

**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO  
"JOSÉ ANTONIO ECHEVARRÍA"  
(ISPJAE)**

**ASEGURAMIENTO METROLÓGICO DE LAS  
MEDICIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS  
EXTERNAS DE LA RADIACIÓN LÁSER EN LA  
REPÚBLICA DE CUBA.**

**Tesis en opción al grado de MAESTRA en ÓPTICA Y LÁSER.**

**Autora:** Lic. Alejandra Regla Hernández Leonard. Investigadora Auxiliar

**Tutoras:** Dra C Ysabel Reyes Ponce. Investigadora Titular.  
Dra C Margarita Cobas Aranda. Investigadora Titular.

La Habana, Cuba  
Diciembre 2001

## **Agradecimientos.**

Dadas las múltiples actividades a las que he decidido dedicar mi vida, además del trabajo científico, hubiera sido para mí muy difícil emprender una obra de la envergadura de una Maestría en Ciencias, sin contar con el apoyo desinteresado, el estímulo oportuno y los buenos oficios de un grupo de personas, que, por suerte, siempre estuvieron, están, y, espero, estarán a mi alrededor.

Ellos fueron mis profesores en el Departamento de Física de la Facultad Eléctrica del ISPJAE, son mis compañeros de estudios y de trabajo y mis familiares. Mis mayores y mejores críticos. Mi inspiración para hacer realidad un sueño tan mío como de ellos.

A todos, vaya mi más profundo agradecimiento.

## **Dedicatoria:**

A mis padres, Juana María y Agustín

A mi hermano, Agustín Francisco

A mi esposo, Roberto

## RESUMEN

En Cuba se viene ampliando cada vez más no sólo la utilización, sino también el diseño, la fabricación y la comercialización de los equipos de tecnología láser, y este incremento, especialmente marcado en esferas de la actividad económica y social tan diversas como la medicina, la industria, la agricultura y la investigación, incluyendo la esfera militar y la restauración de obras de arte, no se ha visto acompañado de un aseguramiento metrológico consistente para las mediciones que se ejecutan en cada una de estas aplicaciones.

En la actualidad, salvo honrosas excepciones, no puede garantizarse el control metrológico, ni está establecido en el país el esquema de jerarquía para los instrumentos de medición involucrados, ni, por ende, la confiabilidad de las mediciones de las características de la radiación láser.

De aquí que el objetivo de esta investigación sea el establecimiento de las bases metodológico-organizativa, técnico-material y normativa del subsistema de aseguramiento metrológico de las mediciones de las características externas de la radiación láser.

Es conveniente aclarar que el alcance de la investigación involucra sólo a las características externas de la radiación láser, pues está destinada fundamentalmente a los usuarios de los láseres y equipos láser en diversas aplicaciones, que constituyen mayoría en el país, en relación con los productores de láseres. Por esta razón, en este caso, han sido consideradas la potencia media, la energía, la densidad de potencia y la densidad de energía de la radiación láser, las anchuras del haz, el ángulo de divergencia, el factor de propagación del haz, la estabilidad del posicionamiento del haz, y las características temporales: forma,

duración y frecuencia de repetición del pulso, para la radiación láser pulsada.

Otras características externas de la radiación láser, tales como la longitud de onda, la coherencia, o la polarización, serán objeto de futuras investigaciones.

Como resultado relevante, se presenta la proyección del desarrollo de este

tema en el país a partir de la propuesta de “Programa para el aseguramiento metrológico de las características externas de la radiación láser”, y el aporte principal de la investigación será palpable sólo ante la materialización del programa que se propone.

## INDICE

RESUMEN .....	4
INDICE.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	16
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
2.1. Acerca de la Metrología.....	20
2.2. Fundamentos del aseguramiento metrológico.....	22
2.3. Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición.....	28
2.4. Acerca de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo.....	30
2.5. Características externas de la radiación láser. Algo acerca de los métodos de medición y ensayo.....	31
CAPITULO III. SITUACION ACTUAL DE LAS MEDICIONES EN LA RAMA LÁSER EN LA REPÚBLICA DE CUBA.....	35
3.1. Introducción.....	35
3.2. Resultados del diagnóstico de la situación actual de las mediciones en la rama láser....	35
3.3. Discusión de los resultados.....	45
CAPÍTULO IV. PROYECCIÓN PARA EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO A LA RAMA LÁSER EN LA REPÚBLICA DE CUBA.....	53
4.1. Introducción.....	53

4.2. Programa de Aseguramiento Metrológico de las características externas de la radiación láser. ....	53
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	58
BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	60
ANEXO A. Comités Técnicos de Normalización en los organismos internacionales de normalización, relacionados con la óptica, el láser y los equipos láser.....	69
ANEXO B. Características de un sistema generalizado para los controles metrológicos sobre los medios de medición (y los sistemas).....	70
ANEXO C. Esquema Nacional de jerarquía.....	71
ANEXO D. Comparación entre la calibración y la verificación .....	72
ANEXO E. Estimado de los recursos necesarios para la ejecución del Programa de aseguramiento metrológico a la rama láser en la República de Cuba (para un período de tres años).....	73

## INTRODUCCIÓN.

Después de la aparición de los láseres, a comienzos de la década de los años '60 del siglo pasado, pronto se puso en claro que la energía y la potencia, por la propia naturaleza de la radiación óptica emitida por ellos, constituyen dos de sus características más importantes, y que la medición de éstas, con la mayor exactitud posible, resulta un elemento esencial, tanto para el desarrollo, como para el empleo de la tecnología láser, además de estar vinculadas estrechamente con la optimización y el control de los procesos en los que interviene la radiación láser.

En el extranjero, son varios los centros con experiencia en las mediciones de las características de la radiación láser y las aplicaciones de esta tecnología. De los que han presentado sus resultados y experiencias en Cuba pueden nombrarse, por ejemplo, el Centro de Investigaciones en Óptica(CIO), Unidad Aguas Calientes, y el Centro Nacional de Metrología, de México;

los Institutos de Metrología y Politécnico de Río de Janeiro, de Brasil; la Empresa Lambda Comunicaciones Ópticas S.L., la Unidad Biofísica y Física Médica del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Valencia, y la Asociación Industrial de Óptica (AIDO), Parque Tecnológico, de Valencia, de España; así como el Departamento de Materiales del Instituto Superior Técnico de Lisboa, de Portugal; y el Instituto de Electrónica Cuántica, de Italia.

Para ilustrar la situación en el orden nacional, vale la pena reproducir algunos párrafos de la fundamentación de la propuesta de Programa Ramal de desarrollo de instrumentación y tecnologías ópticas y del láser [33], preparada por un grupo de prestigiosos especialistas de esta rama.

“El láser se introdujo en Cuba en la década del 70, al surgir los primeros aparatos comerciales para la medicina y la investigación científica. En

esa misma década se comienzan a dar pasos en la construcción de láseres gaseosos. Ya en los '80 se instalan estaciones de rastreo de satélites en Santiago de Cuba y Camagüey. Actualmente, existen equipos láser, fundamentalmente médicos, en todas las provincias del país.

En 1984 el Consejo de Estado convocó a emprender un programa de alcance nacional para diseñar, desarrollar y construir equipos láser con destino a la salud pública, en el cual participaron el Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC), el Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF), el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría” (ISPJAE) y la Universidad de la Habana; ya en 1990 se financia la producción de instrumentos con este destino. Este empeño se tradujo en la introducción masiva en el país de equipos láser de fisioterapia y acupuntura (más de 200 unidades) en toda la red nacional de hospitales y, recientemente, en los consultorios del médico de familia de la montaña. Adicionalmente, una

cifra significativa de estos equipos se ha exportado, principalmente a América Latina. Con el uso de estas técnicas..... se creó una base de conocimiento, se formaron científicos y profesionales especializados en esta rama y se creó una cultura de uso, fundamentalmente en el sistema de salud cubano, destacándose, entre otras instituciones, el Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ), el Hospital “Hnos. Ameijeiras” y el Hospital “Carlos J. Finlay”. Además, se desarrollaron importantes aplicaciones en los centros de investigación de las FAR y el MININT.

Este desarrollo, a su vez, dio lugar a la creación de una de las primeras empresas mixtas (TECE S.A.) aprobadas en el país con destino a la producción de instrumentos, y en el orden internacional, permitió alcanzar un prestigio que nos hizo acreedores de obtener en 1999 la sede del Congreso Mundial de la sociedad Internacional de Láser en Medicina y Cirugía.

Por otra parte, se han diseñado y producido un grupo de equipos que

emplean estas técnicas con fines analíticos y de diagnóstico, los cuales han alcanzado un impacto en la industria farmacéutica, los hospitales, la industria azucarera y la agricultura. Los fluorímetros y espectrofotómetros desarrollados por el Centro de Inmunoensayos han alcanzado un elevado impacto en programas nacionales de diagnóstico y prevención de enfermedades y se exportan en cantidades apreciables. Cabe decir que toda la producción nacional de dextrosa se controla con polarímetros cubanos, y otra versión de estos instrumentos se ha introducido en importantes centrales del país a raíz del proceso de automatización de estas fábricas..... Además, ha sido introducido un servicio de grabado por láser y limpieza de superficies que se ha convertido en una fuente apreciable de ingresos en divisas..... También se desarrollaron, a nivel de prototipo, instalaciones tecnológicas para aplicaciones industriales del láser, y equipos de fototerapia que se han introducido en los servicios de atención primaria”.

Sin embargo, este desarrollo no ha ido aparejado de un aseguramiento metrológico consistente para las mediciones que se ejecutan en esta rama, y, por tanto, no pueden garantizarse la trazabilidad, la confiabilidad y la calidad de las mismas, si bien, en algunas de las entidades citadas anteriormente, han existido intentos serios de garantizar y demostrar la calidad de las mediciones que realizan.

En todo este contexto se insertan los primeros esfuerzos del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) para garantizar el aseguramiento metrológico de la rama láser. El Laboratorio de Ensayos del INIMET proyectó su trabajo en este campo en 1993, y en este año se adquirieron los primeros instrumentos de medición calibrados, con los cuales, por primera vez, fueron evaluados en Cuba equipos láser diseñados y producidos en el país para aplicaciones médicas y el control de la calidad de las producciones médico-farmacéuticas y azucareras, así como para la

medición de la energía y la potencia de la radiación láser.

En el año 1994 se conforma el Grupo Láser del INIMET, que es equipado con algunas instalaciones metrológicas destinadas a la calibración de instrumentos de medición de las características externas de la radiación láser, y a la determinación de dichas características. Se recibe, además, la asesoría de los especialistas del Instituto Central de Óptica Física de Rusia (VNII OFI), para la instalación y la explotación de dichos equipos.

A todo esto hay que agregar que el desarrollo impetuoso de la rama láser en el mundo ha determinado la necesidad de la creación de los Comités Técnicos de Normalización en los organismos internacionales de normalización (ver Anexo A), y éstos han ido estableciendo regulaciones cada vez más severas y específicas, referidas al uso de la radiación láser y los equipos láser, los requisitos de seguridad que deben cumplirse en cada caso, los vocabularios y los métodos de medición y ensayos a utilizar.

Lo antes expuesto determina la necesidad impostergable de contar en Cuba con la infraestructura para el aseguramiento metrológico a la rama láser, que contribuya a mantener bajo control las características metrológicas y técnicas de los láseres y equipos láser, que, por una parte, son indicadoras del estado técnico de los equipos, y por otra, están relacionadas con diversos aspectos de la seguridad del trabajo durante su empleo.

En la investigación realizada, el problema a resolver es cómo garantizar la confiabilidad de las mediciones de las características externas de la radiación láser, con el máximo rigor posible en las condiciones actuales del país.

Con este objetivo se realizó el diagnóstico de la situación actual de la temática en Cuba, a partir de:

- visitas a las entidades vinculadas con la misma,
- encuestas y entrevistas a especialistas y directivos de dichas entidades,
- búsqueda bibliográfica de las experiencias que ya han sido

publicadas, tanto en Cuba como en el extranjero, de los métodos de medición y ensayo que han sido normalizados, y de los requisitos y necesidades de un laboratorio metrológico para magnitudes fotométricas y radiométricas.

- del intercambio con especialistas extranjeros.

todo, con vistas a definir las tareas fundamentales que debían desarrollarse para la creación de las bases metodológico-organizativa, técnico-material y normativa del aseguramiento metrológico en la rama láser.

La hipótesis a comprobar con nuestra investigación puede enunciarse como sigue: **con las potencialidades actuales, humanas, materiales y financieras, y su completamiento con determinados recursos, es posible garantizar en Cuba el aseguramiento metrológico a las mediciones de las características externas de la radiación láser.**

La presente tesis expone las proyecciones para la creación de las bases metodológico-organizativa, téc-

nico-material y normativa del aseguramiento metrológico a la rama láser en Cuba, y demuestra la posibilidad real de su establecimiento, si se cuenta con la cooperación entre todas las entidades del país involucradas en la utilización de la tecnología láser o la producción de equipos láser.

Queda demostrado, además, que, es posible conformar un laboratorio metrológico con condiciones para someterse a un proceso de acreditación de su competencia técnica, que se encargue de la medición de las características externas de la radiación láser, e incluso, de la calibración de algunos equipos a partir del esquema de jerarquía que se establezca.

La actualidad y la novedad de la tesis estriban en el hecho de que es la primera vez que se presenta de una manera integral la proyección para el aseguramiento metrológico a la rama láser, a pesar de la explosividad de la demanda, el desarrollo, la producción y la utilización de la tecnología láser en la medicina, las investi-

gaciones, la agricultura y la industria, y otras ramas y actividades.

Esta tesis está conformada por cuatro capítulos, las conclusiones y las recomendaciones finales, así como una lista de las referencias bibliográficas, la bibliografía general, un glosario de términos y cinco anexos informativos.

En el **Capítulo I** se analizan las fuentes bibliográficas referenciadas, se comparan entre sí y se complementan.

Un tratamiento más profundo de los temas que se abordan se da en el **Capítulo II**, dedicado a la fundamentación teórica de la investigación, donde se han visto involucrados aspectos de la metrología, el aseguramiento metrológico, la acreditación de la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración, y los métodos de medición y ensayo de las características externas de la radiación láser, tratados a partir de las consideraciones más actualizadas sobre cada uno de los temas.

El **Capítulo III** analiza la situación actual de las mediciones en la rama láser en el país, a partir de los

resultados del diagnóstico realizado y ofrece la discusión de estos resultados.

En el **Capítulo IV** se presenta, en forma de programa, la proyección para el aseguramiento metrológico a la rama láser en Cuba, partiendo de la creación o completamiento de las bases metodológico-organizativa, técnico-material y normativa.

En las **Conclusiones** se analiza el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación, y se indica la solución al problema. Además, se incluyen las **Recomendaciones**, que de ser aceptadas e implementadas, permitirían los siguientes beneficios:

En el orden científico y tecnológico:

- Contribuir a la creación y/o asimilación de una base técnico-material sólida, al desarrollo y/o asimilación de métodos de ensayo y de medición, y a la creación de una base normativa nacional.
- Elevar el conocimiento y el rigor científico y tecnológico en la rama láser de manera integral, posibilitando que nuestro país ocupe una posición de avanzada y pueda intercambiar en términos

modes-tos, pero actuales, con los desa-rrrollados.

#### En el orden social:

- Contribuir a garantizar la confiabilidad y la seguridad de los equipos láser utilizados en el país en diversas aplicaciones: medicina, industria, agricultura, investigaciones.

#### En el orden económico:

- Asegurar en Cuba la trazabilidad de los instrumentos de medición de las características de la radiación láser que se producen y utilizan en el país, con un rigor científico que se corresponda con la práctica internacional, de la forma más económica posible.
- Contribuir a la fabricación nacional, para uso interno o para fondo potencialmente exportable, de láseres y equipos láser con fines médicos, industriales o investigativos con calidad competitiva en el mercado internacional, por cumplir con las regulaciones de las organizaciones internacionales, eliminando con ello barreras técnicas y facilitando el

intercambio de mercancías entre países.

- En el caso de los equipos médicos, importados o producidos en el país, coadyuvar a un control más riguroso de su seguridad.
- Evitar la pérdida de recursos humanos y materiales, pues al conocerse oportunamente los problemas que presentan los equipos, no se autorizará su fabricación o importación masiva, hasta la solución de los mismos.
- Ahorrar recursos financieros, al garantizar en el país, de manera centralizada, y con menor costo, algunas de las calibraciones y mediciones que actualmente son contratadas en el extranjero por parte de las entidades interesadas.

La bibliografía se ha dividido en dos partes: las **referencias bibliográficas** de la propia tesis, y la **bibliografía general**, donde se han incluido, en orden alfabético, todas las fuentes utilizadas a lo largo de la investigación. En la bibliografía general se han incluido, algunas normas del organismo de normalización de la

extinta Unión Soviética, GOS-STANDART, que ya han perdido su fuerza legal, por razones obvias, pero que mantienen su interés por lo que significan desde el punto de vista de los conocimientos acumulados y el rigor científico-técnico con que se abordan cada uno de los temas.

El **Glosario de términos** que se presenta ha sido escogido cuidadosamente, de forma tal que cada término tenga el mismo significado para todos los lectores, y se ha conformado a partir de los documentos normativos vigentes en el momento de la redacción de esta tesis, y en cada caso, se han tomado las fuentes más afines al tema tratado. Se han escogido los términos más importantes en las dos esferas del conocimiento que nos ocupan: la Metrología, y las magnitudes físicas y características relacionadas con la radiación láser.

Comoquiera que muchos de los documentos normativos utilizados han sido adoptados por Cuba como normas cubanas, o por la Comunidad Económica Europea, como normas

europeas, con versiones oficiales en idioma español, salvo en los casos en que se indique lo contrario, se presentan los términos y definiciones aprobados en este idioma. En el caso de que las fuentes estén sólo en idioma inglés, se presenta la traducción de los mismos.

En los **Anexos Informativos** se presenta información de cierto interés para los especialistas de la rama láser que se interesen en la Metrología. Por esta razón, se ha incluido, por ejemplo, la lista de los Comités Técnicos de Normalización de las organizaciones internacionales, que se dedican a la elaboración, aprobación, implantación y revisión de los documentos normativos sobre óptica, instrumentos ópticos, láseres y equi-pos láser, las características de un sistema generalizado para los controles metrológicos sobre los medios y sistemas de medición, un ejemplo de conformación de un esquema nacional de jerarquía, la comparación entre los términos calibración y verificación, y el costo estimado de la ejecución del programa que se propone.

## CAPÍTULO I. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.

La bibliografía utilizada en el tema que nos ocupa puede ser dividida en dos grandes grupos: los documentos relacionados con los aspectos metro-lógicos, y los relacionados con la parte técnica de la medición de las características externas de la radiación láser.

En Cuba, los fundamentos del asegu-ramiento metrológico fueron esta-blecidos a partir de la experiencia de los países del ex - campo socialista, y fueron expuestos por Gómez Napier y otros en 1972 [1]. El término asegu-ramiento metrológico aparece defi-nido ya en una norma cubana en 1980 [2, apdo.2.3.1.], y durante años fue desarrollado y enriquecido por la comunidad científica del país dedi-cada a la Metrología. Otro de los mu-chos artículos sobre este tema fue publicado por Revuelta Formoso y Valdés Pereira en 1987 [3], y posteriormente, fue utilizado en la tesis en opción al grado de Doctora en Ciencias por Reyes Ponce en 1990 [4].

Sin embargo, durante todos estos años, la concepción de aseguramiento metrológico, si bien en su esencia se ha mantenido invariable, ha ido evolucionando con el mismo dina-mismo que se ha impuesto al desa-rrollo tecnológico de la Humanidad, las nuevas formas de producción y los requerimientos cada vez mayores para la calidad de los productos.

Por esta razón, el concepto de aseguramiento metrológico debe ser ampliado, de manera que se tengan en cuenta, además de los aspectos que se tratan en las fuentes mencionadas, las condiciones actuales del desarrollo de la Metrología tanto desde el punto de vista teórico como experimental.

Por ejemplo, en los últimos años ha comenzado a utilizarse el concepto de incertidumbre, conocido en la Física y en la Metrología [5] desde hace mucho tiempo, con una concepción más amplia, como la contenida en los documentos normativos internacio-nales [6,7].

Por otra parte, se le ha dado mayor peso y amplitud al término calibración

[7, apdo.6.11], mientras que el de verificación [ 2, apdo.2.3.4. ], mantiene su importancia en los aspectos legales de la Metrología [30], y se han perfilado los requisitos de competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo [8]. En el Anexo D se presenta la comparación entre estas dos actividades.

Dentro del marco de las organizaciones internacionales de Metrología y de Normalización se ha definido también el término trazabilidad [7, apdo. 6.10], y, asociado con esto, se ha dado gran peso a las comparaciones claves (*key-comparisons*) entre patrones primarios seleccionados, y a otro tipo de comparaciones entre laboratorios de categorías diferentes, o iguales, con el objetivo de establecer los niveles de calidad de su práctica metrológica con fines de competitividad.

En este punto es conveniente aclarar que se han encontrado definiciones diferentes del término trazabilidad en los documentos internacionales: una

en el Vocabulario Internacional de términos generales y básicos de la Metrología [7 ], y otra en el Vocabulario sobre Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad [13 ]. Ambos documentos han sido adoptados como normas cubanas, y se utiliza una u otra definición del término trazabilidad en dependencia del campo de aplicación, sea que se trate de la propiedad del resultado de una medición, por el cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, o de la capacidad de reconstruir la historia, la utilización o la localización de una entidad por medio de identificaciones registradas. A los efectos de esta tesis, tendremos que usar las dos definiciones, por lo que en su momento se harán las aclaraciones pertinentes.

A todo lo anterior, debemos agregar que las organizaciones internacionales de Metrología y de Normalización se encuentran actualmente en el camino del perfeccionamiento de los requerimientos para la relación que debe existir entre instrumentos de medición patrones de una misma magnitud física, y su clasificación en

niveles. Esto se logra dentro de un esquema de jerarquía, cuya realización práctica es la cadena nacional de calibración en un país dado [9].

Estas organizaciones se han ocupado, además, de temas tales como el establecimiento de los principios generales de la confirmación metrológica para equipos de medición [10], la supervisión metrológica [11] y el aseguramiento del control metrológico [12].

Está claro que estos conceptos vienen a enriquecer la práctica metrológica en cualquier parte del mundo, si tenemos en cuenta que a partir del sistema económico, la organización del sistema legal y las condiciones y características específicas de cada país, se aplican el control y la supervisión metrológicos tanto a las unidades de medida, los instrumentos y métodos de medición, como a los resultados de las mediciones, y al personal que ejecuta las mismas.

En Cuba, por ejemplo, el Decreto-Ley N° 183 “De la Metrología” [34] establece el control metrológico de:

- los instrumentos de medición,

- las cantidades de productos, productos preenvasados y preempacados,
  - la verificación y la calibración, y
  - las marcas de control;
- así como la supervisión metrológica.

El segundo grupo de documentos está compuesto por la bibliografía y las normas técnicas que tienen que ver con los aspectos técnicos y prácticos de las mediciones de las características externas de la radiación láser [14-18], las características metro-lógicas de los instrumentos de medición involucrados en el proceso [19], los vocabularios y símbolos [20] y los requisitos que deben cumplirse, tales como los relacionados con la documentación acompañante de los equipos láser [21], o la seguridad [22-27]. Todas las normas de referencia utilizadas en esta tesis han sido aprobadas ya por los Comités Técnicos de la Organización Internacional de Normalización (ISO) o la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), están estrechamente relacionadas entre sí, y sirven de referencia unas a otras, de manera que forman un sistema coherente.

Sin embargo, entre las normas ISO 11145:1994 e ISO 11146:1999, ambas vigentes en el momento de la redacción de

esta tesis, se aprecian ciertas diferencias en las definiciones de las dimensiones del haz, tanto del diámetro, como de la anchura del haz en determinadas direcciones preferenciales. Mientras que la primera norma establece sus definiciones a partir de la parte de la potencia (o la energía) total del haz contenida o transmitida en una dirección, en la segunda norma las definiciones están basadas en el momento de orden dos del perfil de la potencia (o la energía). La propia norma ISO 11146:1999 explica que esto se debe a que en dependencia de la aplicación, puede ser más útil usar una u otra definición, porque, por ejemplo, el cálculo de la propagación del haz sólo es posible a partir de los factores de

propagación basados en las anchuras del haz y los ángulos de divergencia derivados de los momentos de orden dos de la distribución de densidad de potencia (energía). En ambas normas se han incluido notas en las que se indica que es de suponer que en la revisión de la ISO 11145:1994 se tenga en cuenta ese hecho y se unifiquen las definiciones de forma tal que se tengan en cuenta todas las aplicaciones posibles.

Mención aparte merece un clásico sobre el tema de la medición de las características de la radiación láser: H.G.Heard [14], cuya enumeración de las características externas e internas de los láseres ha resultado de gran utilidad en el diseño de la investigación que se presenta.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

### 2.1. Acerca de la Metrología.

La Metrología está presente en cada momento de la vida, en cada actividad social del individuo, en cada proceso productivo, y precisamente por su ubicuidad, pasa inadvertida la mayoría de las veces.

Desde los tiempos de la antigüedad, existió la tendencia a considerar los conocimientos científicos como los que poseen, en cualquier modo o medida, garantías de su propia validez, que quedaban expresadas en la capacidad de estos conocimientos para demostrar sus propias afirmaciones, describir situaciones o aspectos de la realidad, y corregir sus propias conclusiones.

Mendeleiev, científico ruso, dijo: "la ciencia comienza allí donde comienza la medición", Galileo, uno de los pensadores más importantes de la corriente descriptiva, dijo: "ciencia es medición", y Lord Kelvin: "cuando se puede medir aquello de lo cual se habla, y expresarlo en cifras, entonces se sabe algo acerca de eso". Aún cuando a la luz de los conocimientos actuales tales

opiniones pueden parecer un tanto exageradas, todas ellas son un reflejo de la importancia indudable de la medición en el proceso del conocimiento científico, porque elimina muchos subjetivismos y aporta rigor a las aseveraciones. El Vocabulario Internacional de Términos Generales y Básicos de la Metrología [7] la define como la "ciencia de las mediciones", y es posible coincidir con esta definición incluso sobre la base de las tesis fundamentales de la definición marxista de ciencia [28], porque:

- + La Metrología es un fenómeno social y forma parte del proceso de reproducción social.
- + La Metrología es un proceso de trabajo y una actividad especializada.
- + El conocimiento teórico es un elemento esencial de la Metrología.
- + Existe una clara relación entre el trabajo científico en Metrología y los procesos ideológicos y filosóficos.

- + En la Metrología, el conocimiento científico es parte integrante del trabajo social global.
- + La Metrología es una fuerza productiva directa.

Según Gómez Napier (1980) [1], la Metrología se ocupa, entre otras cosas, de los siguientes aspectos principales:

- La teoría general de la medición.
- Las unidades de magnitudes y sus sistemas.
- Los patrones de las unidades y magnitudes y la transmisión de éstas.
- Los métodos de medición.
- Los instrumentos de medición, su clasificación, construcción y características metrológicas.
- Los errores de las mediciones, su clasificación y métodos para determinarlos.
- El aseguramiento de la uniformidad de las mediciones y de los instrumentos de medición.

En la actualidad, habría que agregar a estos aspectos la evaluación de la incertidumbre de la medición, que ha resultado un tema de interés marcado para la comunidad cien-

tífica de todos los campos del conocimiento, y al que se han dedicado en los últimos años organismos y organizaciones del calibre de la ISO, la IEC, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), y la Federación Internacional de Química Clínica (IFCC).

Dieter Kind (1998) [32], quien presidió el Laboratorio Nacional de Metrología de Alemania (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, más conocido por PTB) desde 1975 hasta 1995, y el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) desde 1984 hasta 1996, consideró como “amplio y claro” el enunciado de la Academia de Ciencias de Francia, que se expresa de la siguiente forma:

“La Metrología puede ser definida como “la ciencia de la medición en combinación con la determinación de la incertidumbre”. La medición como tal no es una actividad exclusiva de la Metrología, pues cualquiera está en condiciones para medir. La esencia de la Metro-

logía radica, por el contrario, en la determinación de los resultados, especialmente por medio de la indicación de sus límites”.

Es por eso que en su artículo “Nuevas tareas para la Convención del Metro y los Institutos Nacionales de Metrología” [32], expuso que “de acuerdo con estas definiciones deberían evitarse expresiones como “Metrología científica”, “Metrología Industrial” o “Metrología química”, porque

esto da la impresión de que hubieran diferentes clases de Metrología, lo cual no es atinado. Se debiera mejor hablar de “Metrología en la ciencia”, “en la industria” o “en la química” si se entiende la aplicación o la trazabilidad de los resultados de las mediciones. Incluso la expresión “Metrología Legal”, la cual es familiar a través de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), debiera interpretarse mejor como Metrología en la esfera legalmente regulada”.

## **2.2. Fundamentos del aseguramiento metrológico.**

Como se explicó en el Capítulo I, en Cuba, los fundamentos del aseguramiento metrológico fueron expuestos por Gómez Napier y sus colaboradores por primera vez en 1980 [1]. Más tarde, Revuelta y Valdés (1987) [3] ampliaron el tema. Según ellos, el aseguramiento metrológico es un conjunto de actividades organizativas, técnicas, científicas y productivas desarrolladas por los órganos estatales y demás entidades de la economía nacional, con la finalidad de garantizar la requerida uniformidad y precisión de las mediciones,

que constituye un concepto aplicable, tanto a la economía nacional vista de forma integral, como a cada esfera, rama, actividad, magnitud, índice y/o resultado de la producción social.

Reyes Ponce (1990) [ 4 ] acota que la frase “uniformidad y precisión en las mediciones” debe ser entendida como la cualidad que tienen las mediciones cuando sus resultados son expresados en las unidades legales y sus errores son conocidos con una probabilidad dada.

Es posible ampliar este último concepto a partir de la introducción de la garantía de trazabilidad de las mediciones y una adecuada evaluación de sus incertidumbres. Históricamente [1,3,4], se han considerado tres bases para el aseguramiento metrológico: la base metodológico-organizativa, la base técnico-material, y la base normativa.

A la luz de los aspectos fundamentales del aseguramiento metrológico, en la actualidad estas bases pueden enunciarse, de forma resumida, como se indica en la Fig. 1.

En la actualidad, pueden asumirse como direcciones principales del aseguramiento metrológico las que se muestran en la Fig. 2.

De modo que para lograr los objetivos del aseguramiento metrológico se requiere la implantación y el uso de un sistema único de unidades de medida, garantizar la existencia y la uniformidad de instrumentos de medición y equipos de ensayo, la correspondencia de sus características metrológicas con los requisitos establecidos en la documentación técnica y las necesidades de la medición o del proceso tecnológico en los que están involucrados, su trazabilidad y su uso adecuado. Se

requiere, además, garantizar la utilización de métodos y procedimientos de medición validados, hayan sido normalizados o no, y la existencia de un personal capacitado para acometer, con la pericia necesaria, los trabajos de verificación, calibración, ensayos, y mantenimiento de los instrumentos de medición, que realice las mediciones y evalúe adecuadamente sus incertidumbres, en el marco de laboratorios de calibración y ensayos con competencia técnica acreditada de acuerdo con los documentos normativos vigentes.

El incumplimiento de cualquiera de estos requisitos pone en juego la uniformidad de las mediciones, y a pesar de que todos ellos se encuentran en amplia y profunda interrelación e interdependencia, formando un todo armónico inseparable, por lo general cada uno de los factores es proporcionado por una actividad diferente. De aquí que se imponga la centralización en la coordinación de todos los factores, para su mejor planificación, dirección y regulación.

Del conocimiento de las bases y de las direcciones principales del aseguramiento metrológico, puede inferirse el papel fundamental que desempeñan en esta actividad las mediciones, los instrumentos

de medición, y su adecuado control metrológico.

Los esfuerzos de las organizaciones internacionales, como la OIML, han estado dirigidos a armonizar las leyes y regulaciones metrológicas entre los países miembros, en particular, las referidas a los requisitos para mediciones e instrumentos de medición [10].

Entre los documentos de la OIML que han sido adoptados como normas cubanas, merece mención especial la NC OIML D-19:1994 [31], que establece las bases del control metrológico sobre la producción e importación de instrumentos de medición y tiene una amplia aplicación en campos tales como pesas y medidas, protección ambiental o medicina, e incluye consejos, procedimientos y factores influyentes relacionados con la conducta a seguir para la evaluación de modelo y la decisión a tomar para la aprobación de modelo que corresponda.

La norma NC-OIML-D16:1998 [12], establece que “los pasos claves en la fabricación y uso de un instrumento de medición, para el punto de vista de los fabricantes y usuarios son:

- determinar la necesidad de un instrumento de medición;

- diseñar y producir un prototipo;
- producir una cantidad;
- poner en servicio, calibrar si es necesario;
- usar el instrumento;
- reparar o modificar el instrumento.

En este proceso, los fabricantes y usuarios deben estar conscientes de los requisitos legales que deben cumplirse en las jurisdicciones en las que se lleva a cabo el negocio”.

En el Anexo B se indican las características de un sistema generalizado de controles metrológicos sobre los instrumentos de medición (y los sistemas), según la NC-OIML-D16:1998.

De entre todos los elementos de un sistema de control metrológico, la verificación, y sobre todo la calibración, retendrán nuestra atención.

Para Sommer y otros (2001) [30], la calibración y la verificación son dos procedimientos que tienen objetivos y resultados comparables. Estos autores consideran que “las acciones más importantes para asegurar la correcta indicación de los instrumentos de medición son, para la metrología “industrial” (léase “en la industria”), la calibración regular de

los instrumentos de medición de acuerdo con el sistema de calidad implantado, y para la metrología “legal” (léase “en la esfera legalmente regulada”), la verificación periódica o el ensayo de conformidad de los instrumentos de medición de acuerdo con regulaciones legales”. El Anexo D muestra la comparación entre la calibración y la verificación establecida por estos autores. Según la norma NC 90-00-02:1980 [2, apdo.2.3.4.] la verificación de un instrumento de medición es el conjunto de operaciones ejecutadas por un órgano del servicio Metrológico Nacional, con el fin de determinar los errores del instrumento de medición y establecer su aptitud para el uso, mientras que el VIM [7, apdo.6.11] define la calibración como el conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un

instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores reportados por patrones.

El patrón de que se habla en la definición de calibración, puede ser lo mismo un material de referencia que un instrumento de medición, una instalación especialmente designada para materializar una unidad o un múltiplo o submúltiplo de esa unidad. Para lograr esto, se toman como referencia, tanto como sea posible, a los fenómenos naturales que se reproducen constantemente con un alto grado de exactitud.

Los patrones de una misma magnitud deben estar relacionados entre sí de tal forma que cada patrón sea adaptado para un determinado uso.

Fig. 1. Bases del Aseguramiento Metrológico.

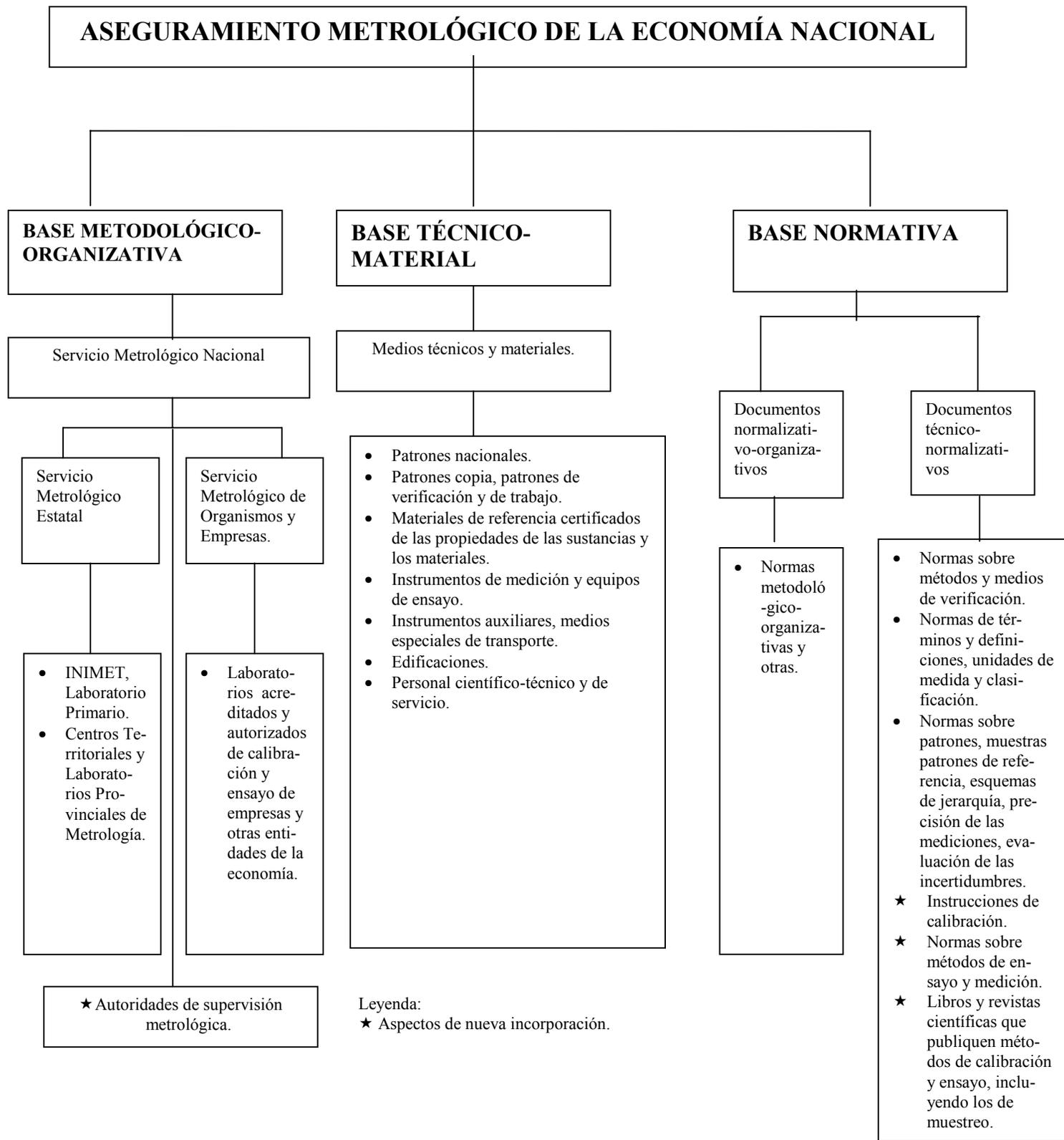


Fig.2. Direcciones principales del aseguramiento metrológico.



Leyenda:

★ Aspectos de nueva incorporación.

### **2.3. Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición.**

En el apartado anterior se indica la interrelación que debe existir entre patrones de medición de una misma magnitud física. Esta interrelación debe estar conformada de manera que la incertidumbre de medición asociada a cada uno de ellos permita establecer una determinada jerarquía.

A estos efectos, esta jerarquía representa la secuencia de etapas utilizadas para relacionar las características de cualquier instrumento de medición con respecto al patrón primario para la magnitud considerada. La jerarquía de los instrumentos de medición de la magnitud se concreta en forma de una cadena de calibración cuyo objetivo es mantener la exactitud de los instrumentos de medición en uso, y cuya forma depende de las características específicas de cada país [9]. El Anexo C reproduce el Anexo II de la NC-OIML D5:1996 y muestra un ejemplo de la realización práctica de un esquema de jerarquía: la cadena de calibración.

Una cadena de calibración, para una magnitud dada, comprende un conjunto de patrones y los medios para comparar esos

patrones entre sí, asegurando la trazabilidad de las mediciones en cada una de las aplicaciones, con aquellas del laboratorio que posee el patrón primario nacional, es decir, la trazabilidad de los instrumentos de medición en uso con el patrón nacional.

Los esquemas de jerarquía deben proporcionar la información siguiente, referente a los diferentes niveles y a los patrones que deben ser incluidos:

- principios conocidos utilizados para la realización de los patrones, con ejemplos de ejecución práctica,
- incertidumbre referente a la libertad de sesgo de los patrones, la cual no puede ser excedida en cada nivel, tomando en cuenta el desarrollo científico y técnico en el campo considerado,
- campos de medición en los cuales los patrones son válidos,
- métodos de referencia de valores y dispositivos de transferencia recomendados para los diferentes niveles, con una relación, y donde sea posible, la evaluación de las mediciones que éstas pueden admitir,

- estabilidad de los patrones y reproducibilidad de las mediciones en el tiempo y métodos utilizados para garantizar que los patrones posean esas cualidades,
- periodicidad de calibración,
- disposiciones recomendadas para la conservación de los patrones

La NC-OIML D5:1996, además, establece la estructura teórica de un esquema de jerarquía nacional, dividiéndolo en niveles. De esta forma, en el nivel 1 se encuentran el patrón primario nacional, así como el patrón duplicado o patrones que se destinan al control de la invariabilidad del patrón primario o para sustituir ese patrón en caso de extravío o de pérdida de las cualidades metrológicas.

En el nivel 2 se encuentran los patrones secundarios obtenidos por comparación con el patrón primario, utilizando métodos y medios variables, según las magnitudes concernientes. En el nivel 3 se encuentran los patrones de trabajo de tercer orden obtenidos por comparación con los patrones de referencia. Estos patrones pueden diferir en naturaleza o diseño de los patrones de referencia, bien sea para proporcionar facilidad en su manipulación o transporte, o para reducir los costos.

Los métodos y medios utilizados para la comparación entre los patrones secundarios y de trabajo son los más importantes, ya que ellos no son idénticos y por eso su comparación se hace más delicada.

Un patrón de trabajo es utilizado para:

- verificar instrumentos comunes de trabajo con un grado de exactitud menor,
- calibrar instrumentos de medición considerados como patrones de trabajo con un grado de exactitud menor. (Entonces el patrón de trabajo es considerado como un patrón de referencia y conservado bajo buenas condiciones, de forma tal que su comparación con el patrón secundario pueda ser efectuada con menos frecuencia).

En el nivel 4 se encuentran los patrones de trabajo obtenidos por comparaciones con patrones de trabajo de tercer orden, considerados como patrones de referencia.

Para un esquema de jerarquía internacional, la misma norma establece que deben indicarse los enlaces existentes entre el patrón internacional y el patrón nacional.

Dadas las características de las mediciones en la rama que nos ocupa, es necesario enfatizar, además, en los siguientes aspectos de la norma antes mencionada:

- a veces es necesario definir un grupo de rangos para una misma magnitud física, en los cuales se utilizan patrones diferentes, incluso en el mismo nivel del esquema de jerarquía. por lo tanto, es necesario definir, tan estrechamente como sea posible, los rangos de valores para la magnitud considerada y también los errores que pueden ser encontrados y que no deben ser excedidos en cada uno de los campos.

Los rangos adyacentes deben solaparse, presentando una zona común en la cual puedan ser comparados los resultados de las mediciones efectuadas con los patrones utilizados en esa zona común.

- la relación entre los patrones de un mismo nivel puede hacerse, al menos,

de cualquiera de las tres formas siguientes:

- ➔ tomando uno como patrón del otro;
- ➔ utilizando un patrón de comparación transportable, llamado patrón viajero, que es comparado sucesivamente con los dos patrones examinados;
- ➔ comparando simultáneamente esos dos patrones al mismo fenómeno físico.

#### **2.4. Acerca de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo.**

Por su importancia para el desarrollo futuro del aseguramiento metrológico de la rama láser, se dedica un espacio al tema de la acreditación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo.

La norma cubana NC-ISO/IEC 17025:2000 [8] contiene todos los requisitos que deben

cumplir los laboratorios de calibración y ensayo para demostrar que operan un sistema de calidad, que son técnicamente competentes, y que son capaces de generar resultados técnicamente válidos. Es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de personal

o de la magnitud del alcance de las actividades de ensayo y/o calibración, y abarca los ensayos y calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el laboratorio.

Son muchos los factores que determinan la exactitud y la confiabilidad de los ensayos y/o calibraciones realizados por un laboratorio. Estos factores pueden incluir elementos que provienen de:

- factores humanos;
- instalaciones y condiciones ambientales;
- los métodos de ensayo y/o calibración y la validación de los métodos;
- equipos;
- trazabilidad de la medición;

- muestreo;
- manipulación de los objetos de ensayo y/o calibración.

El grado en que cada uno de estos factores contribuye a la incertidumbre total de la medición difiere considerablemente entre tipos de ensayos o de calibraciones.

El laboratorio debe tomar en cuenta estos factores en el entrenamiento y la calificación del personal, y en la selección y la calibración de los equipos que utiliza, así como en el desarrollo de métodos y procedimientos de calibración y ensayo, y su validación.

## ***2.5. Características externas de la radiación láser. Algo acerca de los métodos de medición y ensayo.***

El trabajo que han venido desarrollando los Comités Técnicos de Normalización de los organismos internacionales nos pone en una situación relativamente cómoda con respecto al desarrollo de métodos y procedimientos de calibración y ensayo de las

características externas de la radiación láser.

Heard (1968) [14] divide las características de la radiación láser en externas e internas, de la forma siguiente:

Características externas de la radiación láser:

1. Potencia.
  - a) Densidad de potencia en campos cercanos y lejanos.
  - b) Distribución de la potencia en el haz.
2. Energía
  - a) Densidad de energía en el campo cercano y el lejano.
  - b) Distribución de la energía en el haz.
3. Divergencia angular y anchuras del haz.
  - a) Variación de la divergencia angular en el campo cercano y el lejano.
4. Longitud de onda.
  - a) Espectro y su dependencia temporal.
5. Coherencia.
  - a) Coherencia espacial.
  - b) Coherencia temporal.
  - c) Coherencia recíproca.
6. Polarización.
  - d) Estabilidad a corto y largo plazos, y sus límites.
  - e) Reestablecimiento de la frecuencia y sus límites.
2. Ganancia.
  - a) Parámetros que determinan su existencia.
  - b) Pérdidas en el medio.
  - c) Pérdidas en la cavidad óptica.
  - d) Métodos de ajuste de la salida.
  - e) Efectos de saturación y estrechamiento de la línea.
  - f) Métodos eficientes de utilización de la energía almacenada.
3. Ruido.
  - a) Fuentes intrínsecas y extrínsecas.
  - b) Distribución espectral y sus propiedades.
4. Modulación.
  - a) Tipos y técnicas.
  - b) Detección.

#### Características internas del láser.

1. Modo espectral
  - a) Frecuencias discretas en la línea espectral.
  - b) Ancho de banda en un modo aislado.
  - c) Valores absolutos y relativos de la frecuencia.

En cuanto a los equipos láser, fundamentalmente los instrumentos de medición y detectores de la potencia y la energía de la radiación láser, la norma IEC 61040:1990 [19] establece como principales características metrológicas las siguientes:

- Variación de la respuesta con el tiempo.

- No-uniformidad de la respuesta sobre la superficie del detector.
- Variación de la respuesta durante la irradiación.
- Dependencia de la respuesta con respecto a la temperatura.
- Dependencia de la respuesta con respecto al ángulo de incidencia para la radiación no polarizada.
- Dependencia de la respuesta con respecto a la potencia radiante o la energía radiante (no-linealidad).
- Dependencia de la respuesta con respecto a la longitud de onda.
- Dependencia de la respuesta con respecto a la polarización, para la radiación linealmente polarizada.
- Errores en la promediación con respecto al tiempo de repetición de la radiación pulsada.
- Deriva del cero.
- Incertidumbre de calibración.

Como se había dicho en la Introducción, en esta Tesis se presta atención fundamentalmente a las características externas de la radiación, y los métodos de medición y ensayo de los mismos. Queda abierto el camino para las investigaciones correspondientes al aseguramiento metrológico

de las mediciones de las características internas de los láseres, lo que sería de especial interés para los productores nacionales de láseres que empiezan a aparecer, sí como las investigaciones correspondientes a los medios y métodos de calibración y/o determinación de las características metrológicas de los detectores e instrumentos de medición que se utilizan en esta rama.

Los métodos de medición de algunas de las características externas de los láseres se describen ya en las normas internacionales, las cuales normalizan métodos de medición para la potencia, la energía y las características temporales del haz de radiación láser [15], la estabilidad posicional del haz [16], la distribución de la densidad de potencia y energía del haz de radiación [17], y las anchuras del haz, los ángulos de divergencia y el factor de propagación del haz [18].

Estas normas, elaboradas por el Comité Técnico # 172 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) especifican los métodos para la determinación de estas características, pero dejan abierta la posibilidad de utilizar otros métodos, que pueden ser desarrollados en los distintos laboratorios, siempre que se demuestre su

validez. Vale decir en este punto que en el país se han venido realizando algunos trabajos interesantes con relación al desarrollo de métodos de medición de algunas de las características externas de la radiación láser.

Por ejemplo, la ISO establece [15] que en el caso de la potencia y la energía, el principio de medición consiste en hacer incidir el haz de radiación láser sobre la superficie de un detector para producir una señal eléctrica con amplitud proporcional a la potencia o la energía del láser. Se mide la amplitud en un intervalo de tiempo, y se utilizan dispositivos para la formación o la atenuación del haz, según sea necesario. El método de evaluación entonces depende de la característica que se desea determinar.

Esto ha sido utilizado por los investigadores del Grupo Láser del CEADEN para la creación de instrumentos de me-

dición de la energía y la potencia de la radiación láser.

En otra de las normas [18] se establece un método para la determinación de las anchuras del haz, que han sido asimilados y adecuados a las condiciones de nuestros laboratorios con resultados satisfactorios. Al respecto, podemos citar los trabajos de Mendoza y Martí (1968) [29], relacionados con la medición de las dimensiones del haz.

En realidad, si tenemos en cuenta las condiciones reales del país, el camino del aseguramiento metrológico de la rama láser en Cuba pasa por la creación de nuestros propios patrones, y el desarrollo y la validación de métodos de medición que logren integrar de manera creativa los conocimientos alcanzados por la Humanidad en esta esfera de su actividad.

## **CAPITULO III. SITUACION ACTUAL DE LAS MEDICIONES EN LA RAMA LÁSER EN LA REPÚBLICA DE CUBA.**

### ***3.1. Introducción.***

El incremento en nuestro país de la presencia de la tecnología láser en esferas de la actividad económica tan diversas como la medicina, la industria, la agricultura, la investigación, e incluso, la recreación, impone la necesidad de reflexionar acerca de las posibilidades reales del país para asegurar la trazabilidad y la confiabilidad de las mediciones de las características externas de la radiación láser y la seguridad de la utilización de los láseres y aparatos láser.

En este Capítulo se resume el resultado del diagnóstico realizado entre los años 1997 y 2000 en las principales entidades del país que utilizan y/o producen láseres y aparatos láser para diversas aplicaciones. Se muestran las características metrológicas fundamentales de los aparatos láser más utilizados o fabricados en el país y los instrumentos existentes para la medición de estas características, y finalmente, se aborda la situación actual de la trazabilidad de estas mediciones.

### ***3.2. Resultados del diagnóstico de la situación actual de las mediciones en la rama láser.***

Para el diagnóstico se visitaron las entidades usuarias de los láseres y aparatos láser enclavadas en la Ciudad de la Habana, teniendo en cuenta que es en la capital donde se encuentra la mayor concentración de este tipo de tecnología. Se realizaron

encuestas y entrevistas a especialistas y directivos de dichas entidades y se revisaron los manuales de usuario de los instrumentos de medición existentes. Los resultados de estas visitas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del diagnóstico de la situación metrológica de la rama láser en Cuba.

Instalación	Composición	Características técnicas	Pertenece a
Instalación patrón para la medición de potencia media de la radiación láser.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láser de He-Ne, 1 mW de potencia, <math>\lambda=632,8</math> nm</li> <li>• Wattímetro óptico con cabezal fotorreceptor.</li> <li>• Canal de control, constituido por fotodiodo de Si y multímetro digital.</li> <li>• Láser semiconductor, continuo y de pulsos, con <math>P_{media}=1,5</math> mW, <math>\lambda= 828</math> nm</li> </ul>	<p><u>Caract. técnicas del Wattímetro patrón:</u>  Rango espectral:  De trabajo: De 750 a 950 nm  Adicional:  De 400 a 1000 nm  Long. de onda de calibración: 630 y 828 nm  Rango de medición:  De <math>10^{-8}</math> a <math>10^{-1}</math> W  <u>Error básico:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en las longitudes de onda de calibración: 5 %</li> <li>• en las mediciones relativas, en los subrangos:  De <math>10^{-8}</math> a <math>10^{-4}</math> W:1%  De <math>10^{-4}</math> a <math>10^{-3}</math> W:1,5 %  De <math>10^{-3}</math> a <math>10^{-1}</math> W: 2 %</li> <li>• para rango espectral de trabajo: 7 %</li> <li>• para rango espectral adicional: 8 %</li> </ul>	Grupo Láser INIMET
Instalación para la medición de la no-linealidad de receptores de radiación óptica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lámpara de halógeno-cuarzo tipo KGM 9-70 ó KGM 12-100</li> <li>• Bloque de diafragma con óptica.</li> <li>• Bloque del receptor a investigar.</li> <li>• Juego de filtros.</li> <li>• Fibra óptica.</li> <li>• Dos fuentes de alimentación tipo B5-70 .</li> </ul>	Potencia de la radiación óptica con los diafragmas abiertos: $\geq 1$ W Potencia óptica mínima a la salida de la fibra óptica, no mayor que $10^{-10}$ W	Grupo Láser INIMET.
Instalación patrón para la medición de niveles bajos de energía de la radiación láser pulsada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidor piroeléctrico de energía.</li> <li>• Cabezales piroeléctricos (2)</li> <li>• Cabezal fotorreceptor.</li> </ul>	Rango espectral de trabajo: De 250 a 1200 nm . Rango de mediciones: De $10^{-10}$ a 1 J Límites del error básico, para los subrangos: De $10^{-6}$ a 1 J : $\pm 6$ %	Grupo Láser INIMET.

Instalación	Composición	Características técnicas	Pertenece a
		De $10^{-7}$ a $10^{-6}$ J : $\pm 9,3$ % De $10^{-10}$ a $10^{-7}$ J : $\pm 9$ % Error adicional dependiendo de la temperatura del medio ambiente, de 5 a 40 °C: 0,25 %/°C Rango de duración de los impulsos, en los subrangos: De $10^{-6}$ a 1 J, $f \leq 50$ Hz: De $10^{-8}$ a $10^{-4}$ $f \leq 5$ Hz: De $10^{-8}$ a $10^{-3}$ De $10^{-10}$ a $10^{-6}$ , $f \leq 5$ Hz: De $10^{-8}$ a $10^{-6}$	
Instalación patrón para la medición de potencia máxima de los impulsos de la radiación óptica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloque óptico (fotodiodo de Si con termostato)</li> <li>• Bloque de medición.</li> <li>• Juego de fuentes cuasi-monocromáticas de impulsos (<math>\lambda=850</math> ; 910 y 1060 nm)</li> <li>• Generador de impulsos tipo G5-54</li> <li>• Fuente de alimentación de corriente continua B5-50</li> <li>• Juego de filtros de luz.</li> </ul>	Rango espectral de trabajo: De 600 a 1100 nm . Long. de ondas de trabajo: 850 ; 910 ; 1060 nm Rangos de medición: Para $\lambda = 850$ nm Con objetivo y filtros: De $6 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-1}$ W Con fibra óptica: De $5 \cdot 10^{-6}$ a $2 \cdot 10^{-4}$ W Para $\lambda = 910$ nm Con objetivo y filtros: De $6 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-1}$ W Con fibra óptica: De $5 \cdot 10^{-6}$ a $1,8 \cdot 10^{-4}$ W Para $\lambda = 1060$ nm Con objetivo y filtros: De $6 \cdot 10^{-6}$ a $8 \cdot 10^{-1}$ W Con fibra óptica: De $5,3 \cdot 10^{-6}$ a $2,1 \cdot 10^{-4}$ W Frecuencia de repetición de los impulsos: De 30 a $10^4$ Hz Duración de los impulsos por el nivel de 0,5 del valor máximo: De 30 a 300 ns Diámetro del haz a medir: $\leq 110$ mm Límite permisible de error relativo en las longitudes de onda de trabajo: $\leq 7$ % Error complementario de las mediciones: $\leq 3$ %	Grupo Láser INIMET.

Instalación	Composición	Características técnicas	Perteneciente a
		Error instrumental: $\leq 3\%$	
Instrumento de medición patrón para la verificación de biofotómetros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bloque de medición</li> <li>Bloque óptico.</li> </ul>	Límite de medición del coeficiente relativo diferencial de reflexión: De 25 a 100 % Longitudes de onda de las fuentes: De 690 a 930 nm Límite permisible del error de medición: $\leq 8\%$	Grupo Láser INIMET.
Medidor de potencia y energía láser LCE-1C LASER POWER/ENERGY METER	Bloque de medición	Rango energético: De 100 $\mu$ J a 1 J Rango de potencia: De 100 $\mu$ W a 100 mW De 100 mW a 10 W De 1 a 100 W (en dependencia de los detectores utilizados) Error no mayor que 5% (factor de calibración 1,05)	Grupo Láser INIMET.
Equipo medidor de potencia láser DIGITAL LASER POWER METER LM-5	Bloque de medición	Rango de medición: Hasta 100 mW Error no mayor que 2%	Grupo Láser INIMET.
Equipo medidor de potencia de radiación láser LM-1	Bloque de medición	Rango de medición: hasta 100 mW, calibrado para $\lambda=632,8$ nm	CEDEIC
Monocromador de prisma doble	Monocromador	Rango de medición: De 380 a 1000 nm Resolución= 0,1 nm	CEDEIC
Monocromador de difracción.	Monocromador	Rango de medición: De 200 a 2000 nm Resolución = 0,1 nm	CEDEIC
Láseres de He-Ne	Láser	Longitudes de onda: 632,8; 1152,3; 3390 nm Potencia: 1,5; 2; 10 y 25 mW	CEDEIC
Diodo láser de GaAs	Diodo láser	$\lambda=905$ nm; P=7 mW	CEDEIC
Diodo láser de Al-Ga-I-P	Diodo láser	$\lambda \approx 670$ nm; P=3 mW	CEDEIC
Láser continuo de CO <sub>2</sub> .	Láser	$\lambda = 10,6$ $\mu$ m, potencia hasta 20 W, variación en la potencia en el orden del 1 %.	Grupo Láser CEADEN
Láser continuo de He-Ne.	Láser	$\lambda = 632,8$ nm, potencia hasta 2 mW	Grupo Láser CEADEN
Medidor de potencia y energía LM-03	<ul style="list-style-type: none"> <li>detector piroeléctrico</li> <li>fotodiodo de Si.</li> <li>termopar enfriado por aire</li> </ul>	Rango energético: De 100 $\mu$ J a 1 J Rango de potencia: De 100 $\mu$ W a 100 mW	Producido por el Grupo láser del CEADEN.

Instalación	Composición	Características técnicas	Pertenece a
	<ul style="list-style-type: none"> <li>termopar enfriado por agua.</li> </ul>	De 100 mW a 10 W De 1 a 100 W (en dependencia de los detectores utilizados) Resolución 1 % a plena escala.	
Medidor digital de energía y potencia de la radiación láser LM-07	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unidad principal de procesamiento análogo-digital</li> <li>Tres cabezales de medición.</li> </ul>	<u>Detector piroeléctrico de energía:</u> Rango espectral: UV hasta IR lejano Rango energético: De 100 $\mu$ J a 1 J Sensibilidad: 10 V/J Energía mínima detectable: 10 $\mu$ J Duración máxima del pulso: 1 ms Frecuencia de pulsos: 20 Hz Error de la medición: 7 % <u>Detector con fotodiodo:</u> Rango espectral: Del visible al IR-cercano Rango de potencia: De 100 $\mu$ W a 100 mW Resolución máxima: 1 $\mu$ W Sensibilidad: 100 V/W Error de medición: 5 % Detector térmico: Rango espectral: Del UV al IR-lejano Rango de potencia: De 100 mW a 100 W Resolución máxima: 1 mW Sensibilidad: 100 mV/W Error de medición: 5 %	Producido por el Grupo láser del CEADEN.
Medidor de potencia media y energía de la radiación láser IMO-2N	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detector piroeléctrico</li> <li>Fotodiodo de Si.</li> <li>Termopar enfriado por aire</li> <li>Termopar enfriado por agua.</li> </ul>	Rango de potencia media: De 0,3 mW a 100 W Rango energético: De 3 mJ a 10 J Diámetro del rayo láser: De 4 a 12 mm Escalas de medición: potencia media: 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1 W . energía: 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10 J Error de medición: potencia media: 5 %	Grupo Láser CEADEN

Instalación	Composición	Características técnicas	Perteneciente a
		energía: 7 % Diámetro de apertura: 14 mm Tiempo mínimo entre mediciones: potencia media: 5 min energía: 3 min Tiempo de calentamiento: 30 min	
Fotómetro/radiómetro Laser-Optronic, modelo 210.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloque de medición.</li> <li>• Cabezal con fotodiodo de silicio.</li> <li>• Filtro fotométrico (verde)</li> <li>• Filtro radiométrico (azul).</li> </ul>	Rango de medición potencia: De $10^{-2}$ a $10^4$ $\mu$ W. energía: De $10^{-2}$ a 10 $\mu$ J	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDT)-MININT
Radiómetro LASERSTAR, de la firma OPHIR OPTRONICS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloque de medición.</li> <li>• Cabezal piroeléctrico.</li> <li>• Cabezal con termopilas.</li> <li>• Cabezal con fotodiodo de Si .</li> </ul> <p><u>Nota:</u> Tiene posibilidades de acople a una computadora, con software para el procesamiento de los datos.</p>	Rango de medición: potencia: De 0,3 mW a 30 W Rango de energía: De 3 mJ a 10 J. Valor máximo de densidad de potencia media: 50 W/cm <sup>2</sup> Error de medición: potencia media: $\pm 5$ % energía: $\pm 7$ %	Dpto. de Optoelectrónica del Centro de Neurociencias de Cuba.

La mayoría de todos los instrumentos de medición que se encontraban en uso no estaban calibrados. La única excepción la constituía el radiómetro LASERSTAR del Centro de Neurociencias de Cuba, que había sido adquirido con su certificado de calibración, válido hasta agosto del año 2000.

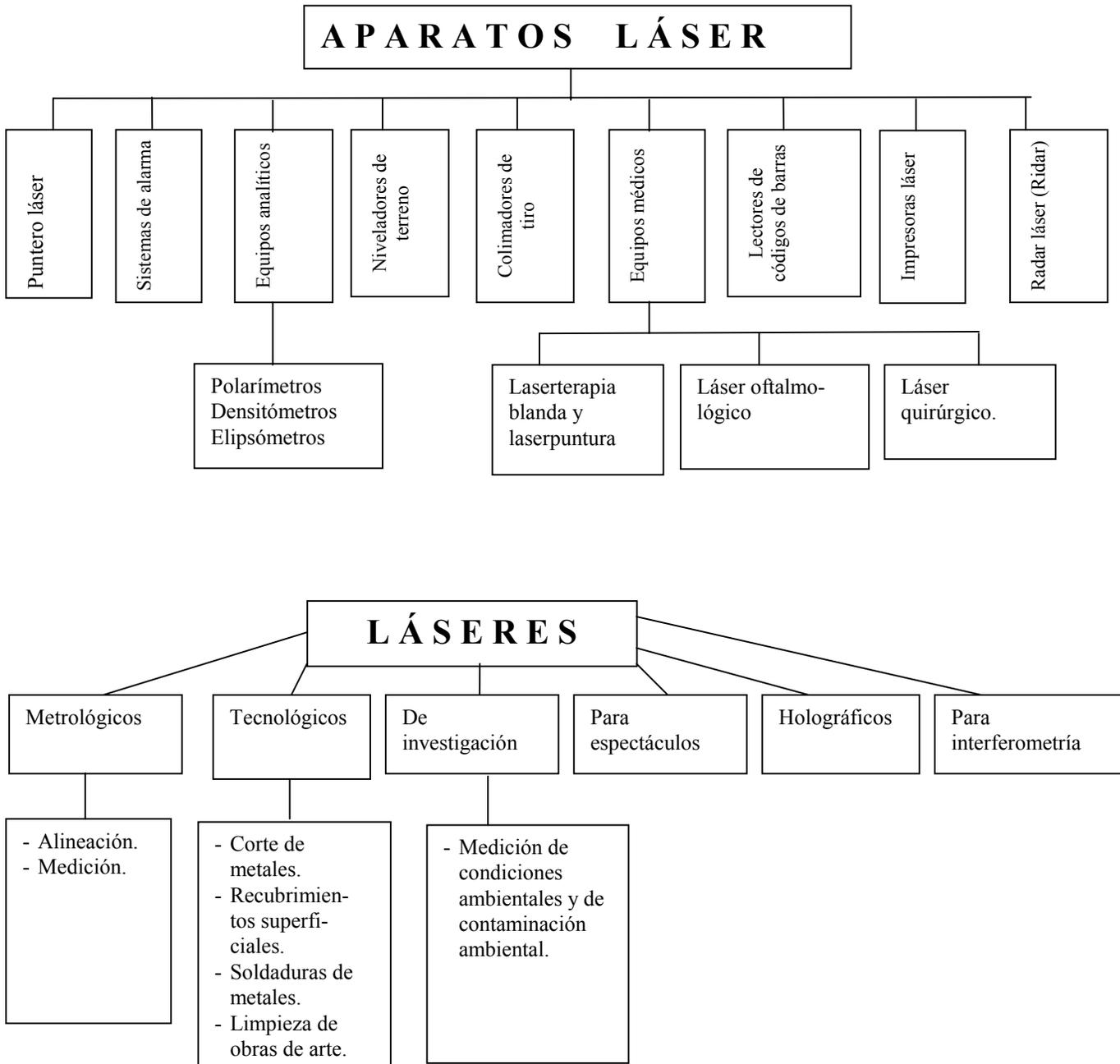
En el segundo semestre del año 2001 se realizó la calibración en Rusia del wattímetro óptico de la instalación patrón para

la medición de la potencia media de la radiación láser, que pertenecía ya al Grupo Láser del CEADEN.

La situación encontrada en la rama láser entre los años 1997 y 2001 se resume en las figuras y tablas que se presentan a continuación.

La Fig. 3 muestra los principales campos de aplicación de los láseres y aparatos láser en Cuba.

Fig. 3 Principales campos de aplicación de los láseres y aparatos láser en Cuba.



La Tabla 2 muestra las principales entidades usuarias de la tecnología láser en el país, y las aplicaciones fundamentales de dicha tecnología.

Tabla 2. Principales entidades usuarias de la tecnología láser en Cuba.

Entidad	Principales aplicaciones de la tecnología láser.
Sistema Nacional de Salud (Clínica Internacional “Cira García”, CIMEQ, CEDMED, Hospital “Hnos. Ameijeiras”, Red Nacional de Fisioterapia, Estomatología y Oftalmología).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cirugía mediante láser.</li> <li>• Análisis de material biológico en los laboratorios clínicos.</li> <li>• Laserterapia blanda y laserpuntura para aplicaciones médicas y estomatológicas.</li> <li>• Turismo de salud.</li> <li>• Oftalmología</li> </ul>
Centros del Polo Científico (CEADEN, CNIC, CIGB, Centro de Inmunoensayos, ICID, CIREN, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación.</li> <li>• Aseguramiento de la calidad.</li> <li>• Medición de las características de la radiación láser.</li> <li>• Desarrollo y producción de instrumentos.</li> <li>• Irradiación de material biológico.</li> </ul>
Ministerio del Azúcar (ICINAZ, CAI azucareros).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aseguramiento de la calidad de procesos.</li> <li>• Automatización de procesos azucareros.</li> </ul>
Ministerio de la Agricultura (INIFAT, Instituto del arroz).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveladores de terreno.</li> <li>• Rendimiento agrícola.</li> </ul>
ISPJAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Docencia.</li> <li>• Investigación.</li> <li>• Aplicaciones tecnológicas.</li> </ul>
IMRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediciones de las características de la radiación láser.</li> <li>• Aplicaciones tecnológicas.</li> <li>• Limpieza y grabado de superficies.</li> </ul>
INIMET	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control metrológico.</li> <li>• Evaluación de modelo de los instrumentos diseñados y producidos en el país.</li> <li>• Calibración de instrumentos de medición.</li> <li>• Empleo de láseres metrológicos.</li> </ul>
Centros de investigación de las FAR y el MININT.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones tecnológicas y militares.</li> <li>• Investigación.</li> </ul>
Delegaciones Territoriales del	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radar láser.</li> </ul>

Entidad	Principales aplicaciones de la tecnología láser.
CITMA en Camagüey y Santiago de Cuba.	

La Tabla 3 presenta las principales entidades productoras de tecnología láser en el país y el tipo de equipos producidos. En

dicha tabla se indica el CEDEIC con vida propia, debido a que la fusión con el CEADEN se produjo en el año 2000.

Tabla 3. Principales entidades productoras de tecnología láser en el país.

Entidad	Tipo de equipos producidos
Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láseres gaseosos (N<sub>2</sub>)</li> <li>• Instrumentos de medición de características de la radiación láser.</li> <li>• Instrumentos de medición.</li> </ul>
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrumentos de medición y análisis.</li> <li>• Instrumentos analíticos (polarímetros, densitómetros, contadores de partículas, etc.)</li> <li>• Equipos médicos para laserpuntura y laserterapia blanda.</li> </ul>
Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos para laserterapia blanda y laserpuntura.</li> <li>• Láseres semiconductores.</li> <li>• Ensamblaje de láseres de Nd-YAG</li> </ul>
Departamento de Optoelectrónica del Centro de Neurociencias de Cuba.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láseres quirúrgicos.</li> <li>• Bisturí láser.</li> </ul>
Departamento Tecnoláser del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría” (ISPJAE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láseres gaseosos de uso industrial</li> </ul>

En la investigación preliminar para esta tesis se pudo detectar que durante todos estos años se ha venido acumulando cierta cantidad de documentación técnica y normativa en manos de los especialistas, como

propiedad individual, y en las bibliotecas especializadas y generales, tales como la Biblioteca Nacional “José Martí”, la Biblioteca Nacional de Ciencia y Técnica, las bibliotecas de las Universidades del

país, y la Normateca Nacional, del Instituto de Investigaciones en Normalización. Por otra parte, los especialistas cubanos han producido un número considerable de tesis de grado, de maestría, de doctorado, patentes, libros y artículos que han sido publicados en Cuba y en el extranjero, y que forman parte ya de la bibliografía cubana sobre el tema.

Además de las visitas realizadas, a través del intercambio de experiencias con el Instituto central de Óptica Física de Rusia (VNIIOFI), pudimos conocer la composición mínima de un puesto de trabajo para la calibración de instrumentos de medición de algunas de las características de la radiación láser, que se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Equipos de medición y/o ensayo necesarios para la conformación de un puesto de trabajo para la verificación. (según los procedimientos de verificación del VNIIOFI, de Rusia).

Tipo de instrumentos de medición que pueden verificarse	Equipos de medición y/o ensayo necesarios.	Cantidad.
Instrumentos de medición de potencia máxima de la radiación láser pulsada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oscilógrafo de alta frecuencia, ancho de banda hasta 100 MHz.</li> <li>• Fotodiodo de acción rápida.</li> <li>• Colimador, de los composición del banco óptico.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1 1 2</p>
Instrumento de medición de la energía de la radiación láser pulsada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láser pulsado, <math>\lambda = 1,06 \mu\text{m}</math>; Rango energético: De 1 a 100 mJ Frecuencia de impulsos: no mayor que 50 Hz</li> <li>• Medidor de energía para el canal de control</li> <li>• Casete para filtros de 80 x 80 mm</li> <li>• Juego de diafragmas, con diámetros en el rango de 0,1 a 10 mm</li> <li>• Placa divisoria</li> <li>• Cuña óptica</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1 1 2 2 5 2</p>
Instrumento de medición de potencia media de la radiación láser.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Láseres de He-Ne, <math>\lambda = 0,63 \mu\text{m}</math>; Rangos de potencia: De 1,5 a 2 mW De 25 a 30 mW</li> <li>• Estabilizador de potencia de láseres continuos, inestabilidad no mayor que 0,2 %</li> <li>• Casete para filtros de 80 x 80 mm</li> <li>• Juego de diafragmas, con diámetros en el rango de 0,1 a 10 mm</li> <li>• Placa divisoria</li> <li>• Cuña óptica</li> <li>• Dispositivo fotorreceptor de control</li> <li>• Multímetro, Rango de medición: de corriente: de 1 <math>\mu\text{A}</math> a 10 mA; de tensión: de 10 mV a 100V</li> </ul>	<p style="text-align: center;">1 1 1 2 2 5 2 1 2</p>

Tipo de instrumentos de medición que pueden verificarse	Equipos de medición y/o ensayo necesarios.	Cantidad.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego de atenuadores ópticos calibrados. (coeficiente de atenuación de 2 a 1000)</li> <li>• Elementos de sujeción para la colocación de las mesetas en el banco óptico, y de los elementos ópticos en las mesetas.</li> </ul>	2 (los que se necesiten)

Durante los años 2000-2001 se produjo la entrega, por parte del INIMET, de todos los equipos de su Grupo Láser a su homólogo en el CEADEN y la fusión del CEDEIC con este mismo centro, que a partir de este momento tomó el nombre de Centro de

Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear. Esto condujo a un fortalecimiento de la actividad láser en el CEADEN y a la concentración lógica de equipos láser en una sola institución.

### **3.3. Discusión de los resultados.**

A partir de los resultados del diagnóstico, se puede afirmar que hasta este momento, en el país no existe la base metodológico-organizativa del aseguramiento metrológico de la rama láser, es decir, no existe en el Sistema Metrológico Nacional ningún laboratorio que asuma la responsabilidad de laboratorio primario a nivel estatal, ni se ha conformado aún un laboratorio con funciones de Metrología Legal en ninguna de las entidades usuarias de la tecnología láser. No obstante, es conocida la experiencia que se ha ido acumulando en el Sistema Metrológico Nacional durante más

de 35 años, que en los últimos años ha sido refrendada en el Decreto- Ley N° 183 “De la Metrología” [34].

Sobre la base de lo que se ha logrado en el aseguramiento metrológico de las mediciones de otras ramas de la economía, puede apoyarse la creación de la base metodológico-organizativa del aseguramiento metrológico de las mediciones de las características externas de la radiación láser.

El análisis de los datos contenidos en las Tablas 1 y 4 nos permiten asegurar que ya en estos momentos es posible conformar un

laboratorio metrológico con funciones de laboratorio primario en el país, por ejemplo, en el CEADEN, donde se ha producido de manera natural la concentración de instrumentos de medición de estas características y personal calificado, en instalaciones que cumplen los requisitos mínimos para su utilización como laboratorios de fotometría y radiometría. Para algunas de las mediciones, pudieran utili-

zarse también las capacidades instaladas en el Departamento de Optoelectrónica del Centro de Neurociencias de Cuba.

Para sustentar esta afirmación se presenta la Tabla 5, donde se muestra la posibilidad real de conformar los puestos de trabajo para la verificación, la calibración, el ensayo de equipos láser y la medición de la potencia y la energía de la radiación láser.

Tabla 5. Conformación de los puestos de trabajo para la verificación, la calibración, el ensayo de equipos láser y la medición de la potencia y la energía de la radiación láser.

Característica de la radiación láser.	Equipos de medición necesarios, y características metrológicas	Existencia		Ubicación
		SI	NO	
Potencia media de la radiación láser	Láseres de He-Ne, $\lambda = 632,8 ; 1152,3$ y $3390$ nm			
	Rangos de potencia: De 1 a 2 mW	X		CEADEN
	De 2 a 10 mW	X		CEADEN
	De 10 a 25 mW	X		CEADEN
	Láseres continuos, potencias: de 25 a 50 mW		X	
	de 50 a 100 mW		X	
	Láser semiconductor, continuo y de pulsos, con $P_{media}=1,5$ mW, $\lambda = 828$ nm	X		CEADEN
	Estabilizador de potencia de láseres continuos, inestabilidad no mayor que 0,2 %	X		CEADEN
	Casete para filtros de 80 x 80 mm	X		CEADEN
Juego de diafragmas, con diámetros en el rango de 0,1 a 10 mm	X		CEADEN	
Placa divisoria	X		CEADEN, Centro de Neurociencias	

Característica de la radiación láser.	Equipos de medición necesarios, y características metrológicas	Existencia		Ubicación
		SI	NO	
	Cuña óptica	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Dispositivo fotorreceptor de control: Wattímetro patrón óptico con cabezal fotorreceptor	X		CEADEN Centro de Neurociencias
	Dispositivo fotorreceptor de control: Fotodiodos de Si	X		CEADEN Centro de Neurociencias
	Multímetro. Rangos de medición: De corriente: de 1 $\mu$ A a 10 mA De tensión: de 10 mV a 100 V	X		Centro de Neurociencias. INIMET
	Juego de atenuadores ópticos calibrados. (Coef. de atenuación de 2 a 1000)	X		CEADEN (sin calibrar)
	Elementos de sujeción para la colocación de las mesitas en el banco óptico.	X		CEADEN Centro de Neurociencias.
	Banco óptico	X		CEADEN Centro de Neurociencias.
	Multímetro digital. Rango de medición: De corriente: de 0,01 a 1000 mA De tensión: de 0 a 300 V De resistencia: hasta 10 M $\Omega$	X		CEADEN Centro de Neurociencias. INIMET
	Láser de CO <sub>2</sub> de 100 W	X		CEADEN, ISPJAE, Centro de Neurociencias
	Medidores térmicos de potencia media de 100 mW a 1 W y de 50 mW a 100 W	X		CEADEN, Centro de Neurociencias.
	Monocromador de 200 a 1200 nm , con resolución de 0,5 nm .	X		CEADEN
<b>Potencia máxima de la radiación láser pulsada.</b>	Láseres pulsados, potencias hasta 100 W	X		Centro de Neurociencias, IMRE, ISPJAE
	Láseres pulsados, potencias de 100 a 200 W		X	

Característica de la radiación láser.	Equipos de medición necesarios, y características metrológicas	Existencia		Ubicación
		SI	NO	
	Medidor de potencia máxima para el canal de control	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Oscilógrafo de alta frecuencia, ancho de banda hasta 100 MHz	X		CEADEN INIMET
	Fotodiodo de acción rápida	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Colimador (de la composición del banco óptico)	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Banco óptico	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
<b>Energía de la radiación láser pulsada.</b>	Láseres pulsados, $\lambda = 1,06$ nm Rango energético: de 1 a 100 mJ Frecuencia de impulsos: no mayor que 50 Hz	X		CEADEN
	Medidor de energía para el canal de control.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Casete para filtros de 80 x 80 mm	X		CEADEN
	Juego de diafragmas, con diámetros en el rango de 0,1 a 10 mm	X		CEADEN
	Placa divisoria	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Cuña óptica	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Interruptor electroóptico regulable e interruptores mecánicos ( <i>choppers</i> ) para la generación de pulsos a partir de láseres continuos.	X		CEADEN Centro de Neurociencias
	Láser de Nd-YAG, pulsado.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias, IMRE
	Filtros, espejo con reflexión del 99 % para la atenuación de láseres potentes.		X	

Característica de la radiación láser.	Equipos de medición necesarios, y características metrológicas	Existencia		Ubicación
		SI	NO	
	Osciloscopio digital 500 Hz ( <i>single shot</i> ) para la medición de la forma y la duración de impulsos de láseres.	X		CEADEN INIMET
	Medidores piroeléctricos de energía.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Cabezales piroeléctricos.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
<b>Anchuras del haz y ángulo de divergencia.</b>	Radiómetro para la medición de potencia media de láseres continuos y potencia máxima de la radiación láser pulsada.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Banco óptico.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Elementos de sujeción del banco óptico.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Dispositivo para la traslación de la cuchilla o la rendija en pasos de 0,01 mm, con micrómetro.	X		CEADEN, Centro de Neurociencias
	Cuchilla o rendijas de paso 0,01 mm	X		CEADEN, Centro de Neurociencias

Los instrumentos de medición que se han incluido en la tabla deben ser calibrados. Algunos de estos instrumentos son patrones, y fueron adquiridos por las entidades interesadas con sus certificados de calibración. El problema fundamental para estas entidades estriba en las dificultades reales que se presentan para la recalibración de sus instrumentos de medición, que en estos momentos sólo puede hacerse en el extranjero.

A partir de agosto del 2001, a través del INIMET se logró concretar en el Instituto Central de Óptica Física de Rusia (VNIOFI), el servicio de calibración de los instrumentos de medición patrones de potencia y energía de la radiación láser. Esto constituye, sin lugar a dudas, un paso de avance en nuestras aspiraciones de asegurar, desde el punto de vista metrológico, el rigor de las mediciones efectuadas y ha permitido, y permitirá, la

evaluación de algunos equipos láser de uso médico y la ejecución de intercomparaciones entre laboratorios. Los instrumentos de medición de otras magnitudes físicas: eléctricas, dimensionales, físico-químicas, se calibran en Cuba, en el INIMET.

A todo esto hay que agregar la posibilidad real de plantearse un esquema nacional de jerarquía de los instrumentos de medición de las características de la radiación láser.

La Fig. 4 muestra, a modo de ejemplo, una aproximación al esquema de jerarquía que pudiera establecerse entre los instrumentos existentes para la medición de la potencia media de la radiación láser.

Esta aproximación está muy simplificada, debido a que por el momento, sólo pueden definirse dos niveles nacionales, y a que el instrumento que serviría como patrón nacional, deberá utilizarse para transmitir la unidad a instrumentos patrones de trabajo o de referencia de laboratorios de investigación o de la industria, y para ejecutar determinadas mediciones de uso legal.

El completamiento de este esquema depende de las posibilidades de adquisición y/o el desarrollo y producción en Cuba de nuevos instrumentos de medición que puedan ser utilizados como patrones, así

como de la creación y certificación de representaciones materializadas de las unidades y las magnitudes físicas involucradas. Pudieran ser, por ejemplo, juegos de diodos láser calibrados por longitudes de onda y rangos de potencia de la radiación láser, que, dada su alta estabilidad, puedan servir para este fin.

Lo que se ha presentado hasta el momento da una idea de la situación de la base técnico-material de la rama láser en Cuba, en cuanto a los equipos.

Vale la pena recordar aquí que la base técnico-material está conformada por todos los medios técnicos y materiales, incluidas, además, las instalaciones, y el personal técnico y de servicio.

En la actualidad puede decirse que la rama láser cuenta con las instalaciones y el personal necesario para cumplir los objetivos propuestos en la presente tesis.

Según los datos aportados en la propuesta de Programa ramal [33], “en el país se cuenta con profesionales de alta calificación que trabajan en la temática vinculada a la Óptica, la Optoelectrónica, la Espectroscopía Láser, la Electrónica, la Microelectrónica, el Diseño Mecánico y la Metrología, asociados al láser, que han promovido y fortalecido el uso de estas

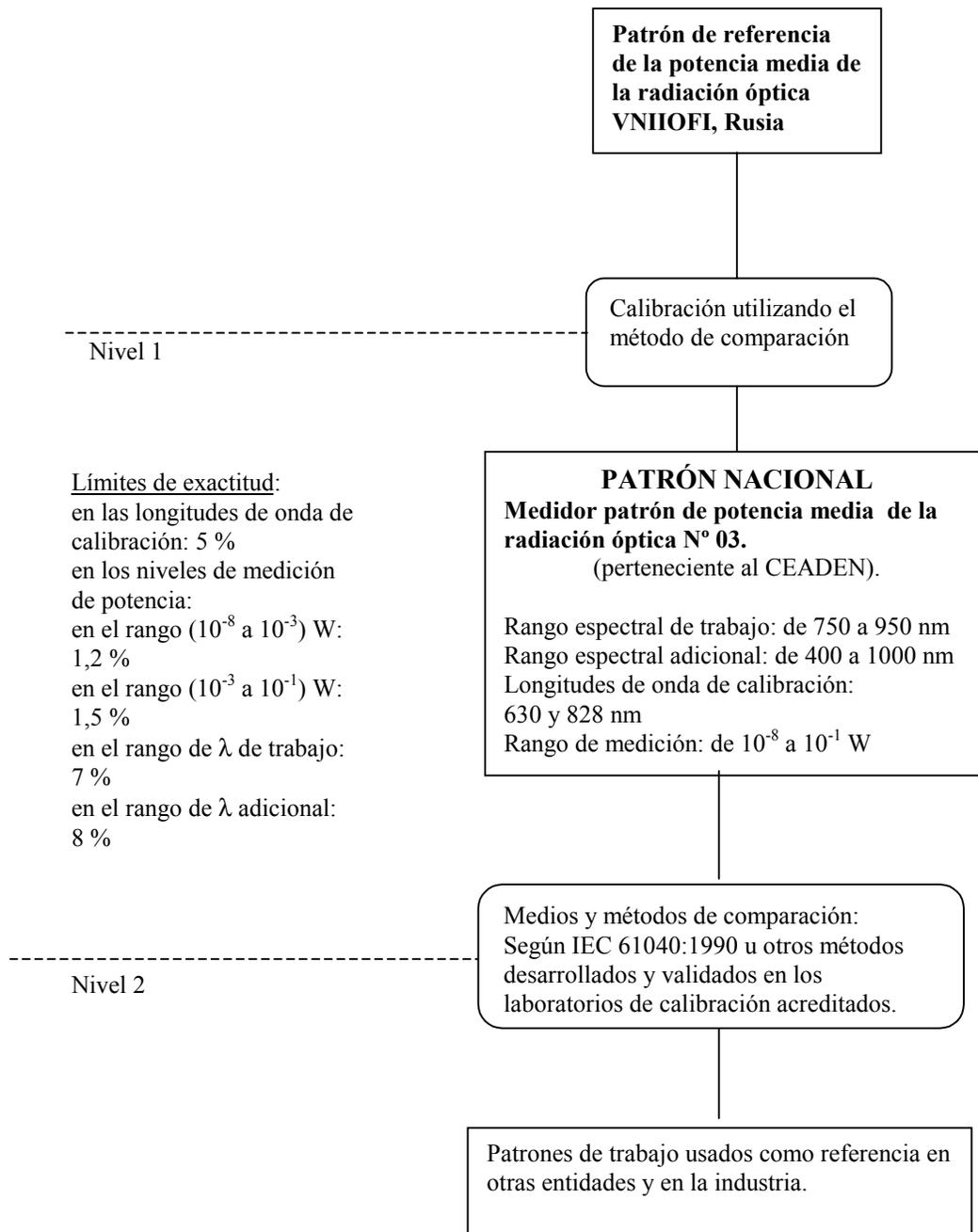
especialidades con fines de solucionar problemas del país. En algunos casos, con recursos destinados por el Gobierno y un trabajo coordinado entre instituciones, y en otros casos, de manera independiente, pero el hecho es que se ha creado durante más de 15 años una base de conocimiento científico y tecnológico y, además, se cuenta con laboratorios de óptica, áreas de desarrollo y talleres que respaldan la ejecución de los objetivos propuestos.

Se cuenta con 30 Doctores en Ciencia de determinada especialidad (3 de ellos, Académicos de la Academia de Ciencias de Cuba) y una cantidad similar de Maestros en Ciencias en este perfil, así como médicos asociados a la actividad del láser,

entre ellos especialistas de Primer y Segundo Grados”.

Los resultados del diagnóstico hablan por sí solos del favorable estado en que se encuentra la base normativa del aseguramiento metrológico de la rama láser: existen ya las normas internacionales metodológico-organizativas sobre los métodos y medios de verificación, calibración, ensayo y medición, sobre términos y definiciones, clasificación, unidades de medida, evaluación de la incertidumbre de medición y especificaciones de los patrones. Todas estas normas han sido referenciadas en la presente Tesis, o han sido incluidas en la Bibliografía General.

Fig. 4. Aproximación a un esquema de jerarquía de los instrumentos existentes para la medición de la potencia media de la radiación láser.



## **CAPÍTULO IV. PROYECCIÓN PARA EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO A LA RAMA LÁSER EN LA REPÚBLICA DE CUBA.**

### **4.1. Introducción.**

En los capítulos anteriores se han aportado las evidencias de la importancia y la necesidad de la implantación del aseguramiento metrológico a la rama láser en el país, a partir de la situación actual de la temática. Se ha visto también la necesidad de continuar los trabajos en varias direcciones, que coinciden, en lo fundamental con las direcciones del aseguramiento metrológico.

En algunas de estas direcciones se han ido dando pasos, algunos muy firmes, pero ha faltado la coordinación necesaria para integrar todos los esfuerzos en pos del objetivo común de garantizar la trazabilidad de las mediciones en la rama láser en Cuba. En el presente Capítulo se presenta el Programa de Aseguramiento Metrológico de las características externas de la radiación láser.

### **4.2. Programa de Aseguramiento Metrológico de las características externas de la radiación láser.**

No. de orden	Objetivo	Tareas	Responsable Participantes
1.	Creación de la base metodológico-organizativa.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Aprobar e implantar del programa de aseguramiento metrológico a la rama láser que se propone en la presente tesis.</li><li>2. Crear un laboratorio metrológico primario en alguna de las entidades usuarias de la radiación láser, con condiciones</li></ol>	<b>INIMET</b> ONN CEADEN Centro de Neurociencias

No. de orden	Objetivo	Tareas	Responsable Participantes
		<p>para ello.</p> <p>3. Ejecutar los trabajos necesarios para la acreditación de la competencia técnica de dicho laboratorio, según la norma cubana NC-ISO/IEC 17025:2000.</p>	
2.	Creación de la base técnico material.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A partir de las posibilidades actuales, conformar los patrones nacionales para las diferentes características de la radiación láser, mediante la agrupación de los equipos con condiciones para ello, y la adquisición y/o fabricación de los elementos necesarios para su completamiento.</li> <li>2. Certificar los patrones nacionales de las características de la radiación láser, una vez conformados.</li> <li>3. Garantizar la trazabilidad y la recalibración de los patrones nacionales con la periodicidad requerida.</li> <li>4. Desarrollar y validar métodos de medición de las características de la radiación láser que satisfagan las necesidades de las entidades usuarias con el mayor rigor científico-técnico posible.</li> <li>5. Establecer el esquema nacional de jerarquía para los instrumentos de medición de las características externas de la radiación láser.</li> <li>6. Estimular la producción y/o adquisición y al introducción de instrumentos y sistemas de medición, ensayo, análisis,</li> </ol>	<p><b>INIMET</b>  <b>CEADEN</b>            Centro de Neurociencias            Otras entidades usuarias de la tecnología láser.</p>

No. de orden	Objetivo	Tareas	Responsable Participantes
		<p>verificación y calibración debidamente calibrados.</p> <p>7. Desarrollar los servicios de alquiler, reparación y mantenimiento de instrumentos y sistemas de medición.</p> <p>8. Desarrollar y validar métodos de medición de las características de la radiación láser que satisfagan las necesidades de las entidades usuarias con el mayor rigor científico-técnico posible.</p>	
3.	Creación de la base normativa.	<p>1. Concentrar toda la bibliografía en un centro de información especializada, donde los especialistas puedan tener acceso a las referencias bibliográficas más actualizadas, técnicas, normativas, y, sobre todo, las generadas por las publicaciones de autores cubanos en libros y revistas, nacionales y extranjeras, que deben ser previamente localizadas, reunidas y sistematizadas. A esto pudieran agregarse las tesis de grado, de maestría y de doctorado defendidas hasta el momento en Cuba o en el extranjero.</p> <p>2. Adoptar gradualmente, como normas cubanas, las normas internacionales relacionadas con la tecnología láser que están aprobadas hasta el momento.</p> <p>3. Implantar, o elaborar en el país, documentos normativos sobre los instrumentos y sistemas de medición, ensayo y análisis,</p>	<p><b>INIMET</b>  <b>ONN</b>  <b>CEADEN</b>  Centro de Neurociencias  Otras entidades usuarias de la tecnología láser.</p>

No. de orden	Objetivo	Tareas	Responsable Participantes
		<p>sobre los métodos, procedimientos, equipos y dispositivos de calibración y ensayo, sobre los esquemas de jerarquía y otros.</p> <p>4. Lograr la participación más activa de Cuba en la elaboración de los documentos normativos en los organismos internacionales de normalización, mediante el análisis y la emisión de comentarios acerca de los anteproyectos y proyectos que se presentan.</p> <p>5. Crear los Comités Técnicos Nacionales “Láseres y Equipos Láser relacionados” y “Óptica e instrumentos ópticos”, con objetivos de trabajo análogos a sus homólogos internacionales: el Comité Técnico de Normalización 172, de la Organización Internacional de Normalización (ISO), los Comités Técnicos 76 y 86 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).</p>	

Este Programa puede ser desarrollado en un tiempo aproximado de tres años, contando con la participación y la colaboración de todas las entidades interesadas, el personal

calificado de que se dispone en el país, y las instalaciones y equipos que se encuentran actualmente en uso.

## CONCLUSIONES.

Con todo lo expuesto en los últimos capítulos, ha quedado demostrada la hipótesis inicial de nuestra investigación:

**Es posible garantizar en Cuba el aseguramiento metrológico de las mediciones de las características externas de la radiación láser, aunando y completando los recursos humanos, materiales y financieros con que se cuenta en la actualidad,**

mediante la materialización del Programa de aseguramiento metrológico que se presenta. La adopción de este programa no

sólo es absolutamente necesaria, sino económicamente factible y técnicamente viable.

De la misma forma, ha quedado demostrada la posibilidad real de conformar un laboratorio metrológico para la medición de las características externas de la radiación láser y, eventualmente, para la calibración de algunos equipos, que en un plazo relativamente corto esté en condiciones de acreditar su competencia técnica sobre la base de la norma cubana NC-ISO/IEC 17025:2000 [8].

## RECOMENDACIONES.

El Programa de aseguramiento metrológico que se propone está estrechamente vinculado al Programa ramal asociado al desarrollo de la instrumentación, la óptica y el láser, propuesto para su aprobación al Ministerio de Ciencia y Tecnología (CITMA).

La aprobación del Programa de aseguramiento metrológico que se propone

contribuirá, inobjetablemente, al desarrollo de la rama láser en el país, a la elevación del nivel científico, tecnológico, social y ambiental, y desde el punto de vista económico, al desarrollo de nuevos productos y servicios de alto valor agregado que estén en correspondencia con las regulaciones internacionales y los avances de la tecnología láser en el mundo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Gómez Napier, L. y otros (1972). **Fundamentos de Normalización, Metrología y Control de la Calidad**. Centro Nacional de Enseñanza de la Normatización, La Habana. pág. 215-231.
- [2] **NC 90-00-02:1980**. Metrología. Términos y definiciones.
- [3] Revuelta F., L.; Valdés P., N. (1987). **El aseguramiento metrológico**. Rev. Normalización, N° 1, pág.24-28.
- [4] Reyes P.,Y (1990) **Utilización del sistema de Weende en pastos y forrajes. Aseguramiento Metrológico de los laboratorios**. Tesis en opción al grado de candidato a Dr. en Ciencias Agrícolas. La Habana.
- [5] Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de metrologie. (1984) BIPM, CEI, ISO, OIML .
- [6] **OIML P-17: 1995**. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- [7] **NC-ISO-V2:1995** Vocabulario Internacional de Términos Generales y Básicos en Metrología.
- [8] **NC-ISO/IEC 17025: 2000** Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- [9] **NC-OIML-D5:1996** Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición.
- [10] **NC-ISO 10012-1:1992**.Requisitos del aseguramiento de la calidad para los equipos de medición. Parte 1: Sistema de confirmación metrológica para equipos de medición.
- [11] **NC-OIML-D9:1995** Principios de la supervisión metrológica.
- [12] **NC OIML D16: 1998** Principios del aseguramiento del control metrológico.
- [13] **NC-COPANT-ISO 8402:1995** Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la calidad. Vocabulario.
- [14] Heard,H.G. (1968) **Laser Parameter Handbook**. John Wiley & Sons, Inc. New York/London/Sydney.
- [15] **ISO 11554:1998** Optics and optical instruments. Lasers and laser-related equipment. Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics.
- [16] **ISO 11670:1999** Lasers and laser-related equipment. Test methods for laser beam parameters. Beam positional stability.
- [17] **ISO 13694:2000** Optics and optical instruments. Lasers and laser-related equipment. Test methods for laser beam power(energy) density distribution.
- [18] **ISO 11146:1999** Laser and laser-related equipment. Test methods for laser beam para-

- meters. Beam widths, divergence angle and beam propagation factor.
- [19] **IEC 61040:1990** Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation.
- [20] **ISO 11145:1994** Optics and optical instruments. Lasers and laser-related equipment. Vocabulary and symbols.
- [21] **ISO 11252:1993** Lasers and laser-related equipment. laser device. Minimum requirements for documentation.(en español: EN 31252:1995. Láseres y equipos relacionados con los mismos. Fuentes láser. Requisitos mínimos para la documentación).
- [22] **ISO 11553:1996** Safety of machining. Laser processing machines. Safety requirements.
- [23] **IEC 60825-1:1998** Safety of laser products. Part 1. Equipment classification, requirements and user's guide.
- [24] **IEC 60825-2:1993** Safety of laser products. Part 2. Safety of optical fibre communication systems. + Amendment 1:1997.
- [25] **IEC/TS 60825-6:1999** Safety of laser products -Part 6: Safety of products with optical sources, exclusively used for visible information transmission to the human eye.
- [26] **IEC/TR 60825-8:1999** Safety of laser products- Part 8: Guidelines for the safe use of medical laser equipment.
- [27] **IEC/TR 60825-9:1999** Safety of laser products - Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation.
- [28] Machado B.,R.J (1985) "**¿Cómo se forma un investigador?**" Editorial Ciencias Sociales, La Habana.
- [29] Mendoza Y.,O (1998). **Haces gaussianos policromáticos.** Trabajo de diploma. Centro de Neurociencias de Cuba. La Habana.
- [30] Sommer K.-D. , Chappell S.E. and Kochsiek M. **Calibration and verification: two procedures having comparable objectives and results.** OIML Bulletin. Vol. XLII. Number 1. January 2001, pages 5 – 12.
- [31] **NC OIML D19:1994.** Evaluación de modelo y aprobación de modelo.
- [32] Kind, D. **Neue Aufgaben für die Meterkonvention und die Nationalen Metrologie-Instituten.** Mitteilungen PTB. April 2/98 pag.111 a 117.
- [33] Proyecto de Documento: "Programa Ramal de desarrollo de instrumentación y Tecnologías Ópticas y del Láser". La Habana, 2001.
- [34] Decreto-Ley N° 183 (1998) "**De la Metrología**".

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

1. Arechi F.T., Chulz-Dubois E.U. et al. (1972). **Laser handbook**, Vol. I. North Holland Publishing Co., Amsterdam.
2. Baiborodin Yu.V., Kriksunov L.Z. et al. (1978) **Справочник по лазерной технике**. Edit. Técnica., Kiev.
3. Bailey, F.J. (1982). **Introducción a los semiconductores**. Edit. Gustavo Gili. Barcelona, España.
4. Bakirov, M. Ya. (1983) **Полупроводниковые приёмники излучения**. Bakú.
5. Begunov B.N., Zakaznov N.P. (1976). **Teoría de sistemas ópticos**. Trad. al español. Edit. Mir, Moscú.
6. Benavides, L., Sarmiento, A., Reyes, S. (1970) **Física (Problemas)**. Fac. Tecnológica. Universidad de la Habana. La Habana.
7. Benavides, L. (1983) **Física Moderna**. Dpto. de Edic. del ISPJAE. La Habana.
8. **Encyclopedia of Lasers and Optical Technology**. (1971). Edit. Robert Meyers.
9. **Газовые лазеры. Сборник статей**. (1968) Compilado por Sobolieva N.N. edit. Mir. Moscú.
10. Goodman, J. W. (1968) **Introduction to Fourier Optics**. McGraw-Hill Book. San Francisco, California.
11. **GOST 8.443-81**. Средства измерений максимальной мощности моноимпульсного и импульсного-модулированного лазерного излучения образцовые. Методы и средства поверки.
12. **GOST 8.444-81**. Средства измерений динамических параметров измерительных преобразователей импульсного лазерного излучения образцовые. Методы и средства поверки.
13. **GOST 8.445-81**. Средства измерений средней мощности непрерывного лазерного излучения образцовые. Методы и средства поверки.
14. **GOST 12.1.031-81**. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения.
15. **GOST 17772-88**. Приёмники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприёмные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
16. **GOST 19319-82**. Лазеры твёрдотельные. Основные параметры.
17. **GOST 24469-80**. Средства измерений параметров лазерного излучения. Общие технические требования.
18. **GOST 24714-81**. Лазеры. Методы измерения параметров излучения. Общие положения.
19. **GOST 25373-82**. Лазеры измерительные. Типы, основные параметры и технические требования.
20. **IEC 60601-2-22:1995**. Medical electrical equipment. Part 2: Particular requirements for the safety of diagnostic and therapeutic laser equipment.
21. **IEC 60825-3:1995**. Safety of laser products. part 3: Guidance for laser displays and shows.
22. **IEC 60825-4:1997** Safety of laser products. Part 4: Laser guards
23. **IEC 60825-4:1997**. Safety of laser products. Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1.

24. **IEC 60825-7:2000.** Safety of laser products. Part 7: Safety of products emitting infrared optical radiation, exclusively used for wireless “free air” data transmission and surveillance.
25. **IEC 61751:1998.** Laser modules used for telecommunication. Reliability assessment.
26. Ischenko, E. F.(1968). **Оптические квантовые генераторы.** Edit. Sov. Radio., Moscú.
27. **ISO 8322-6:1991.** Building construction. Measuring instruments. Procedures for determining accuracy in use. Part 6: Laser instruments.
28. Kovács L., Tisza S. (1984). **Aplicaciones biológicas y médicas del láser.** Instituto para el Desarrollo Técnico de Trabajos Médicos. Budapest. Hungría.
29. **Láser en Medicina y Cirugía.** (1993). Editado por J.P. Díaz Jiménez. Barcelona. España.
30. Martí López, Luis. (1997). **Tecnología láser en Medicina.** AIDO, Valencia, España.
31. McKelvey, J. P. (1976). **Física del estado sólido y de semiconductores.** 1. ed. Ed. Limusa, México.
32. **OIML P7: 1986** Planning of Metrology and Testing Laboratories.
33. **OIML P15: 1989.** Guide to Calibration.
34. Pressley, R.J.(1971) **Handbook of lasers with selected data on optical technology.** Chemical Rubber. Cleveland.
35. Protesi R., Badini, C.(1989) **Laser di potenza: applicazioni medici.** Consiglio Nazionale della Ricerche., Roma. Italia.
36. Shalimova, K. V.(1975) **Física de los semiconductores.** Edit. Mir. Moscú.
37. Sibujin D.V. (1990). **Curso General de Física. Optica.** I y II partes. Edit. Pueblo y Educación. La Habana.
38. Smith R.A., Jones F.E., Chasonov R.P. (1968) **The detection and measurement of infrared radiation.** 2. ed., Clarendon Press. Oxford.
39. Sona A. **Lasers in Metrology. Distance measurements.** Centro Informazioni Studio Esperienze (CISE). Segreti. Milano. Italia.
40. **UNE 72021:1983.** Magnitudes fotométricas.
41. **UNE 82100-6: 1986.** Magnitudes y unidades. Parte 6: Luz y radiaciones electromagnéticas conexas.
42. Volkenshtein M.V. (1980). **Física.** Edit. Mir, Moscú.
43. Zubov V.A.( 1973). **Методы измерения характеристик лазерного излучения.** Edit. Nauka. Moscú.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**1. Metrología** [7, apdo.2.2]: Ciencia de las mediciones.

Nota:

1. La Metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia o la tecnología donde ellas ocurran.

**2. Aseguramiento metrológico** [2, apdo.2.3.1.]: Conjunto de actividades organizativas, técnicas, científicas y productivas desarrolladas por los órganos metrológicos estatales y no estatales y otras entidades de la economía nacional, con el fin de garantizar la uniformidad y precisión requeridas en las mediciones. Se entiende por uniformidad y precisión de las mediciones, la cualidad de las mediciones cuando sus resultados son expresados en las unidades legales y sus errores son conocidos con una probabilidad dada.

El Aseguramiento Metrológico consta de tres bases:

- La Base Normalizativa
- La base Organizativa
- La Base Técnico-Material.

**3. Medición** [7, apdo. 2.1.]: Conjunto de operaciones destinadas a determinar el valor de una magnitud.

Nota: Las operaciones pueden ser ejecutadas automáticamente.

**4. Principio de medición** [7, apdo. 2.3.]: Bases científicas de una medición.

Ejemplos:

- a) el efecto termoelectrico aplicado a la medición de temperatura;
- b) el efecto Josephson aplicado a la medición de diferencia de potencial eléctrico;
- c) el efecto Doppler aplicado a la medición de velocidad;
- d) el efecto Raman aplicado a la medición de número de onda de las vibraciones moleculares.

**5. Método de medición** [7, apdo. 2.4.]: secuencia lógica de operaciones, generalmente descritas, usada en la ejecución de las mediciones de acuerdo con un principio dado.

Nota:

1. Los métodos de medición pueden ser calificados de varias formas, tales como:

- método de sustitución
- método diferencial,

- método de cero.

**6. Equipo de medición** [10, apdo. 3.2.]:

Todos los instrumentos de medición, patrones de medición, materiales de referencia, aparatos auxiliares e instrucciones necesarios para realizar una medición. Este término incluye el equipo de medición utilizado durante el ensayo y la inspección, así como el utilizado durante la calibración.

**7. Instrumento de medición** [7, apdo. 4.01]: Dispositivo destinado a realizar una medición, solo o en unión de otro equipo suplementario.

**8. Exactitud de la medición** [7,apdo.3.6]: Acuerdo más cercano entre el resultado de una medición y el valor real (convencional) de la magnitud medida

Notas:

1. “Exactitud” es un concepto cualitativo.
2. Debe evitarse el uso del término “**precisión**” por “**exactitud**”.

**9. Incertidumbre de la medición** [6, apdo.2.2.4. y Anexo D]: parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser razonablemente atribuidos a la magnitud a medir.

Notas:

1. El parámetro puede ser, por ejemplo, la desviación típica (o un múltiplo de

ésta), o la amplitud del intervalo de confianza.

2. La incertidumbre de la medición comprende, en general, muchos componentes. Algunos de ellos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden ser caracterizados mediante desviaciones típicas experimentales. Los otros componentes, que pueden también ser caracterizados por desviaciones típicas, son evaluados a partir de distribuciones de probabilidad asumida, basadas en la experiencia u otra información.
3. Se entiende que el resultado de la medición es el mejor estimado del valor de la magnitud a medir y de todos los componentes de la incertidumbre que contribuyen a la dispersión, incluyendo aquellos que surgen de los efectos sistemáticos tales como los componentes asociados con las correcciones y los patrones de referencia.

**10. Patrón (de medición)** [7, apdo.6.01]: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema destinado a definir, materializar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud con vistas a

trasmitirla a otros instrumentos de medición por comparación.

*Ejemplos:*

- a) masa patrón de 1 kg ;
- b) medida planoparalela patrón;
- c) resistencia patrón de 100  $\Omega$  ;
- d) celda patrón Weston;
- e) patrón de frecuencia atómica de cesio;
- f) disolución de cortisol en suero humano como patrón de concentración;

### **11. Patrón internacional (de medición)**

[7, apdo. 6.06]: Patrón reconocido por acuerdo internacional para servir internacionalmente como base para fijar el valor de todos los otros patrones de la magnitud.

### **12. Patrón nacional (de medición)**

[7, apdo.6.07]: Patrón reconocido por una decisión nacional oficial, para servir en el país como base para fijar el valor de todos los otros patrones de esa magnitud relacionada.

Nota:

El patrón nacional en un país es frecuentemente un “patrón primario”.

**13. Sensor** [ 7, apdos. 4.14 y 4.15 ]: elemento de un instrumento de medición, o

cadena de medición que está directamente afectado por la magnitud a medir.

*Ejemplos:*

- a) una junta de medición de un termómetro termoeléctrico;
- b) rotor de un flujómetro de turbina;
- c) tubo de Bourdon de un manómetro;
- d) flotador de un medidor de nivel;
- e) fotocelda de un espectrofotómetro.

Nota: En algunos campos se usa el término **detector** para este concepto.

**14. Detector** [ 7, apdo. 4.15]: dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno, sin que necesariamente suministre un valor de un magnitud asociada.

*Ejemplos:*

- a) detector de fuga de halógeno;
- b) papel de tornasol

Notas:

La indicación puede ser producida sólo cuando el valor de la magnitud alcanza un umbral, algunas veces llama límite de detección del detector.

En algunos campos, el término “detector” se utiliza para el concepto de **sensor**.

**15. Procedimiento** [13, apdo.1.3.]: Manera específica de realizar una actividad.

Notas:

1. En muchos casos los procedimientos se expresan por medio de documentos (por ej.: procedimientos de un sistema de calidad).
2. Cuando un procedimiento se expresa por medio de un documento es frecuente usar el término “procedimiento escrito” o “procedimiento documentado”.
3. Un procedimiento escrito o documentado generalmente contiene: el objeto y el alcance de una actividad; qué debe hacerse y quién debe hacerlo; cuándo y cómo debe hacerse; qué materiales, equipos y documentos deben utilizarse; y cómo debe controlarse y registrarse.

**16. Trazabilidad** [13, apdo. 3.16]:

Capacidad para reconstruir la historia, la utilización o la localización de una entidad, por medio de identificaciones registradas.

Notas:

- I. El término trazabilidad puede tener uno de los tres significados siguientes:
  - a) cuando se refiere a un producto puede estar relacionado con:
    1. el origen de los materiales y de las piezas;

2. la historia de los diversos procesos aplicados al producto;
  3. la distribución y localización del producto luego de su entrega.
    - b) cuando se refiere a la calibración, 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.
    - c) cuando se refiere a una colección de datos, relaciona los cálculos y los datos producidos a lo largo del ciclo de la calidad, remontando a veces hasta los requisitos para la calidad correspondientes a una entidad.
- II. Todos los aspectos concernientes a los registros de trazabilidad, si existen, deben ser claramente especificados, por ejemplo, en términos de período de tiempo, punto de origen o identificación.

**17. Trazabilidad** [7, apdo. 6.10]:

Propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por el cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres.

Notas:

1. El concepto se expresa en ocasiones por el adjetivo "trazable".
2. La cadena ininterrumpida de comparaciones se denomina "cadena de trazabilidad".

**18. Confirmación metrológica** [10, apdo.

3.13]: Conjunto de operaciones requeridas para asegurar que una parte del equipo de medición está en conformidad con los requisitos para el uso al que está destinado.

Nota:

- La confirmación metrológica incluye normalmente, entre otros, la calibración, todo ajuste o reparación necesarios y la subsecuente recalibración, así como la selladura y el rotulado requeridos.

**19. Calibración** [7, apdo.6.11]: Conjunto

de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indi-

cadas por un instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores reportados por patrones.

Notas:

1. El resultado de la calibración permite tanto la asignación de valores a las indicaciones de la magnitud a medir como la determinación de las correcciones con respecto a las indicaciones.
2. Una calibración también puede determinar otras propiedades metrológicas, tales como el efecto de las magnitudes influyentes.
3. El resultado de una calibración puede ser registrado en un documento frecuentemente denominado certificado de calibración o informe de calibración.

**20. Láser** [20, apdo. 3.22]: Los láseres

consisten en un medio amplificador capaz de emitir radiación coherente de longitudes de onda de hasta 1 mm como consecuencia de la emisión estimulada.

**21. Láser de onda continua** [20, apdo.

3.23]. Láser que funciona y emite radiación continuamente durante períodos de tiempo superiores o iguales a 0,25 s .

**22. Láser de impulsos.** [20, apdo. 3.24]. Láser que suministra su energía en forma de un solo impulso o de un tren de impulsos. La duración de un impulso es menor de 0,25 s .

**23. Montaje láser:** [20, apdo. 3.25]. Aparato láser asociado a componentes específicos, normalmente ópticos, mecánicos y/o eléctricos, que permiten actuar sobre el guiado y ajuste de la forma del haz.

**24. Haz de luz láser** [20, apdo. 3.26]: Radiación láser dirigida en el espacio.

**25. Aparato láser** [20, apdo. 3.27]: Un sistema que produce la radiación láser, asociado a equipo adicional esencial (por ejemplo, refrigeración, alimentación eléctrica, alimentación de gas, etc.) que es absolutamente necesario para hacerlo funcionar.

**26. Radiación láser** [20, apdo. 3.29]: Radiación electromagnética coherente, de longitud de onda hasta 1 mm , producida por un láser.

**27. Energía del impulso, Q**[20, apdo. 3.20]: Energía contenida en un solo impulso.

**28. Potencia continua, P** [20, apdo. 3.42 ]: Potencia de salida para un láser continuo.

**29. Potencia del impulso, P<sub>H</sub>** [20, apdo. 3.43]: Cociente de la energía del impulso Q entre la frecuencia de repetición del impulso  $\tau_H$  .

**30. Potencia media, P<sub>av</sub>** [20, apdo. 3.44]: Producto de la energía media del impulso Q por la frecuencia de repetición del impulso  $f_p$  .

**31. Frecuencia de repetición de los impulsos, f<sub>p</sub>** [20, apdo. 3.45]: Número de impulsos de láser por segundo que produce un láser de impulsos repetitivos.

**32. Rango de aplicación,**[19, apdo. 2.19]: Rango en el cual todas las características del detector, instrumento o equipo, importantes para la confiabilidad de las mediciones, se encuentran en correspondencia con su clase de exactitud, y no existe peligro de sobrecarga para el detector.

**33. Constante de tiempo de respuesta:**[19, apdo. 2.21]: Es el tiempo requerido para que la salida del detector aumente desde su valor inicial hasta (1-1/e) de su valor final, cuando es aplicada instantáneamente una magnitud de entrada constante.

**34. Respuesta (*responsivity*)** [19, apdo.2.22]: Cociente de la magnitud de

salida del detector Y, entre la magnitud de entrada X.

Símbolo:  $s$        $s = \frac{Y}{X}$

**35. Respuesta espectral** [19, apdo. 2.25]:

Respuesta del detector como función de la longitud de onda  $\lambda$ , expresada como el cociente del incremento de la magnitud de salida del detector  $dY(\lambda)$  entre el incremento de la magnitud de entrada  $dX(\lambda)$ , para una longitud de onda dada.

Símbolo:  $s(\lambda)$        $s(\lambda) = \frac{dY(\lambda)}{dX(\lambda)}$

**36. Tiempo de retraso**[19, apdo. 2.27]:

Intervalo de tiempo comprendido entre el inicio de la irradiación de la superficie del

detector con una potencia radiante constante y la aproximación de la salida del detector o la indicación del instrumento a su valor final fijo, sin que este sobrepase 1/10 de la incertidumbre de calibración.

**37. Deriva del cero**[19, apdo. 2.28]: La variación de la salida del detector o de la indicación del instrumento es considerada como deriva del cero si esta variación ocurre sin irradiación de la superficie del detector.

## **ANEXO A. Comités Técnicos de Normalización en los organismos internacionales de normalización, relacionados con la óptica, el láser y los equipos láser.**

### **Organización Internacional de Normalización (ISO).**

CTN 172 - Óptica e instrumentos ópticos.

### **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).**

SC 2G - Métodos de Ensayo y procedimientos.

SC 15E - Métodos de ensayo.

TC 25 - Magnitudes y unidades y sus símbolos gráficos.

SC 46B - Guías de ondas y sus accesorios.

TC 76 - Seguridad de la radiación óptica y equipos láser.

TC 86 - Fibras ópticas.

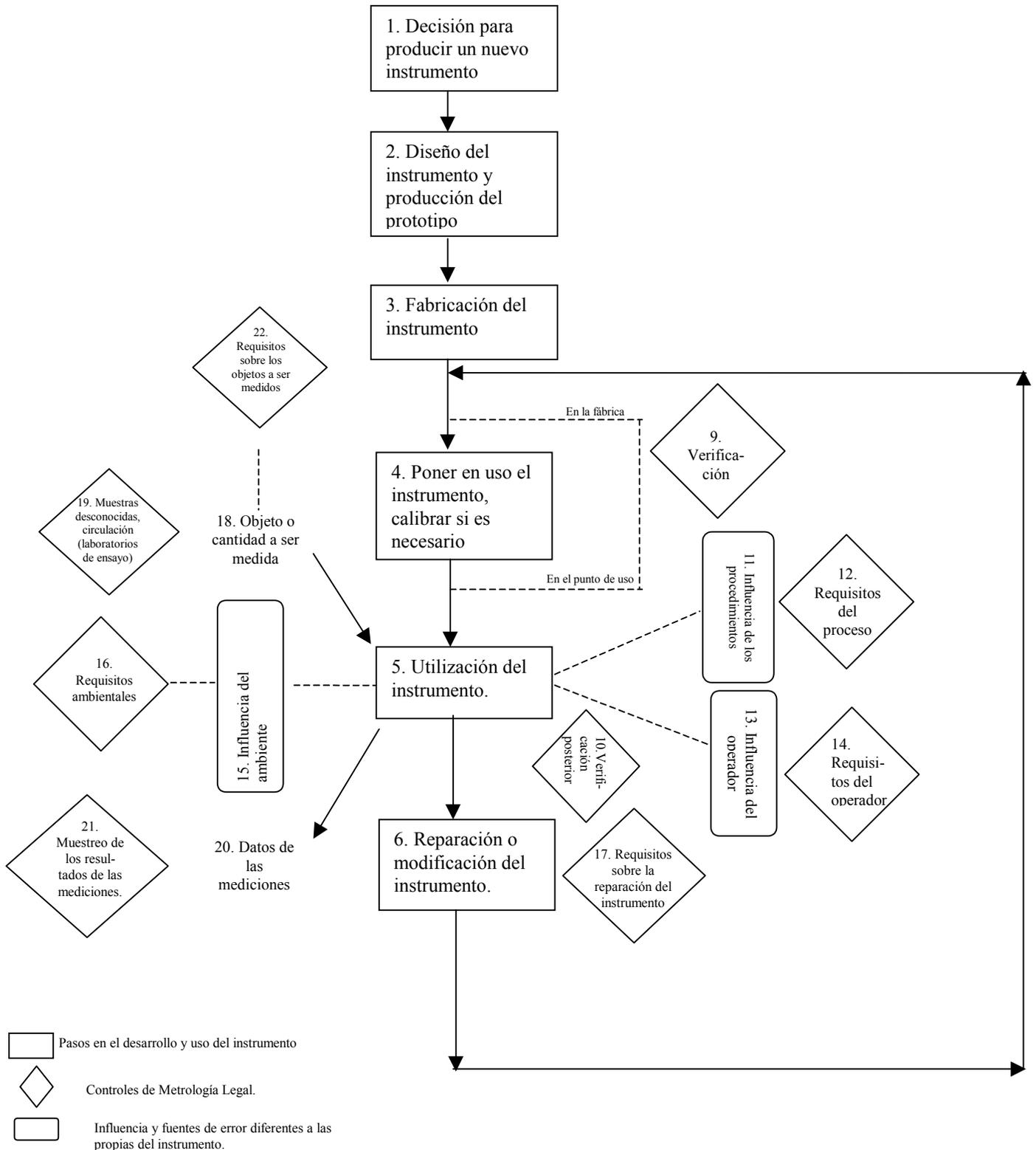
### Leyenda:

CTN - Comité Técnico de Normalización; SC - Subcomité; TC - Comité Técnico

En otros organismos, de tipo regional, por ejemplo, en el Comité Europeo de Normalización (CEN), los Comités Técnicos se ocupan también de la Óptica Oftálmica, además de lo relacionado con el láser, como el TC 123 Láseres y Equipos láseres relacionados.

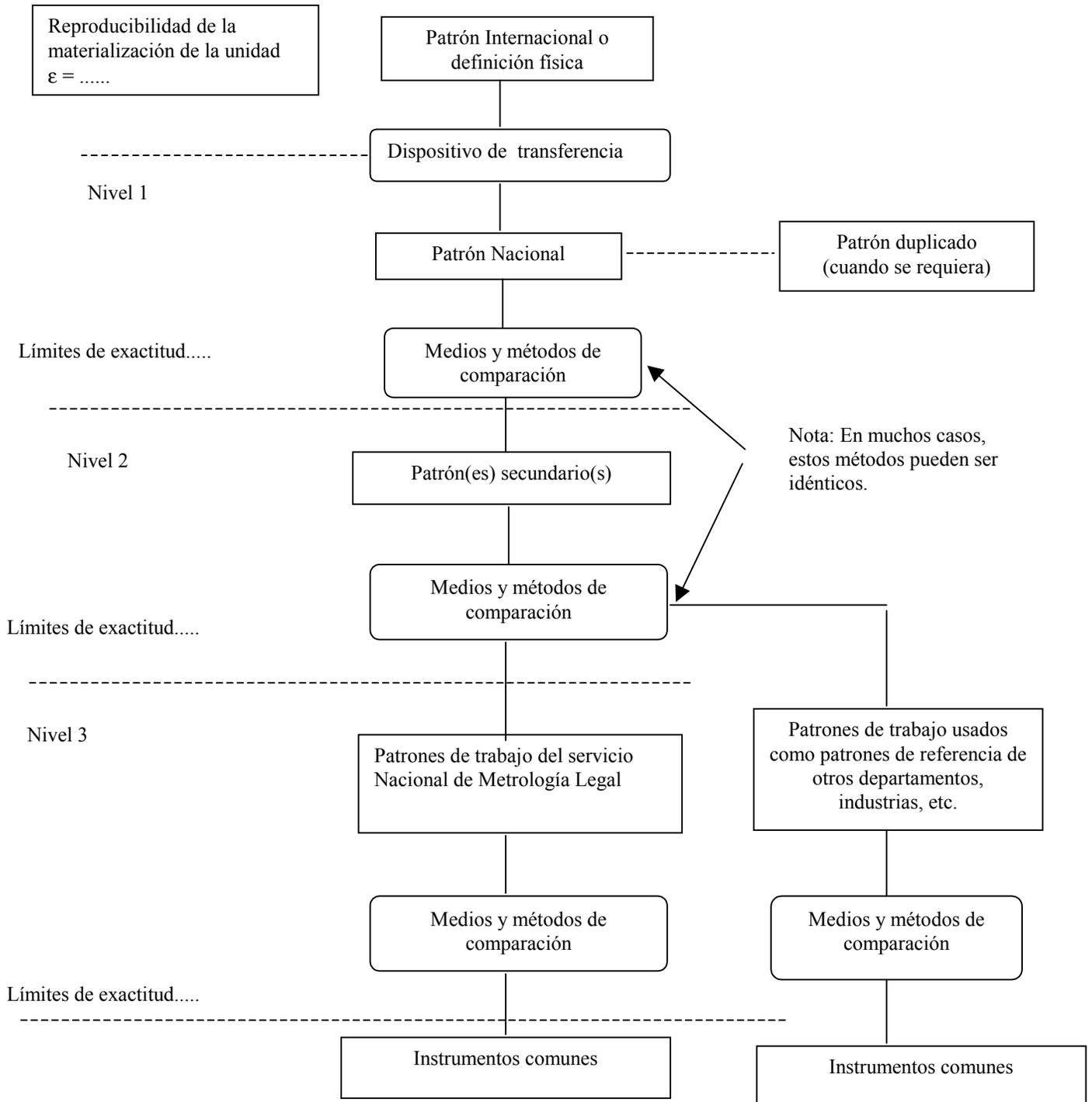
# ANEXO B. Características de un sistema generalizado para los controles metrológicos sobre los medios de medición (y los sistemas).

Tomado de [12]



## ANEXO C. Esquema Nacional de jerarquía.

Ejemplo omitiendo el nivel 4. Tomado de [9]



## ANEXO D. Comparación entre la calibración y la verificación

Tomado de [30]

Tabla 4. Comparación entre la calibración y la verificación

Características	Verificación	Calibración
Bases	Requisitos legales.	Reglas técnicas, normas, solicitud de los clientes.
Objetivo	Garantía de que, durante el período de vigencia, las indicaciones se mantendrán dentro del rango del error máximo permisible (EMP) en el servicio.	Relación entre la indicación y el valor convencionalmente verdadero (para una clase de exactitud definida).
Prerrequisito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aptitud para el uso en el área de regulación.</li> <li>- Aptitud para la verificación directamente, o mediante la aprobación de modelo, si se requiere.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconocimiento amplio de los resultados de la calibración.</li> <li>- El instrumento debe ser capaz de ser calibrado.</li> </ul>
Validez de los requisitos.	Dentro del período fijado para la verificación posterior (en lo referido al EMP en servicio)	En el momento de la calibración bajo las condiciones de calibración específicas.
Evaluación de los resultados.	Por el órgano de verificación.	Por el usuario de los instrumentos de medición.
Trazabilidad.	Regulada por el procedimiento	El laboratorio de calibración debe aportar las evidencias.
Incertidumbre de las mediciones.	$U \leq 1/3 \text{ EMPV}$ EMPV- error máximo permisible en la verificación.	En dependencia de la competencia técnica del laboratorio y del comportamiento del equipo.

**ANEXO E. Estimado de los recursos necesarios para la ejecución del Programa de aseguramiento metrológico a la rama láser en la República de Cuba (para un período de tres años)**

Destino de los recursos.	Costo estimado	
	MN	USD
Adquisición de bibliografía	2 000,00	600,00
Construcción de equipos y dispositivos	3 000,00	600,00
Adquisición de equipos de medición y servicios de calibración, verificación, ensayos, certificación de patrones, reparación y mantenimiento.	3 500,00	25 000,00
Salarios	21 600,00	
Material gastable		2 000,00
Capacitación	1 000,00	9 000,00
Dietas y pasajes	2 000,00	2 000,00
Operativos	2 700,00	2 000,00
<b>Estimado total</b>	<b>35 800,00</b>	<b>41 200,00</b>