 1% de precisión. Además se pueden generar con este calibrador, ohmios para calibrar multímetros y ohmímetros.

Podemos observar también que posee 2 resistencias que actúan como patrón regional con una precisión de 0.0005% un y conjunto de 7 resistencias que actúan como patrones secundarios. Pudiendo calibrar con este equipo medidores de resistencias, calibradores y resistencias con una precisión de 0.04%.

Debido a que el ICAITI posee los patrones regionales de voltaje y resistencia, sirve como laboratorio de referencia para el laboratorio de Metrología Eléctrica de la Universidad de San Carlos en estas magnitudes eléctricas.

Un detalle del equipo de que se dispone, se encuentra en las hojas del apéndice A.

5. Sector Privado

En base a las investigaciones de campo realizadas, se pudo observar que no existe ningún laboratorio de Metrología Eléctrica privado, que cuente con patrones de alguna de las magnitudes eléctricas. Solamente existen empresas que se especializan en el arreglo de equipo eléctrico y en ciertas mediciones eléctricas en el área de potencia y energía eléctrica.

Cartas de Trazabilidad de los laboratorios estudiados

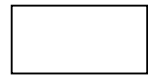
Nomenclatura utilizada en las cartas de trazabilidad de los laboratorios estudiados



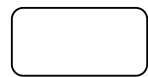
Patrones



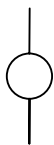
Patrones Requeridos



Instrumentos de Medición de la Industria



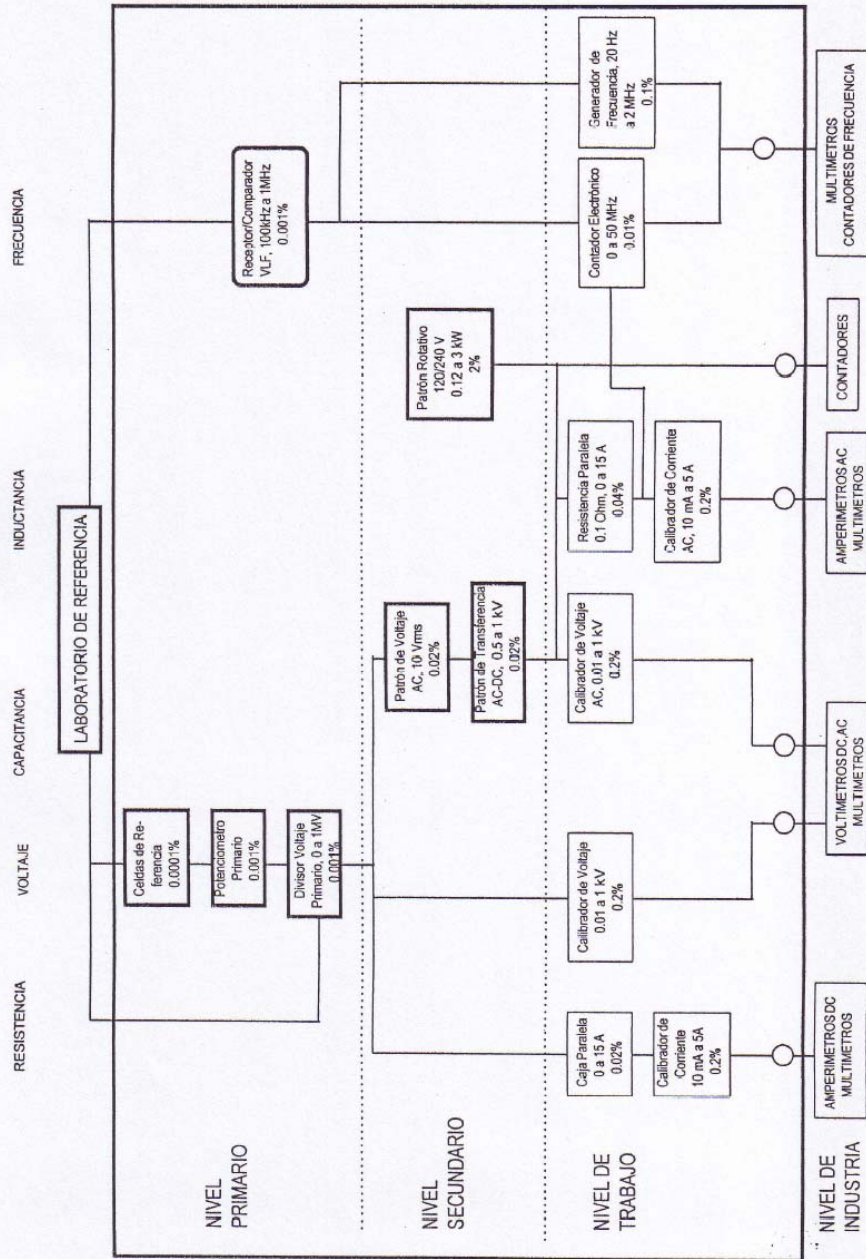
Método de comparación e instrumento



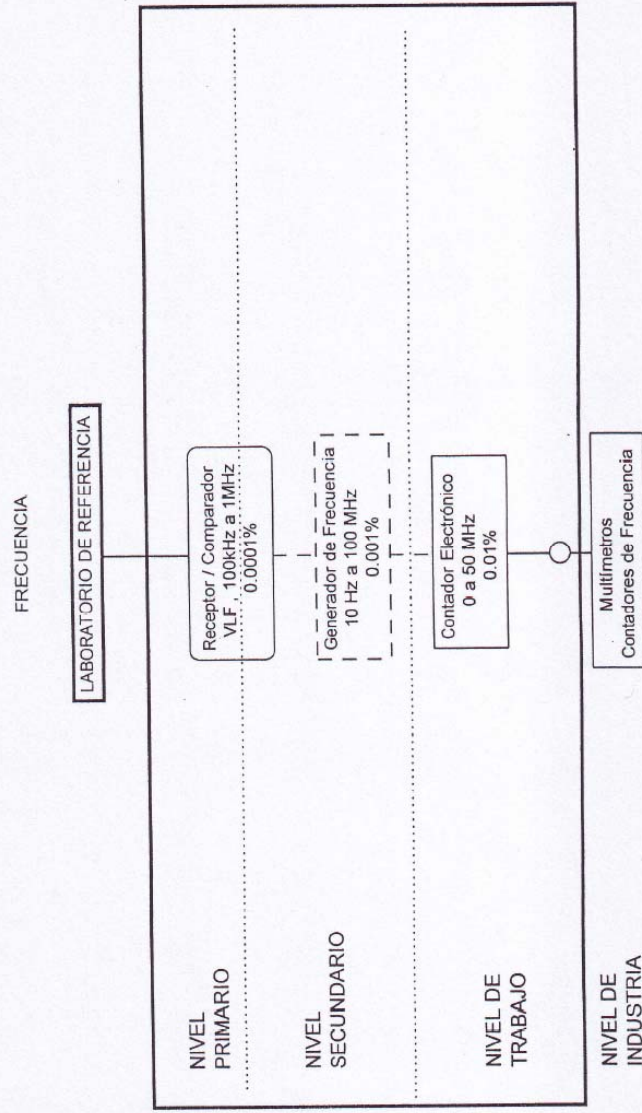
Método de comparación directa

Nota: Todos los instrumentos dentro del marco exterior en negritas en la carta de trazabilidad, son aquellos que se encuentran en el laboratorio estudiado.

Laboratorio de Metrología Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Carta de Trazabilidad No. 1



Laboratorio de Metrología Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Carta de Trazabilidad No. 2



Laboratorio de Metrología Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Carta de Trazabilidad No. 3

RESISTENCIA

LABORATORIO DE REFERENCIA

NIVEL PRIMARIO

NIVEL SECUNDARIO

NIVEL DE TRABAJO

NIVEL DE INDUSTRIA

Resistencia Patrón
10 k Ω
0.005%

Resistencia Patrón
Tipo Thomas
1 Ω
0.005%

Década de Resistencias
0.01%

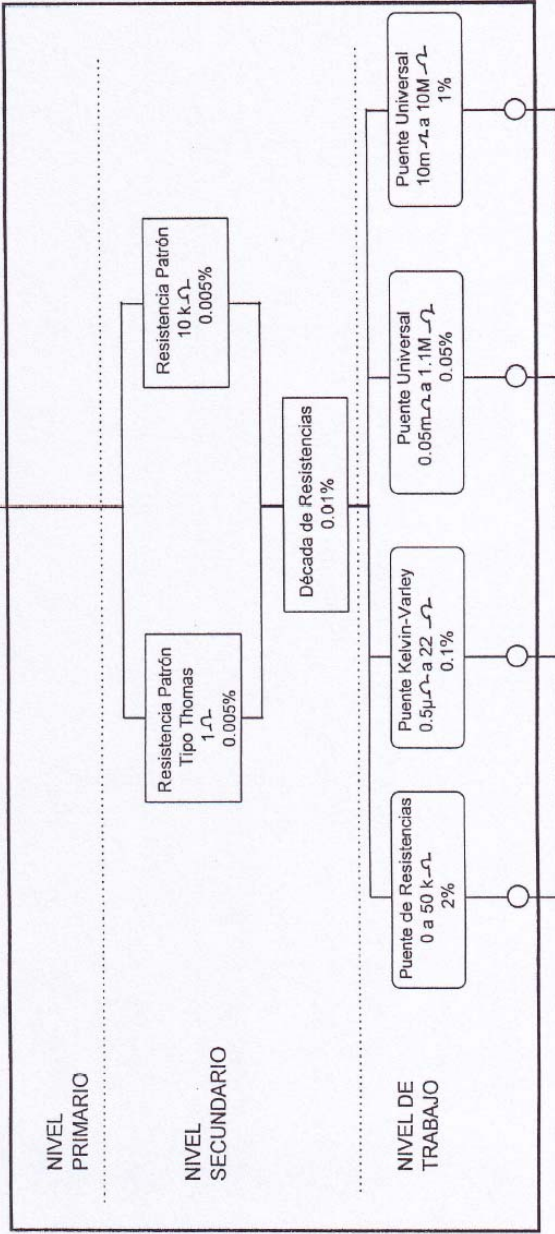
Puente de Resistencias
0 a 50 k Ω
2%

Puente Kelvin-Varley
0.5 $\mu\Omega$ a 22 Ω
0.1%

Puente Universal
0.05m Ω a 1.1M Ω
0.05%

Puente Universal
10m Ω a 10M Ω
1%

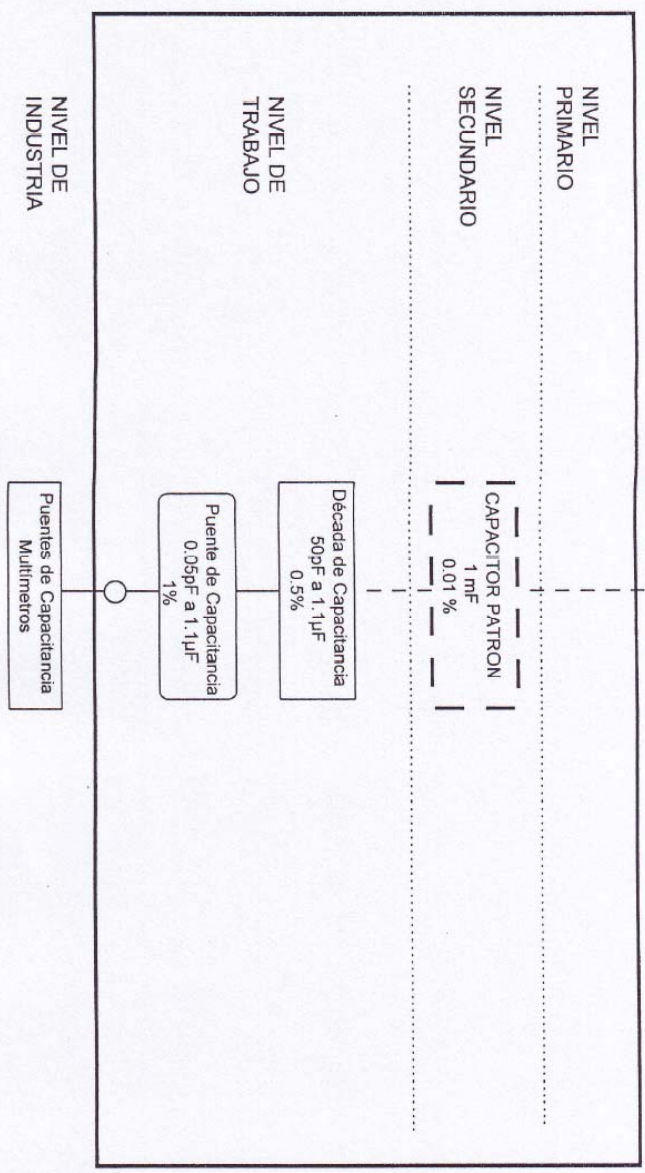
Multímetros,
Medidores de Resistencias



Laboratorio de Metrología Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Carta de Trazabilidad No. 4

CAPACITANCIA

LABORATORIO DE REFERENCIA



Laboratorio de Metrología Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Carta de Trazabilidad No. 5

INDUCTANCIA

LABORATORIO DE REFERENCIA

NIVEL PRIMARIO

NIVEL SECUNDARIO

NIVEL DE TRABAJO

NIVEL DE INDUSTRIA

Inductancias Patrón
1 mH y 1 H
0.01 %

Patrones de Trabajo
2.5 μ H a 25 mH
0.01%

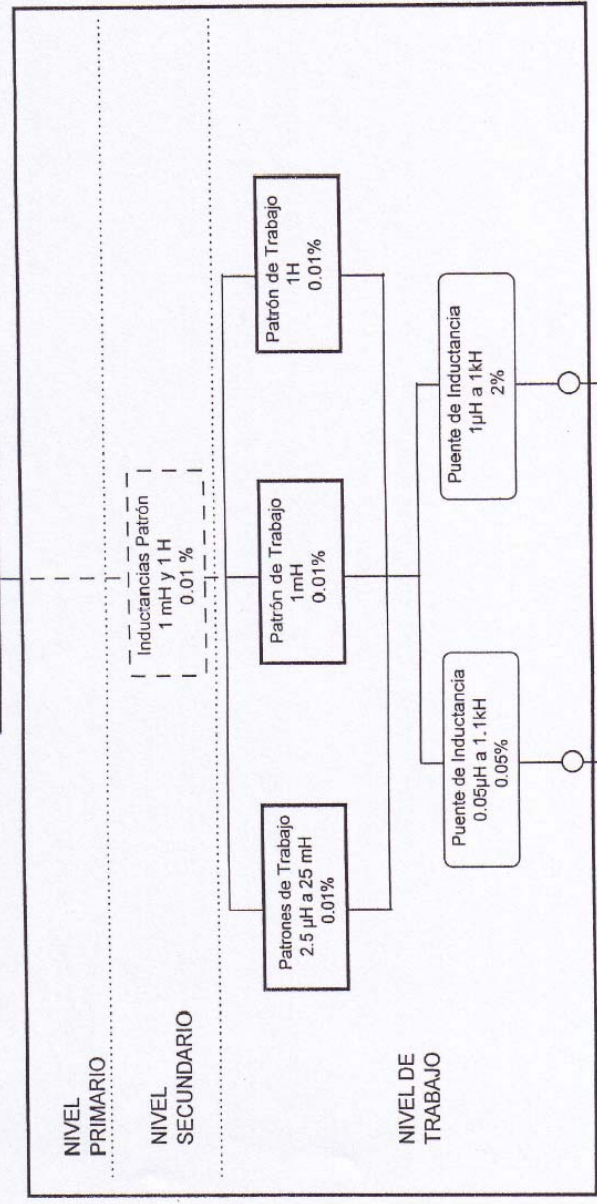
Patrón de Trabajo
1 mH
0.01%

Patrón de Trabajo
1 H
0.01%

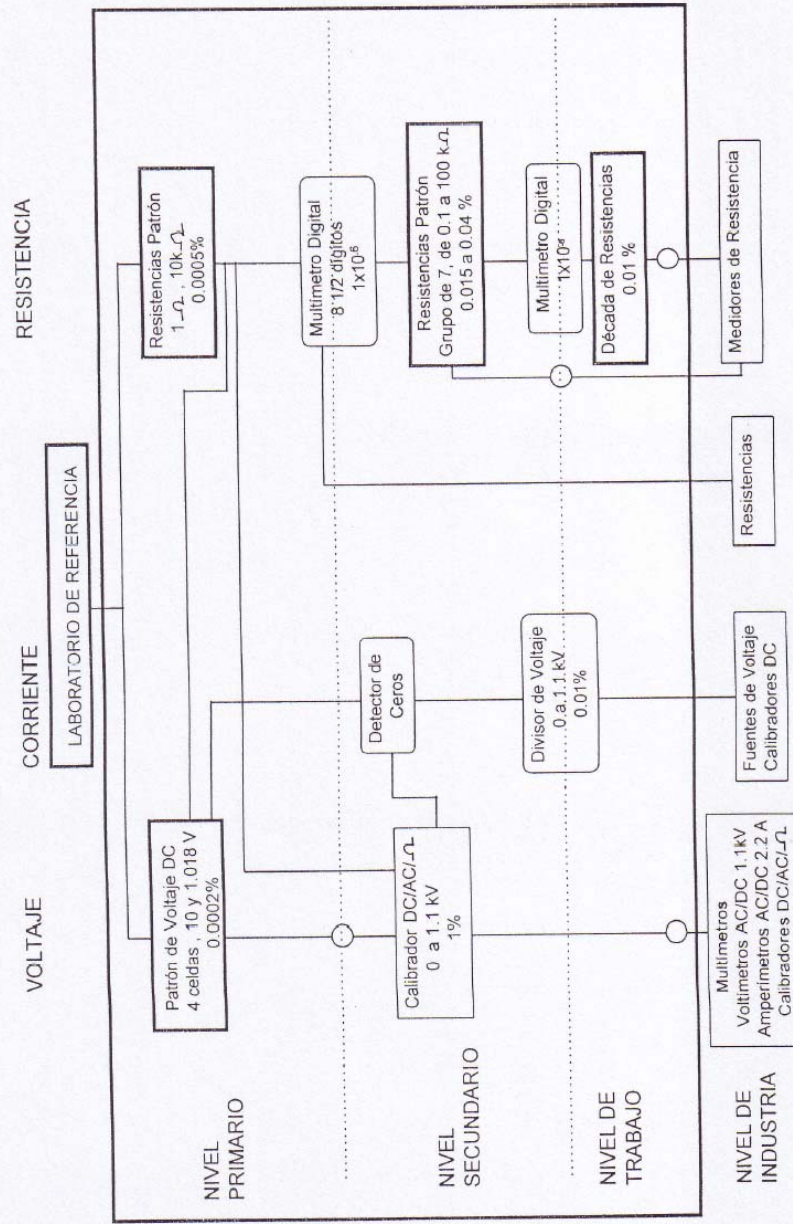
Puente de Inductancia
0.05 μ H a 1.1kH
0.05%

Puente de Inductancia
1 μ H a 1kH
2%

Multímetros
Puentes de Inductancias



Laboratorio de Metrología Eléctrica ICAITI Carta de Trazabilidad No. 1



C. Análisis de la situación de la Metrología Eléctrica en Guatemala

La existencia de la Metrología Eléctrica en Guatemala es muy poca. No existe un plan básico de Metrología Eléctrica que incluya la calibración y verificación del buen funcionamiento de aparatos e instrumentos de medición eléctricos. Es de recordar que en el ámbito del aseguramiento de la calidad, la posesión de instrumentos de medida eléctricos, que tengan la precisión y exactitud adecuadas es de suma importancia. Que los instrumentos de medida y los aparatos eléctricos estén calibrados y que indiquen las magnitudes reales, es vital para el buen funcionamiento de una industria o de cualquier comercio.

A pesar de la creación de la Comisión de Normas Guatemaltecas (COGUANOR) para controlar la calidad de los productos fabricados en las diferentes industrias guatemaltecas, esta institución todavía es desconocida por ciertas industrias, lo que provoca una falta de conocimiento sobre la importancia de la Normalización y el Control de Calidad en el ámbito industrial.

De las instituciones dedicadas a la calibración eléctrica, sólo sobresale por su trabajo en el área metrológica el Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, el cual ha tenido un gran desarrollo en el área de Metrología Eléctrica contando con un amplio instrumental en el área eléctrica. Actualmente, presta servicio limitado a la industria privada y a las instituciones estatales, debido a la poca disponibilidad que tiene de recursos económicos y de personal especializado y falta de trazabilidad.

Con respecto a los otros laboratorios estudiados, podemos mencionar que tanto la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) como el Instituto de Electrificación Nacional (INDE), poseen cierta cantidad de equipo de medición, pero únicamente para el área de potencia eléctrica. Mientras que el laboratorio de Metrología Eléctrica del ICAITI, se encuentra en la etapa inicial de funcionamiento.

Finalmente, podemos decir que la Metrología Eléctrica en Guatemala, se encuentra en un nivel bajo de desarrollo debido a la poca atención que se le brinda por parte de instituciones estatales y de investigación en el área industrial. Como consecuencia de ello, se limita el proceso industrial, comercial y el desarrollo tecnológico del país.

D. Diagnóstico de las necesidades de la industria guatemalteca en el área de Metrología Eléctrica

1. Descripción del diagnóstico

Para este diagnóstico, se decidió trabajar con una muestra representativa de las ramas industriales prioritarias. Para determinar las ramas y subsectores industriales se tomaron en cuenta los criterios siguientes:

- a) Impacto económico para el país
- b) Generación de empleo
- c) Potencial de exportación
- d) Posibilidad de competir en mercados futuros

De acuerdo con los criterios anteriormente indicados, se seleccionó a la Gremial de productos No Tradicionales (GEXPRONT) por ser la asociación que agrupa a la mayoría de la mediana y pequeña empresa. Es importante observar que el sector de la pequeña y mediana empresa, está conformado por el 80% de las unidades productivas del país y genera más de la mitad del valor total de la producción de bienes y servicios de Guatemala, según un estudio reciente de la Federación de la Pequeña y Mediana Empresa guatemalteca FEPYME. De acuerdo al documento, este sector representa en el aspecto social a la clase media y da empleo a un 25% de la población apta para trabajar, además de generar más del 50% de la producción del país.

Las ramas incluidas en el estudio fueron elegidas con base a la información obtenida en el Directoria de la GEXPRONT, siendo éstas las siguientes:

- a) Alimentos
- b) Bebidas
- c) Textil
- d) Papel
- e) Cuero

- f) Químicos
- g) Metalurgia
- h) Forestal

Con base en el directorio de Exportadores de Guatemala, se determinó que el universo de las ramas industriales y comerciales seleccionadas, era de aproximadamente 600 empresas.

Como siguiente paso se seleccionó una muestra representativa con base a la Norma COGUANOR NGR 4011 “Procedimientos de Muestreo y Tablas para Inspección por Atributos, Planes de muestreo Simple, Doble y Múltiple con rechazo”.

El tamaño de la muestra a seleccionar, estaría conformado por 60 empresas de acuerdo a la Tabla IIA, “Planes de muestreo simple por inspección normal”, “Tabla maestra”.

Con el fin de asegurar que al menos la información de 60 empresas fuera válida, se decidió seleccionar 75 empresas a las cuales se les envió por fax una carta de presentación donde se explicaban los objetivos de la encuesta y la encuesta en sí. El diseño de la encuesta utilizada se basó en el usado por el diagnóstico RE.TE/USAC para recabar información respecto a la situación de la metrología en Guatemala. Hay que recordar que dicho diagnóstico no incluía el área de metrología eléctrica como subsector, por lo que este trabajo se consideró un complemento del mismo.

Posteriormente se concertaron citas con las empresas escogidas, recogándose las boletas y procediéndose a analizar la información en ellas. Finalmente con la información validada de 60 boletas, se alimentó la base de datos de la cual se presentan las estadísticas en el apéndice D.

Una muestra de la encuesta sobre Metrología Eléctrica, se encuentra en el apéndice B, y la lista total de las empresas encuestadas se observa en el apéndice C.

2. Discusión de los resultados del diagnóstico de Metrología Eléctrica en la industria guatemalteca

El diagnóstico llevado a cabo en una muestra de industrias nacionales, sacó a luz datos muy interesantes sobre la concepción y el estado de la Metrología Eléctrica en la industria y de las necesidades de calibración eléctrica que ésta posee.

Tal como se puede observar en la Tabla No. 2, la mayoría de las empresas encuestadas posee un plan establecido de mantenimiento de sus aparatos eléctricos. Este plan por lo general consta de revisiones en forma periódica de los aparatos eléctricos utilizados en la fase de producción de cada una de las empresas, siendo el rango de tiempo más utilizado, el de cada 6 meses.

Si observamos en la Tabla No.3, aquí se nos muestra que a pesar de que los sistemas empresariales cuentan con un plan de mantenimiento eléctrico, solamente el 32% de las empresas encuestadas utilizan los servicios especializados en calibraciones eléctricas para el chequeo de sus aparatos, siendo las empresas distribuidoras del equipo la primera opción de los industriales al optar por una calibración. La misma tabla concluye que la mayoría de las empresas hacen ellas mismas los chequeos y procesos de calibración de sus aparatos eléctricos, a pesar de no poseer patrones eléctricos para hacerlo en forma adecuada.

A esto se une el hecho de que la mayoría de las empresas no conocen la existencia de laboratorios nacionales de Metrología Eléctrica tales como el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC y el laboratorio de potencia eléctrica de la Empresa Eléctrica Guatemalteca, lo que les hace elegir otras opciones a la hora de necesitar una calibración.

Al inquirir sobre el rango en que se encuentran dichos parámetros, podemos ver que los rangos más trabajados son los milivoltios, microamperios, kilowatts, microfaradios, milihenrios y hertz (Tablas 9 a 11). En base a estos resultados y al compararlos con el rango de medición que poseen los patrones y aparatos de calibración que se encuentran en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, podemos afirmar que este centro cuenta con el equipo necesario para prestar servicios de calibración con la exactitud requerida por la industria. El único problema que se encontró, fue que algunos de estos equipos se encuentran descompuestos, siendo hasta principios de 1995 cuando se inició un plan de reestructuración del laboratorio de Metrología Eléctrica. Podemos mencionar además que el ICAITI a finales de 1995, comenzó a implementar su laboratorio de Metrología Eléctrica, el cual viene a complementar los servicios que se ofrecen en la USAC.

Esto nos da la certeza de que no es necesario equipo sumamente sofisticado con 9 ó 10 cifras significativas para que un laboratorio de Metrología Eléctrica en Guatemala pueda dar un buen servicio a la industria guatemalteca.

Hay que recordar que uno de los mayores errores que se debe evitar, es comprar equipo demasiado sofisticado y por lo tanto costoso, que elevará apreciablemente el costo de las calibraciones, ya que las necesidades de la industria guatemalteca generalmente sólo requieren exactitudes del orden de 1 parte en 10^3 ó 10^4 .

Es de hacer notar que varios de los resultados del diagnóstico llevado a cabo por RE:TE/USAC en el área de metrología en general, concuerdan con los resultados descritos anteriormente y encontrados por medio del diagnóstico de metrología eléctrica.

Entre ellos tenemos:

- En ambos diagnósticos se advirtió el poco conocimiento que tiene la industria guatemalteca de los laboratorios de metrología existentes, que pueden en cierto momento, proporcionarles servicios de calibración en diversas áreas tales como longitud, masa, densidad, electricidad, etc.
- Los resultados de ambos diagnósticos concuerdan en que son muy pocas las empresas que poseen un plan integrado de la calidad basado en el Sistema Integrado de Calidad (Metrología, Normalización, Pruebas y Ensayos y Aseguramiento de la Calidad).
- Ambas encuestas mostraron que la mayoría de las empresas encuestadas coinciden en el hecho que es necesario una capacitación de su personal en el área de metrología
- Finalmente se observó que en el diagnóstico efectuado por la RE:TE/USAC, se mencionaron ciertas magnitudes eléctricas esenciales en el ciclo de producción de las empresas, tales como voltaje, corriente, resistencia, etc. Esta información vino a ser corroborada por el diagnóstico de metrología eléctrica, el cual mostró las mismas magnitudes como componentes fundamentales de la producción de las empresas encuestadas.

V. REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE UN LABORATORIO ELÉCTRICO EN BASE A LAS NECESIDADES DE LA INDUSTRIA GUATEMALTECA

A. Requerimientos mínimos en la infraestructura de un laboratorio de Metrología Eléctrica

1. Construcción

El edificio en el cual se encontrará el laboratorio metrológico deberá ser de una sólida construcción, preferiblemente con columnas y vigas de concreto. Los segundos pisos y los sótanos deben evitarse, debido a un posible movimiento estructural y a la dificultad de lograr aislamiento vibratorio. El cielo deberá estar formado de manera que pueda prever cualquier movimiento o pérdida de aire y para impedir la entrada de polvo. Las paredes deben contar con barreras contra la humedad.

El número de puertas en el laboratorio deberá ser mínimo, pero con instalación resistente con las reglas de seguridad en caso de emergencia

2. Ventilación

Un sistema de control ambiental deberá ser diseñado de acuerdo a los aparatos que se encuentren en el laboratorio. Si el laboratorio cuenta con aparatos muy sensibles a los cambios de temperatura, ésta se debe mantener a 23° C con un cambio no mayor de 0.6° por hora. En el caso de los laboratorios con equipos más sencillos y por lo tanto menos sensibles, se puede permitir una variación de $\pm 5^{\circ}$ C y una humedad relativa en $45 \pm 10\%$ en el área del laboratorio.

La distribución del aire a través del local, debe ser diseñada para proveer una buena circulación de aire para todas las partes del laboratorio, de manera que se prevenga la estratificación del aire y se puedan minimizar los gradientes de temperatura entre el suelo y el cielo del local.

3. Requerimientos Eléctricos

Los tomacorrientes para los aparatos de medición deberán contar con un equipo de regulación de voltaje que lo mantenga en un rango del 0.5% de su valor nominal, y la constante de tiempo o tiempo de respuesta de los reguladores de voltaje, no debe exceder de 3 segundos.

Se recomienda tener 120/240 V AC, una fase, 60Hertz.

Se requiere además de un buen sistema de tierras físicas, de manera que se aseguren la integridad de las mediciones además de proveer de un camino de descarga para corrientes eléctricas de corta duración debidas a rayos y a otros fenómenos.

La iluminación en el laboratorio deberá ser fluorescente. La intensidad luminosa debe estar en los 500 a 600 lux a nivel de los escritorios o mesas de trabajo a lo largo del área a utilizar.

4. Requerimientos especiales

Muchos laboratorios usan equipo de medición electrónico, el cual es susceptible a interferencia provocada por energía electromagnética radiada. Debido a ello, es necesario un adecuado blindaje para reducir la fuerza promedio del ampo electromagnético, a menos de $10\mu\text{V}/\text{m}$. Este blindaje será una combinación de blindajes en los cables, instrumentos y en la habitación por sí.

B. Equipo complementario no existente en Guatemala requerido para el laboratorio de Metrología Eléctrica

Como se observó anteriormente en las cartas de trazabilidad de los laboratorios estudiados, existen ciertos equipos requeridos (representados por líneas punteadas en las cartas de trazabilidad) que dichos laboratorios no poseen y que nos necesarios para llenar las necesidades de la industria guatemalteca en el área de metrología eléctrica. Hay que considerar que cuando se habla del laboratorio de metrología eléctrica en general, se habla de aquel compuesto por los 4 diferentes laboratorios de metrología eléctrica estudiados (USAC, INDE, ICAITI y EEGSA), por lo que los equipos que aquí se mencionen, serán aquellos que no se encuentren en ninguno de dichos

laboratorios pero que en un futuro pudiesen ser necesarios para el área de metrología eléctrica.

En lo que respecta a las magnitudes principales, tales como voltaje, corriente, resistencia, energía eléctrica, en la actualidad se poseen los recursos necesarios para una correcta calibración de esas magnitudes eléctricas.

1. Impedancia

En el área de capacitancia podemos observar que no existen en Guatemala patrones de capacitancia que puedan ser utilizados como patrones primarios o secundarios. Los resultados de la encuesta que se hizo a la industria, nos muestran que existen empresas que necesitan de esta calibración, por lo que sería preferible tener patrones de esta magnitud, pues a largo plazo la compra de estos patrones saldría más barato que estar mandando a calibrar los equipos al extranjero. Los únicos patrones de capacitancia que se poseen y que se encuentran en la USAC, son patrones de trabajo por lo que se consideran necesarios 3 capacitores patrón de 1 mF con una incertidumbre de 0.01%, de manera que dos de ellos puedan estar en funcionamiento, mientras que el otro es llevado a recalibrar al extranjero cada 5 años.

En el área de inductancia vemos que ocurre la misma situación que con la capacitancia, sólo se cuenta con patrones de trabajo y por lo tanto son necesarios 3 patrones de inductancia de valores 1mH y 1H con una incertidumbre de 0.01% que puedan ser utilizados como patrones secundarios.

2. Frecuencia

El Receptor/Comparador VLF que se encuentra en el laboratorio de metrología eléctrica de la USAC posee una precisión de 0.001% pero en base al estudio de las necesidades de la industria guatemalteca, es necesario un aparato con un rango de los 1kHz a los 100 MHz y una incertidumbre de 1×10^{-11} que pueda ser utilizado como patrón de referencia.

El generador de frecuencia que se encuentra en el mismo laboratorio, posee una precisión de 0.1% pero para cubrir bien las necesidades de la industria, se necesita dicho aparato con un rango de medición de 10Hz a 10MHz y una incertidumbre de 1×10^{-6} .

Finalmente, el contador electrónico del mismo laboratorio, tiene una precisión de 0.001% y se necesita uno con un rango de 0 a 100MHz y de incertidumbre 1×10^{-9} .

3. Varios

Debido a las necesidades de la industria guatemalteca, se aconseja que el laboratorio de Metrología Eléctrica también tenga como equipo complementario:

- Megger de tierras con un rango de 0 a $1 \text{ k}\Omega$ con una incertidumbre de 1%
- Megger de aislamiento con un rango de 0 a $500 \text{ M}\Omega$ y una incertidumbre de 1%
- Punta de Alto Voltaje, 0 a 10 kV con una incertidumbre de 3%

Tal y como se dijo al principio de esta sección, para las demás magnitudes (voltaje, corriente, resistencia, energía eléctrica) el equipo con que se cuenta en los diferentes laboratorios se complementa entre sí, no habiendo necesidad de equipo extra.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

Después de haber estudiado en este trabajo el estado actual de la metrología eléctrica en Guatemala, tanto en la industria guatemalteca como en los laboratorios eléctricos existentes, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La metrología Eléctrica en Guatemala se encuentra en un bajo estado de desarrollo debido a la falta de recursos humanos y monetarios para su implementación a gran escala.
2. No existen normas que establezcan requerimientos con respecto a las técnicas de fabricación, verificación, calibración y certificación de los instrumentos de medición eléctricos.
3. Las instituciones de investigación y estatales, le han dado poca importancia a la Metrología Eléctrica como parte esencial del programa de Control de Calidad en la industria.
4. Existe poco conocimiento por parte del sector industrial guatemalteco de los conceptos, procedimientos y técnicas de medición eléctricas y de las instituciones nacionales capaces de proveerles servicios de calibración eléctricos en contraposición a empresas extranjeras.
5. Bajo porcentaje de industrias guatemaltecas que poseen un plan de mejoramiento de la calidad de sus productos, en el cual incluyan la precisión y confiabilidad de las mediciones eléctricas.
6. Falta de personal especializado/capacitado en el área de Metrología Eléctrica en algunos laboratorios estudiados.
7. Existencia de un fuerte deseo de capacitación del personal en el área de Metrología Eléctrica por parte de las industrias encuestadas.
8. En base a las exactitudes necesarias de las diferentes magnitudes eléctricas en el área industrial de Guatemala, no son necesarios aparatos con un alto grado de precisión sino que es indispensable contar con el equipo adecuado al desarrollo industrial del país y a sus necesidades.
9. Deficiente apoyo dado al laboratorio de Metrología Eléctrica del Centro de Investigaciones de Ingeniería (USAC) por parte de las autoridades de dicha institución.

10. De los laboratorios de Metrología estudiados, solamente el Centro de Investigaciones de Ingeniería CII y el ICAITI cuentan con el instrumental necesario para llevar a cabo la mayoría de las mediciones y calibraciones eléctricas necesarias en la industria guatemalteca, con la exactitud requerida.

11. Falta de un laboratorio de metrología eléctrica en la COGUANOR, y poco apoyo dado a los demás laboratorios de metrología existentes por parte de las autoridades de dicho centro debido a la falta de coordinación entre ellos.

B. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se basan en los resultados encontrados a lo largo de la elaboración del presente trabajo:

1. Elaborar una ley de Metrología en la que se incluye el sector eléctrico, tendiente a normar los conceptos, recursos, procedimientos, verificación, calibración y certificación de instrumentos de medición eléctricos y mejorar la aplicabilidad del sistema SI de unidades.
2. Ejecutar una campaña divulgativa a nivel nacional sobre la importancia del uso y aplicación de los conceptos de Metrología Eléctrica en el desarrollo industrial del país.
3. Tecnificar en el área de Metrología Eléctrica al personal de las industrias guatemaltecas de las áreas de producción y de control de calidad.
4. Dar a conocer a las industrias guatemaltecas, la importancia de estar sujetas a un proceso sistemático de verificación, calibración y certificación de sus instrumentos de medición eléctricos.
5. Implementar en Guatemala un laboratorio de Metrología Eléctrica que posea aparatos de medición y calibración eléctricos adecuados a las necesidades reales de la industria guatemalteca.
6. Llevar a cabo por medio del ICAITI y en colaboración con el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, una serie de conferencias en el área de la Metrología Eléctrica encaminadas a una buena preparación del personal de las industrias guatemaltecas.

7. Llevar a cabo por medio de la Empresa Eléctrica de Guatemala, el INDE, el ICAITI y la USAC, una campaña de divulgación de los servicios que pueden prestar a la industria en el área de Metrología Eléctrica.
8. Preparar por medio de las autoridades del Centro de Investigación de Ingeniería (USAC), el ICAITI, y la COGUANOR, un programa de publicidad para hacer del conocimiento de la ciudadanía, todas y cada una de las funciones que desempeñan en el área de Metrología Eléctrica.
9. Crear con la ayuda de la COGUANOR, el ICAITI, y el Centro de Investigación de Ingeniería (USAC), una red de laboratorios de metrología eléctrica dentro del marco del Sistema Nacional de Laboratorios (SINAL).

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brasil. 1995. Organización de Estados Americanos. *Cumbre de las Américas: Declaración de Principios. Pacto para el desarrollo y la prosperidad; Democracia, Libre Comercio y Desarrollo sostenible*. 125 págs.
- [2] Koenigsberger, Rodolfo. 1969. *Proyecto de establecimiento de un laboratorio de Normalización eléctrica en la USAC*. Guatemala. USAC. 97 págs.
- [3] Nava Jaimes, Héctor. 1972. *Diagnóstico del estado de la metrología eléctrica en Guatemala*. Guatemala. OEA. 102 págs.
- [4] Perú. 1984. Ministerio de Control y Tecnología. Centro de Control de Metrología. *Control Metrológico*. Perú. 78 págs.
- [5] París. 1985. Bureau International des Poids et Mesures. *Metrology Training*. Francia. 152 págs.
- [6] Norma 4010. 1980. *Normas de Calidad ICAITI*. Guatemala. ICAITI. Págs. 65-68
- [7] Loesener, Otto. 1995. Metrología Eléctrica. *Revista Encuentro Tecnológico*. 48 (12):24-27
- [8] Aragón, José V; Noé Prado y Otto Loesener. 1994. El aspecto metrológico de la calidad. *Memoria del II Congreso Nacional y I Congreso Centroamericano de Calidad Total*. Guatemala. 88 págs.
- [9] Loesener, Otto. 1994. *El Sistema Integrado de la Calidad y la Competitividad Empresarial*. Guatemala. ICAITI. 65 págs.
- [10] Koenigsberger, Rodolfo. 1976. *Retrazabilidad de las mediciones eléctricas*. Guatemala. CONCAPAN. 45 págs.
- [11] Diefenderfer, James. 1988. *Guía de Instrumentación Electrónica*. 2ª. Edición. México. Editorial Interamericana. 176 págs.
- [12] Wolf, Stanley y Richard Smith. 1992. *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. 2ª. Edición. México. Prentice-Hall. 225 págs.

VIII. APÉNDICES

Apéndice A
Inventario de los patrones y
equipo de medición de los
laboratorios estudiados

Apéndice B
Muestra de la encuesta sobre
Metrología Eléctrica utilizada
en el diagnóstico industrial
Guatemalteco

**BOLETA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA
INDUSTRIA GUATEMALTECA**
Diagnóstico de Metrología Eléctrica

Nombre de la Empresa:
Dirección:

Teléfono:
Fax:

Información sobre Metrología Eléctrica

1. ¿Utiliza su empresa procedimientos para la verificación de la exactitud y buen funcionamiento de sus aparatos o instrumentos de medición eléctricos?
Si _____ No _____
¿Cada cuánto tiempo hace la verificación? _____
 2. ¿Emplean los servicios de alguna empresa o institución para calibrar sus aparatos o Instrumentos de medición eléctricos?
Si _____ No _____
¿Cuál empresa o institución? _____
 3. ¿Utiliza su empresa patrones de medición eléctricos?
Si _____ No _____
 - 3.1 ¿Están certificados dichos patrones? Si _____ No _____
 - 3.2 ¿Por quién están avalados? _____
 4. ¿Utiliza la empresa normas de calidad para sus productos dentro del mercado interno o para exportación? Si _____ No _____ Cuáles _____
 5. ¿Tiene su empresa algún plan de mejoramiento de la calidad en el cual se incluyan la Precisión y la confiabilidad de las mediciones eléctricas que se efectúan?
Si _____ No _____ ¿En qué forma? _____
 6. ¿Considera sería necesaria una capacitación en el campo de las mediciones eléctricas para el personal de su empresa?
Si _____ No _____
 7. ¿Cuáles de las siguientes magnitudes eléctricas son medibles en la producción de su empresa?
- | | Si/No | Exactitud | Prioridad |
|-------------------------|-------|-----------|-----------|
| Corriente eléctrica | _____ | _____ | _____ |
| Resistencia eléctrica | _____ | _____ | _____ |
| Diferencia de potencial | _____ | _____ | _____ |
| Potencia eléctrica | _____ | _____ | _____ |
| Capacitancia | _____ | _____ | _____ |
| Frecuencia | _____ | _____ | _____ |
| Inductancia | _____ | _____ | _____ |
| Otras | _____ | _____ | _____ |

Apéndice C
Listado de las industrias
Guatemaltecas que conformaron
la muestra del diagnóstico sobre
Metrología Eléctrica

EMPRESAS ENCUESTADAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE METROLOGÍA ELÉCTRICA

Abbot Laboratorios
Alambres Decorativos y Acabados Eléctricos S.A
Alimentos Kern's de Guatemala
Alpak S.A
Aluvisa
Asfaltos de Guatemala
Avón de Guatemala
Básicamente Hierro
BDF Centroamericana
BIC de Guatemala
Cantel S.A
Compañía Industrial Listex
Conservas y Alimentos S.A. (CONSALSA)
Corporación Textil Internacional
DACSA, América Comercial
Electroequipos S.A
Electronics Shop
Embotelladora La Mariposa
Embutidos Toledo
Empresa de Alimentos Delicia
Exportadora Maderera S.A
Fábrica La Luz
Fabrigas de Guatemala
Fillers de Guatemala
Grasas y Aceites S.A
GBM de Guatemala
Hewlett Packard
Hielo Superior S.A
Industria de Café S.A (INCASA)
Industria de Aceites y Grasas Suprema
Industria Metalúrgica de C.A.
Industria Papelera Centroamericana
Kellog's de C.A.
Laboratorios Lancasco
Laboratorios Vida
Licorera Guatemalteca S.A
Maderas El Alto S.A

Motorola, Electrónica Industrial
Novaplastic S.A
Omega Electrónica
Pastas Ina S.A
Polyproductos de Guatemala
ProData S.A
Procter & Gamble
Productos Alimenticios YA ESTÁ
Productos Duralita
Productos Regia
Productos Superb
Resortes Quiché
Rimet Sociedad Anónima
Salvavidas de Guatemala
Servicios Técnicos en Aluminio
Shell de Guatemala
Tabacalera Centroamericana S.A
Tata S.A
Textiles del Sur
Tornillos Luarca
Torno Industrias
Tubovinil

Apéndice D
Resultados del diagnóstico de
Metrología Eléctrica en la
Industria guatemalteca

Tabla No. 1

Cuadro No. 1		
Distribución de la muestra de empresas		
por ramas		
Rama	Numero	Porcentaje
	de	
	empresas	
Alimenticia	17	29%
Química	12	20%
Metalúrgica	10	17%
Electrónica	7	12%
Textil	4	7%
Bebidas	2	3%
Cuero	2	3%
Forestal	2	3%
Papel	2	3%
Otros	2	3%

Tabla No. 2

Pregunta No. 1		
Utiliza su empresa procedimientos para la verificación de la exactitud y buen funcionamiento de sus aparatos o instrumentos de medición eléctricos?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Si	43	72%
No	17	28%
Total	60	100%
Pregunta 1a		
Cada cuánto tiempo hace la verificación?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Cada 6 meses	17	40%
Cada 3 meses	12	28%
Cada año	10	23%
1 vez al mes	4	9%
Total	43	100%

Tabla No. 3

Pregunta 2		
Emplean los servicios de alguna empresa o institución para calibrar sus instrumentos o aparatos de medición eléctricos?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
No	41	68%
Si	19	32%
Total	60	100%
Pregunta 2a		
Cuales son las empresas utilizadas para la calibración?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Proveedores de eq	15	79%
Empresas extranje	4	21%
Total	19	100%

Tabla No. 4

Pregunta No.3		
Utiliza su empresa patrones de medición eléctricos?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
No	57	95 %
Si	3	5 %
Total	60	100 %
Pregunta No. 3a		
Están certificados dichos patrones?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Si	3	100 %
No	0	0 %
Total	3	100 %
Pregunta No. 3b		
Por quién están certificados dichos patrones?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
EEGSA	2	67 %
CII (USAC)	1	33 %
Total	3	100 %

Tabla No. 5

Pregunta No. 4		
Utiliza su empresa normas de calidad para sus productos dentro del mercado interno o de exportación?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Si	60	100%
No	0	0%
Total	60	100%
Pregunta No. 4a		
Cuáles son las normas utilizadas por su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
COGUANOR	20	33%
Propias de la empresa	19	32%
FDA	12	20%
ISO 9000	9	15%
Total	60	100%

Tabla No. 6

Pregunta No. 5		
¿Tiene su empresa algún plan de mejoramiento de la calidad en el cual se incluyan la precisión y la confiabilidad de las mediciones eléctricas?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
No	43	72%
Si	17	28%
Total	60	100%
Pregunta No. 5a		
¿En qué forma se incluyen la precisión y confiabilidad de las mediciones eléctricas en el plan de calidad?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Cursos teóricos	12	71 %
Talleres prácticos	5	29 %
Total	17	100%

Tabla No. 7

Pregunta No. 6		
¿Considera que sería necesario una capacitación en el campo de la metrología eléctrica en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Si	55	92%
No	5	8%
Total	60	100%

Tabla No. 8

Pregunta No.7		
¿Cuáles de las siguientes magnitudes eléctricas son medibles en la producción de su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	
Diferencia de potencial	58	
Potencia eléctrica	57	
Corriente eléctrica	56	
Resistencia eléctrica	25	
Frecuencia	16	
Capacitancia	11	
Inductancia	8	
Otras	0	

Tabla No. 9

Pregunta 7a		
Cuál es la magnitud de la corriente eléctrica que utiliza su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
mA	35	62%
A	11	20%
μ A	10	18%
Total	56	100%
Pregunta 7b		
Cuál es la magnitud de medición de la resistencia que utiliza su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
m Ω	16	64%
Ω	9	36%
$\mu\Omega$	0	0%
Total	25	100%

Tabla No. 10

Pregunta 7c		
Cuál es la magnitud de medición de la diferencia de potencial en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
mV	41	79%
V	17	21%
μ V	0	0%
Total	58	100%
Pregunta 7d		
Cuál es la magnitud de medición de la potencia eléctrica en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
kW	10	82%
W	47	18%
MW	0	0%
Total	57	100%

Tabla No. 11

Pregunta 7e		
Cuál es la magnitud de medición de la capacitancia eléctrica en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
μF	9	82%
mF	2	18%
F	0	0%
Total	11	100%
Pregunta 7f		
Cuál es la magnitud de medición de la inductancia en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
μH	4	50%
mH	4	50%
H	0	0%
Total	8	100%
Pregunta 7g		
Cuál es la magnitud de medición de la frecuencia en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
kHz	10	67%
MHz	5	33%
H	0	0%
Total	15	100%

Tabla No. 12

Pregunta No.8		
Cuál de los anteriores parámetros eléctricos es el de mayor prioridad en su empresa?		
Respuesta	No. de empresas	Porcentaje
Diferencia de Potencial	39	65%
Corriente Electrica	15	25%
Potencia Electrica	6	10%
Total	60	100%

IX. GLOSARIO

1. Calibración: conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones. El resultado de una calibración puede ser consignado en un documento, algunas veces llamado certificado de calibración o informe de calibración.
2. Certificado de calibración: comunicado que especifica la integridad de la calibración de cada una de las piezas del equipo calibrado. Es proporcionado por los productores de los instrumentos o por los laboratorios de calibración.
3. Conservación de un patrón (de medición): conjunto de operaciones necesarias para preservar las características metrológicas de un patrón de medición dentro de los límites apropiados.
4. Estabilidad: aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo, sus características metrológicas.
5. Exactitud de un instrumento de medición: aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas próximas al valor verdadero.
6. Exactitud de medición: proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando. Esta también es llamada precisión de medición
7. Incertidumbre de medición: parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.
8. Instrumento de medición: dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones sólo o en conjunto con dispositivos complementarios.
9. Medición: conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de una magnitud.

10. **Mensurando:** magnitud particular sujeta a medición.
11. **Método de medición:** secuencia lógica de operaciones, descrita de manera genérica, utilizada en la ejecución de las mediciones.
12. **Metrología:** ciencia de la medición, que incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, cualquiera que sea su incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y tecnología que ocurran.
13. **Patrón de medición:** medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.
14. **Resultado de una medición:** valor atribuido a un mensurando, obtenido por medición.
15. **Resolución:** es el grado en el cual pequeños cambios de la medición pueden ser detectados.
16. **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 o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas.
17. **Verificación:** actividades ejecutadas por un servicio de medición nacional para determinar y corroborar que el instrumento de medición satisface por completo los requerimientos técnicos de verificación. La verificación se comprende de ensayo y sellado.