

# **METROLOGÍA GENERAL Y TRAZABILIDAD**

*PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE y METROLOGÍA*



## **Coordinadora PROCAME**

M.Sc. Ligia Bermúdez Hidalgo

## **Equipo de trabajo:**

M.Sc. Manfred Murrell Blanco

Ing. Ana Catalina Leandro Sandí

Licda. Karla Vetrani Chavarría

Ing. Manuel Mora Marín

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

# 1

## ÍNDICE

2	PERFIL DEL CURSO .....	4
	a) Objetivo general .....	4
	b) Objetivos específicos.....	4
	c) Dirigido a .....	4
	d) Contenido temático.....	4
	e) Estrategia metodológica.....	5
	f) Duración .....	5
	g) Proyecto asistido a distancia.....	5
	h) Evaluación.....	5
3	INTRODUCCIÓN .....	6
4	LA METROLOGÍA, SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	7
	1. Aspectos generales .....	7
	2. Organizaciones nacionales e internacionales de metrología.....	9
	3. La metrología en Costa Rica.....	11
	4. Ejercicios .....	16
5	VOCABULARIO INTERNACIONAL DE METROLOGÍA (VIM) .....	1
	1. Generalidades .....	1
	2. Ejercicios .....	7
6	SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI).....	9
	1. Desarrollo e importancia del SI.....	9
	2. Conceptos fundamentales .....	11
	3. Unidades de medida del SI .....	13
	4. Múltiplos y submúltiplos del SI.....	16
	5. Algunas reglas para la escritura correcta de las unidades de medida y los valores numéricos correspondientes .....	18
	6. Ejercicios .....	26

7 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	27
1. Aspectos generales sobre la medición.....	27
2. Clasificación de los instrumentos de medición .....	28
3. Características metrológicas de los instrumentos de medición.....	29
4. Errores de los instrumentos de medición.....	31
5. Características metrológicas fundamentales de las mediciones.....	37
6. Valor verdadero y error.....	37
7. Resultado de la medición e incertidumbre de medición .....	39
8. Ejercicios.....	41
8 TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES EN LA ORGANIZACIÓN.....	46
1. Consideraciones generales.....	46
2. Calibración y verificación.....	48
3. Intervalos de calibración o de verificación .....	51
4. Explotación de los resultados de la calibración o verificación .....	51
5. Trazabilidad .....	52
6. Ejercicios.....	54
9 EJERCICIOS RESUELTOS.....	55
CAPÍTULO 4.....	55
CAPÍTULO 5.....	56
CAPÍTULO 6.....	58
CAPÍTULO 7.....	58
CAPÍTULO 8.....	60
10 REFERENCIAS .....	61
11 LINKS Y PÁGINAS WEB DE INTERÉS.....	62

# 2 PERFIL DEL CURSO

## a) Objetivo general

- Conocer los fundamentos teóricos-prácticos y utilizar los elementos, conceptos e instrumentos necesarios en el ámbito de la metrología, con el fin de que los mismos puedan ser aplicados a los procesos productivos de la industria actual.

## b) Objetivos específicos

- Estudiar los términos generales y básicos de metrología.
- Definir los errores e incertidumbres de las mediciones.
- Reconocer los diferentes patrones utilizados.
- Dominar los principios y prácticas para el logro de la trazabilidad de las mediciones.
- Conocer cómo debe ser la organización de la metrología a nivel de empresa.

## c) Dirigido a

- Gerentes, especialistas, técnicos y usuarios en general, vinculados con temas de metrología, aseguramiento de calidad, gestión ambiental y actividades afines.

## d) Contenido temático

- La metrología, su evolución histórica. Conceptos básicos. Organizaciones nacionales e internacionales de metrología.
- Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI). Unidades básicas y derivadas.
- Vocabulario internacional de metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM).

- Instrumentos de medición. Clasificación.
- Errores de los instrumentos de medición. Clasificación.
- Características metroológicas.
- Trazabilidad, concepto y aplicación práctica.
- Conceptos de calibración y verificación de instrumentos de medición.

#### e) Estrategia metodológica

- Exposición por parte de instructores.
- Trabajos en grupo.
- Evaluación cualitativa y sistemática de los participantes a través de sus intervenciones y de su participación en los trabajos grupales.
- Recursos audiovisuales.
- Análisis de casos y prácticas.

#### f) Duración

- 30 horas. El curso se impartirá en cinco sesiones presenciales de cuatro horas cada una, para un total de 20 horas y 10 horas en un Proyecto Asistido a Distancia.

#### g) Proyecto asistido a distancia

- Este proyecto será evaluado a partir de varias temáticas que incluyen: vocabulario internacional de metrología; instituciones en el país relacionadas con la metrología y la calidad donde se especifiquen funciones y servicios; noticias nacionales e internacionales en metrología y videos

#### h) Evaluación

- Examen final 70%
- Proyecto asistido a distancia 30%

# 3 INTRODUCCIÓN

La metrología, definida como “la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones” (VIM, 2012), es una disciplina científica que se ha generado durante muchos años y hasta la actualidad, en forma de una estructura piramidal, en cuyo vértice se encuentran las organizaciones internacionales que elaboran normas y recomendaciones y en su base se localizan los servicios metrológicos especializados.

Este fenómeno ha afectado a la metrología y sobre todo al hombre como actor fundamental, lo que ha dificultado que se reconozca el papel determinante que ha tenido y tiene esta ciencia en el desarrollo de la actividad humana en general.

En la actualidad, la metrología tiene un impacto cada vez más determinante sobre las actividades industriales, científicas, comerciales y jurídicas en el mundo entero.

El presente documento, aborda elementos básicos generales sobre la metrología, de acuerdo con documentos nacionales e internacionales vigentes y con material actualizado sobre las actividades industriales comunes y los problemas cotidianos que enfrentan las personas que laboran en procesos relacionados con la ciencia de las mediciones.

# 4

## LA METROLOGÍA, SU EVOLUCIÓN

### HISTÓRICA.

#### 1. Aspectos generales

En todos los sectores de la actividad técnica, económica, industrial, social y científica es necesaria la utilización de los más modernos instrumentos de medición para obtener resultados exactos y seguros, siendo estos a su vez factores obligatorios para la obtención de una alta productividad.

Las mediciones de carácter práctico, requieren hoy una sensibilidad y exactitud sin precedentes para un amplísimo rango de propiedades de materiales o sistemas y de características de señales.

Los requerimientos prácticos de estas mediciones pueden alcanzar y aún superar el estado actual de la capacidad de medición, siendo además de importancia, la reproducción de las mediciones entre las distintas partes involucradas y la exactitud, basada en los patrones nacionales o internacionales aceptados, para satisfacer los requerimientos legales de los órganos reguladores, la equidad del mercado, para la confiabilidad de ejecución de productos o sistemas críticos y para mejorar la productividad industrial.

El comercio internacional de productos de alta tecnología, las redes de comunicación y navegación, los intercambios de informaciones científicas y una multitud de actividades científicas o técnicas, teóricas o aplicadas, conducidas a nivel internacional, reposan de manera crítica sobre las medidas de exactitud. De hecho, todo proceso de fabricación de un producto, sea cual sea, depende estrechamente de la posibilidad de comparar las mediciones a patrones nacionales, y más allá, a patrones internacionales. Todo esto exige implícitamente mejorar continuamente la uniformidad y la exactitud de las mediciones.

"La disciplina científica que se dedica a las mediciones. La metrología abarca tanto los aspectos teóricos como los aspectos prácticos de las mediciones,

sea cual fuere el nivel de exactitud, o el campo de la ciencia o de la tecnología en el que ocurren".

Entre las principales aplicaciones de la metrología, se consideran:

- Las unidades de medida y sus patrones: su establecimiento, reproducción, conservación y diseminación.
- La medición: su teoría general, métodos, ejecución y la evaluación de incertidumbre asociada.
- Los instrumentos de medición: sus propiedades examinadas desde el punto de vista de su utilización.
- El aseguramiento de la uniformidad de las mediciones.

Para abordar estos campos de interés en las diferentes esferas de la actividad humana, la metrología se divide en:

**Metrología Industrial:** Parte de la metrología relativa a las mediciones destinadas a asegurar la conformidad con especificaciones de diseño o proceso, necesarios para algún objeto con respecto al uso previsto.

**Metrología Legal:** Parte de la metrología dedicada a las unidades de medida, a los métodos de medición y a los instrumentos de medición, en lo relativo a las exigencias técnicas y jurídicas reglamentadas, que tienen por fin, asegurar la garantía pública en la exactitud conveniente de las mediciones.

**Metrología Científica:** Es la parte de la metrología que se encarga del estudio de las mediciones realizadas, con la finalidad de convalidar teorías científicas ya creadas o para sugerir nuevas teorías.

La calidad no es una idea abstracta al margen de nuestra vida cotidiana. La demanda de la calidad tiene su origen en el hombre mismo que abraza el deseo de tener una mejor "calidad de vida". En nuestros días, la calidad se considera en todo el mundo como un elemento estratégicamente importante tanto para la industria como para la sociedad.

Pero no es suficiente producir con calidad, también hay que comprobarla. Eso requiere de un control de calidad bien organizado.

Si deseamos determinar la calidad de un producto y saber si la calidad exigida es observada, no podemos estar satisfechos con un control del producto. El cumplimiento de los criterios especificados debe ser comprobado o medido. A tal propósito se necesitan instrumentos de

medición adecuados ¿Y quién nos puede asegurar que estos instrumentos dan resultados de medición correctos?

La exactitud de los resultados de la medición, por su parte, depende de la calidad de las mediciones, es decir, de la exactitud de los instrumentos y de los procedimientos de medición utilizados y el esmero con que se realicen las mediciones.

Para garantizar su exactitud, los instrumentos de medición deben ser calibrados y para la calibración se necesitan los patrones correspondientes.

De esta forma, el círculo se cierra: **no hay calidad sin control y no hay control sin mediciones.**

## 2. Organizaciones nacionales e internacionales de metrología

De la gran importancia de la metrología que hemos referido anteriormente, se deduce la necesidad y relevancia que tiene la existencia de organizaciones metrológicas nacionales e internacionales para el desarrollo de la uniformidad y la exactitud de las mediciones.

Las principales organizaciones internacionales de metrología son:

**El Buro Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y la Confederación Internacional de Medición (IMECO).**

La “Convención del Metro”, convención diplomática entre Estados, tiene por objetivo establecer y mantener las bases necesarias para asegurar la uniformidad de las mediciones. Firmada en París en 1875, es el origen de la creación del **Buró Internacional de Pesas y Medidas**. Hoy reúne cerca de 50 Estados, entre los cuales figuran todos los grandes países industrializados.

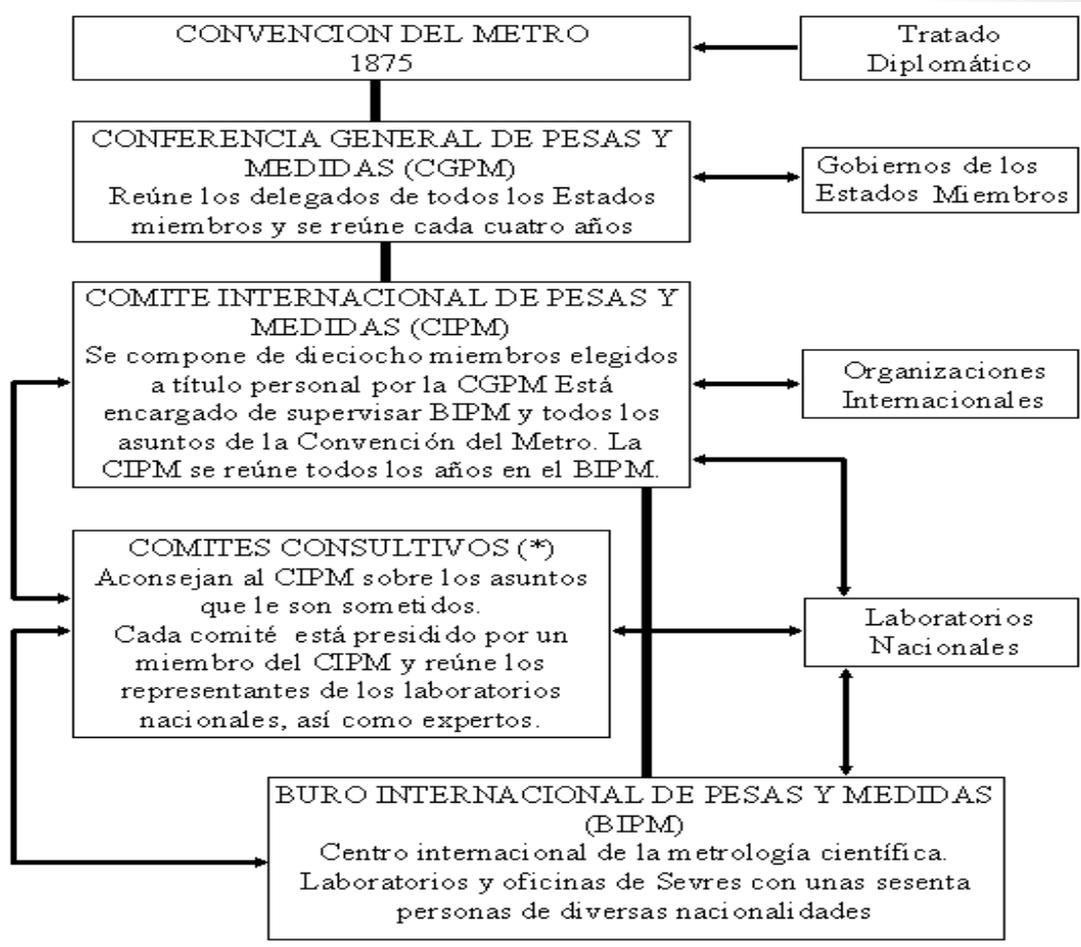
Según los términos de la Convención, el BIPM funciona bajo la vigilancia exclusiva del **Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM)**, el mismo que bajo la autoridad de la **Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)**, elige los miembros de CIPM y reúne de manera periódica a los representantes de los gobiernos de los estados miembros.

El objetivo que la Convención del Metro le fija al BIPM es la mejora continua de la uniformidad y la exactitud de las mediciones y al cual éste se consagra

en estrecha colaboración con los Institutos Nacionales de Metrología (INM's). En cada país, el laboratorio nacional es la base del sistema nacional de medida, es el que asegura la relación con los otros laboratorios y el BIPM. El BIPM y los laboratorios nacionales, en conjunto, tienen la responsabilidad del sistema internacional de medidas, llave de la uniformidad mundial de las mediciones y una de las bases del mundo industrializado.

Otra organización intergubernamental que se ocupa específicamente de metrología es la **Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)**, con la cual mantienen estrechos vínculos el BIPM y el CIPM. La OIML fue fundada en 1955, con la finalidad de suministrar una base común internacional para la elaboración de las leyes y reglamentos nacionales ligados con la metrología.

La **Confederación Internacional de Medición (IMECO)** fue fundada en 1958. La misma tiene como objetivo principal, la discusión mediante conferencias internacionales metroológicas, de los logros científicos y técnicos más importantes obtenidos en la investigación, fundación y aplicación, en las modernas ramas de la medición e instrumentación.



### 3. La metrología en Costa Rica

En Costa Rica, la Ley No. 5292, promulgada en 1973, permitió la creación de la Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medida (ONNUM), dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC). Como parte de la ley de creación de la ONNUM, se decretó el reglamento del artículo 1° de la ley sobre Unidades de Medición, en el cual se toma como sistema oficial de medidas al Sistema Internacional de Unidades (SI).

En la ley de creación de la ONNUM, se establece que la oficina sería el reemplazo del Comité de Normas y Asistencia Técnica Industrial, asumiendo desde sus inicios todas las funciones que le competían a este ente.

La ONNUM se creó con el objetivo de ayudar al país en su desarrollo económico y social, mediante el establecimiento de transferencia de tecnología, interrelacionando los campos básicos de metrología, formulación

de reglamentos técnicos metrológicos, gestión, verificación, control y certificación de la calidad en la industria.

La Ley No. 5292 fue reformada mediante la emisión de una nueva ley, en la cual, se establece el Sistema Nacional para la Calidad (Ley No. 8279, aprobada el 02 de mayo del 2002).

En esta nueva ley se presentan una serie de cambios en relación con la forma de organización de la metrología a nivel nacional, entre los cuales se pueden señalar:

- El nombre de la Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medida (ONNUM) se modifica por el de Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET).
- El LACOMET será el laboratorio nacional de referencia (cuando se requiera será secundario).
- Se permite al LACOMET reconocer laboratorios nacionales designados en otras instituciones (por medio de convenios).
- Se da la potestad al LACOMET para reconocer Unidades de Verificación Metrológica (UVM).
- Se dan cambios en la estructura administrativa, como por ejemplo, la creación de una Comisión de Metrología como máximo órgano técnico del LACOMET.
- Se permite al LACOMET organizarse mediante la venta de servicios, cuyos fondos se utilizarán para su mejoramiento, y además se da la posibilidad de asignar presupuesto estatal para las actividades del LACOMET.
- Se resalta la importancia de que los entes públicos y privados estén sujetos a la Reglamentación Técnica de Medición emitida.

El LACOMET tiene como objetivo primordial ayudar al país en el desarrollo metrológico y como parte de la ley de su creación, se le asignaron las siguientes funciones:

- a) Actuar como organismo técnico y coordinador con otros organismos científicos y técnicos, públicos y privados, nacionales e internacionales, en el campo de la metrología.
- b) Difundir y fundamentar la metrología nacional y promover el establecimiento de una estructura metrológica nacional.

- c) Custodiar los patrones nacionales y garantizar su referencia periódica a patrones de rango superior.
- d) Promover el uso, la calibración, la verificación y el ajuste de los instrumentos de medición, así como la trazabilidad a patrones del Sistema Internacional de Unidades, y garantizar la trazabilidad de los instrumentos de medida.
- e) Regular y vigilar las características de los instrumentos de medición empleados en las transacciones comerciales nacionales y en la verificación del cumplimiento de los requisitos reglamentarios.
- f) Fungir como laboratorio nacional de referencia en metrología y, cuando se le requiera, brindar servicios como laboratorio secundario en las áreas de su competencia.
- g) Colaborar con la Secretaría de Reglamentación Técnica en la definición de los asuntos metrológicos, para las especificaciones técnicas de los reglamentos.
- h) Reconocer, mediante convenios, a otras instituciones como laboratorios nacionales designados en las magnitudes que se considere pertinente y mantener mecanismos de coordinación y vigilancia para el uso de los patrones. El Laboratorio tendrá la responsabilidad de establecer los requisitos necesarios para otorgar y mantener este reconocimiento y verificar su cumplimiento.
- i) Reconocer a instituciones públicas o privadas, físicas o jurídicas, como Unidades de Verificación Metrológicas, de acuerdo con los requisitos legales y técnicos que él disponga. Cuando la institución no esté acreditada, el Laboratorio, justificando debidamente la necesidad del reconocimiento, podrá concederlo y le otorgará el plazo máximo de tres años para que obtenga la acreditación correspondiente.
- j) Participar en actividades de verificación del cumplimiento de los reglamentos técnicos, en los campos de su competencia.
- k) Participar en instancias internacionales de metrología, en particular la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y la Organización Internacional de Metrología Legal.

#### 4. Laboratorios Nacionales Designados (LND)

El LACOMET se ha enfocado en cubrir la demanda nacional sobre necesidades metrológicas, con el objetivo de dar el soporte necesario a los sectores académicos, productivos y ciudadanos en general, para el

aseguramiento de la calidad de las mediciones que se realicen en transacciones sociales y comerciales.

En esta vía, la infraestructura metrológica se ha desarrollado basada en magnitudes básicas, a través de la trazabilidad a las unidades básicas del Sistema Internacional; sin embargo, existen campos en los que aún el país es incipiente en cuanto a la cobertura de las necesidades metrológicas de mediciones.

Por otro lado, para algunas magnitudes específicas, el país cuenta con otras instituciones públicas y académicas que han iniciado el desarrollo de magnitudes debido a sus necesidades intrínsecas y con la visión de formar parte de los actores del campo de la metrología.

En virtud de esto, la Ley 8279 dentro de las funciones de LACOMET indica en su capítulo III, Artículo 9. Inciso h):

*"Reconocer, mediante convenios, a otras instituciones como laboratorios nacionales en las magnitudes que considere pertinente y mantener mecanismos de coordinación y vigilancia para el uso de patrones. El Laboratorio tendrá la responsabilidad de establecer los requisitos necesarios para otorgar y mantener este reconocimiento y verificar su cumplimiento."*

El LACOMET, en virtud de cumplir con las funciones otorgadas por la Ley, ha otorgado el reconocimiento como Laboratorios Designados a tres Laboratorios Nacionales:

Laboratorio Designado	Magnitud (es)
<b>Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas del ICE (LMVE-ICE).</b>	Electricidad, magnetismo, tiempo y frecuencia.
<b>Laboratorio Nacional de Metrología, Grandes Masas y Volumen, RECOPE.</b>	Grandes masas (50 kg hasta 1000 kg) y volumen (20 dm <sup>3</sup> hasta 5000 dm <sup>3</sup> ).
<b>Laboratorio de Fuerza, LANAMME-UCR</b>	Fuerza.

Estos laboratorios también se encuentran regidos por lo establecido en el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la Conferencia General de Pesas y

Medidas (CIPM-MRA); y se encuentran debidamente designados en el Buró Internacional de Pesas y Medidas.

## 5. Sistema Nacional para la Calidad

Para un país pequeño como Costa Rica, donde el nivel de apertura comercial es cada vez mayor y donde los mercados son más exigentes, podemos decir con absoluta claridad que la infraestructura para la calidad es tan importante como su infraestructura física (hospitales, carreteras, aeropuertos).

Un sistema o infraestructura de calidad contribuye a que las empresas consoliden su posición comercial local y a que puedan acceder a los mercados externos y a nichos especializados con exigencia por bienes de calidad. Asimismo, protege al consumidor al limitar el ingreso de productos o servicios que incumplen los estándares de calidad y que por esta situación puedan afectar la salud y seguridad de las personas.

También, favorece la transparencia y la adquisición de buenos productos y servicios por parte del Estado, al promover la certificación y acreditación de las empresas proveedoras.

En mayo del 2002, el Gobierno promulgó la Ley No. 8279 del Sistema Nacional para la Calidad (SNC), con el propósito de establecer un marco que permitiera promover la calidad y su demostración, de tal forma que favoreciera la competitividad de las empresas nacionales, la protección de los consumidores e impulsar el desarrollo económico y comercial del país.

Durante una década, Costa Rica logró consolidar los componentes básicos de ese Sistema que se ha convertido, hoy por hoy, en inspiración para otras iniciativas en América y el Caribe.

El Sistema Nacional para la Calidad está integrado por cuatro pilares técnicos: metrología, normalización, reglamentación y acreditación. Esos pilares están representados por el Órgano de Reglamentación Técnica (ORT), el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) y el Ente Nacional de Normalización (INTECO)

Pilares. El Sistema se compone, también, de un organismo estratégico: el Consejo Nacional para la Calidad (CONAC), como la entidad responsable de fijar los lineamientos generales del Sistema. Está conformada por ministerios, sector privado, representantes de los cuatro pilares y la

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

Academia. No obstante, en la práctica para el sistema sea efectivo, interactúan entes técnicos, de apoyo y, finalmente, los usuarios (consumidores y empresarios).

En los últimos años, se emprendió un proceso para consolidar el Consejo Nacional para la Calidad, mediante una mayor integración y coordinación entre sus componentes. Para lograr los objetivos del Sistema los cuatro pilares llevan a cabo acciones como visibilidad, normalización, evaluación de la conformidad, reglamentos técnicos y su impacto en el ordenamiento jurídico.

El SNC debe velar por los intereses legítimos del Estado y de la población (protección a la salud, ambiente, comercio justo y seguridad), y promover la calidad en la producción nacional para que pueda competir en un mundo más exigente.

Los países industrializados tienen sus reglas definidas sobre los productos y servicios que merecen sus habitantes, consumidores cada día más informados. De tal manera, que ya no es la materia prima ni el precio los que definen las compras, sino la calidad.

Eso obliga a los países en desarrollo a contar con un conjunto de normas y reglamentos que permitan fomentar la calidad en los procesos de las empresas para que los productos puedan ingresar y competir en los mercados internacionales.

## 6. Ejercicios

### a) Resuelva el siguiente marque con **X**

1. Es la clase de metrología que se encarga del estudio de la teoría general de las mediciones, magnitudes físicas y errores relacionados para establecer la aplicación de los mismos mediante el Sistema Internacional de Unidades. Esta clase de metrología es conocida como:

- a. Científica                      b. Dimensional                      c. Legal                      d. Industrial

2. Es el campo de acción donde se desarrolla la implementación de mediciones a través de equipos de medición u otros medios que determinen una magnitud de interés. Esta es la definición de metrología:

- a. Científica                      b. Dimensional                      c. Legal                      d. Industrial

3. En Costa Rica existen tres Laboratorios Nacionales Designados, reconocidos a nivel internacional, los cuales son los siguientes:

- |                                      |                                     |                                    |
|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| a. LACOMET,<br>LMVE-ICE,<br>y RECOPE | b. LMVE-ICE,<br>RECOPE y<br>LANAMME | c. RECOPE,<br>INTECO y<br>LACOMET  |
| d. LMVE-ICE;<br>INTECO y<br>LANAMME  | e. LACOMET,<br>ECA y<br>INTECO      | f. Ninguna<br>de los<br>anteriores |

4. En el año 1973 se creó la Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medida (hoy conocida como LACOMET), donde se establece la implementación del Sistema Internacional de Unidades de Medida y la manutención de patrones oficiales de medición. Lo anterior se logró mediante la normativa legal:

- a. Ley No. 8279                      b. Ley No. 5292                      c. Ley No. 8259                      d. Ley No. 5272

5. Es la organización intergubernamental fundada en 1955 que mantiene estrechos vínculos con el BIMP y el CIPM. Su función principal es suministrar una base común internacional para la elaboración de leyes y reglamentos nacionales ligados con la metrología. El párrafo anterior se refiere a:

- a. Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET)  
b. Comisión Electrónica Internacional (IEC)  
c. Organización Internacional de Normalización (ISO)  
d. Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)  
e. Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM)  
f. Ninguna de las anteriores

b) Resuelva la siguiente sopa de letras

Palabras a encontrar:

- BIPM
- CIENTÍFICA
- INDUSTRIAL
- IMECO
- LACOMET
- LEGAL
- METROLOGÍA
- OIML

W	O	M	D	P	W	C	I	E	N	T	I	F	I	C	A	E	J	D	X
N	H	V	U	D	W	H	C	M	J	H	U	P	P	Y	V	U	L	M	F
P	U	Q	P	B	Z	R	A	Q	E	C	E	C	R	A	L	A	R	G	T
C	I	V	X	F	K	N	E	M	I	C	M	F	W	Y	G	N	R	F	G
Z	M	I	I	X	R	G	N	L	U	V	O	B	L	E	L	J	M	J	F
R	W	L	N	K	W	A	O	I	O	E	H	R	L	F	C	H	B	T	D
M	P	I	B	L	Z	I	A	E	T	Y	P	N	T	V	P	J	F	F	L
A	U	P	U	T	M	X	X	F	S	N	T	F	N	S	T	B	D	I	C
G	E	J	K	L	G	Z	A	L	X	C	L	Q	D	X	U	X	B	Q	N
W	Z	N	X	U	C	U	P	O	A	A	V	A	X	Y	H	D	S	T	W
M	J	I	T	W	G	D	M	R	C	I	M	X	E	N	Z	M	N	T	G
P	C	L	P	P	G	T	O	O	G	F	R	S	Y	P	Z	O	U	I	M
O	R	A	A	K	V	A	M	G	M	M	J	T	D	J	K	K	M	S	R
Y	D	B	W	U	K	E	E	C	V	K	E	D	S	R	E	B	L	U	V
F	T	P	J	J	T	R	G	Q	Z	R	X	V	Z	U	L	Z	P	J	K
Y	M	P	I	R	D	J	F	Q	M	V	K	M	X	C	D	A	E	R	O
L	C	N	V	V	W	V	G	Q	F	P	T	Y	J	D	F	N	O	W	F
X	Q	K	U	C	V	W	G	J	E	O	Q	G	N	P	F	Q	I	H	C
O	M	E	T	R	O	L	O	G	I	A	L	D	L	D	A	P	P	W	F
Z	T	Z	S	H	L	C	V	U	X	J	O	J	A	L	C	P	C	D	K

# 5

## VOCABULARIO INTERNACIONAL DE METROLOGÍA (VIM)

### 1. Generalidades

A continuación se presentan los principales conceptos relacionados con la metrología, tomados del Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), los cuales serán mayormente usados en este curso.

- **Calibración:** 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 resultado de una calibración puede ser registrado en un documento, frecuentemente denominado **certificado de calibración** o **informe de calibración**.
- **Clase de exactitud:** Clase de los instrumentos de medición que cumplen determinados requisitos metrológicos que están destinados a mantener los errores dentro de límites específicos.
- **Condiciones de referencia:** Condiciones de utilización de un **instrumento de medición** prescritas por ensayos de funcionamiento, o por intercomparación de resultados de mediciones.
- **Corrección:** Valor, sumado algebraicamente al resultado sin corrección de una medición, para compensar el error sistemático.
- **Desviación:** Valor menos su valor de referencia.
- **División de la escala:** Parte de una escala entre dos marcas sucesivas de escala.
- **Error (de indicación) de un instrumento de medición:** Indicación de un instrumento de medición menos el valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

- **Error (de medición):** Resultado de una medición menos el valor verdadero de la magnitud a medir.
- **Error relativo (de medición):** Error de medición dividido por el valor verdadero de la magnitud a medir.
- **Límites del error permisible (de un instrumento de medición):** Valores extremos del error permisible por especificaciones, regulaciones y otros, para un instrumento de medición dado.
- **Escala (de un instrumento de medición):** Conjunto ordenado de marcas, que asociadas a cualquier numeración, forman parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.
- **Estabilidad:** Aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo sus características metrológicas.
- **Exactitud de la medición:** Acuerdo más cercano entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud a medir.
- **Incertidumbre de medición:** Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser razonablemente atribuidos a la magnitud a medir.
- **Indicación (de un instrumento de medición):** Valor de una magnitud suministrado por un instrumento de medición.
- **Longitud de la escala:** Para una escala dada, es la longitud de la línea de mejor ajuste entre la primera y la última marca de la escala y que pasa a través del centro de todas las marcas de escala más pequeñas.
- **Magnitud a medir:** Magnitud particular sujeta a ser medida.
- **Magnitud influyente:** Magnitud que no es la magnitud a medir, pero que afecta el resultado de la medición.
- **Medición:** Conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar el valor de una magnitud.

**Nota:** Las operaciones pueden ser ejecutadas automáticamente.

▪ **Medida materializada:** Dispositivo diseñado para reproducir o suministrar, de manera permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

### *Ejemplos*

- una masa;
- una medida de volumen (de uno o varios valores, con o sin una escala);
- una resistencia eléctrica patrón;
- una medida plano-paralela;
- un generador de señales patrón;
- un material de referencia.

**Nota:** La magnitud relacionada puede ser llamada **magnitud suministrada**.

▪ **Método de medición:** Secuencia lógica de operaciones, generalmente descritas, usada en la ejecución de las mediciones de acuerdo con un principio dado.

**Nota:** Los métodos de medición pueden ser calificados de varias formas, tales como:

- método de sustitución,
- método diferencial,
- método de cero.

▪ **Patrón (de medición):** Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para servir de referencia.

### *Ejemplos*

- masa patrón de 1 kg;
- resistencia patrón de 100 W;

- amperímetro patrón;
- patrón de frecuencia de cesio;
- electrodo de hidrógeno patrón;
- solución de cortisol en suero humano con su concentración certificada.

**Notas:**

1. Un conjunto de medidas materializadas o instrumentos de medición que a través de su utilización combinada, constituyen un patrón, se denomina **patrón colectivo**.

2. Un conjunto de patrones de valores seleccionados que, individualmente, o en combinación, dan una serie de valores de magnitudes del mismo tipo, se denomina **serie de patrones**.

- **Principio de medición:** Bases científicas de una medición

*Ejemplos*

- el efecto termoeléctrico aplicado a la medición de temperatura;
- el efecto Josephson aplicado a la medición de diferencia de potencial eléctrico;
- el efecto Doppler aplicado a la medición de velocidad;
- el efecto Raman aplicado a la medición de número de onda de las vibraciones moleculares.

- **Procedimiento de medición:** Conjunto de operaciones, en términos específicos, utilizadas en la ejecución de mediciones particulares, de acuerdo a un método dado.

**Nota:** El procedimiento de medición es generalmente registrado en un documento que en ocasiones se denomina por sí mismo **procedimiento de medición** (o **método de medición**) y contiene normalmente los detalles suficientes para que un operador sea capaz de realizar una medición sin información adicional.

- **Resolución (de un dispositivo de indicación):** Menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo de indicación que puede ser distinguida significativamente.

**Notas:**

1. Para un dispositivo de indicación digital, es el cambio en la indicación cuando el dígito menos significativo cambia en un paso.
2. Este concepto también se aplica a un dispositivo registrador.

▪ **Resultado de una medición:** Valor atribuido a una magnitud a medir, obtenido por una medición.

**Notas:**

1. Cuando se da el resultado, se aclarará si se refiere a:
  - la indicación,
  - resultados sin corrección,
  - resultados con corrección, o al promedio de varios valores.
2. Una información completa del resultado de una medición incluye la información sobre la incertidumbre de la medición.

▪ **Sensibilidad:** Cambio en la respuesta de un instrumento de medición dividido por el correspondiente cambio en el estímulo.

**Nota:** La sensibilidad puede depender del valor del estímulo.

▪ **Sistema de medición:** Conjunto completo de instrumentos de medición y otros equipos ensamblados para llevar a cabo mediciones específicas.

*Ejemplos*

- aparatos para medir la conductividad de materiales semiconductores:
- aparatos para la calibración de termómetros clínicos.

**Notas:**

1. El sistema puede incluir medidas materializadas y reactivos químicos.
2. Un sistema de medición que está instalado permanentemente se denomina instalación de medición.

▪ **Trazabilidad:** 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**.

▪ **Valor de división:** Diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de escala.

**Nota:** El valor de división es expresado en las unidades marcadas sobre la escala, independientemente de las unidades de la magnitud medida.

▪ **Valor nominal:** Valor aproximado o redondeado de una característica de un instrumento de medición que sirve de guía para su uso.

*Ejemplos*

- 100 W como el valor marcado en una resistencia patrón;
- 1 L como el valor marcado con un trazo en un recipiente volumétrico;
- $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  como la concentración de la cantidad de sustancia de una solución de cloruro de hidrógeno, HCl;
- $25 \text{ }^\circ\text{C}$  como el punto establecido de un baño termostático.

## 2. Ejercicios

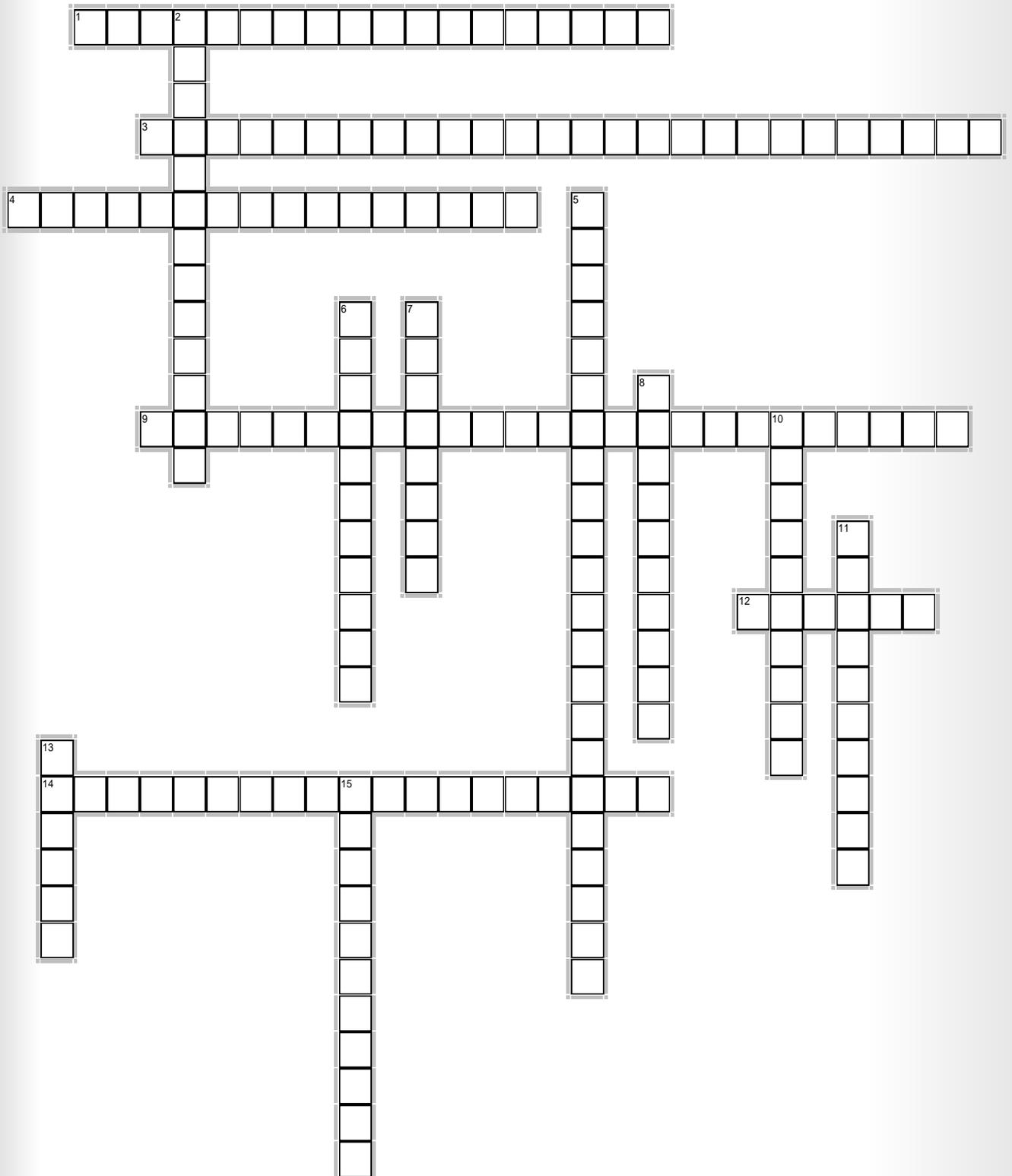
a) Resuelva el siguiente crucigrama

### Horizontal

1. Parte de una escala entre dos marcas sucesivas de escala.
3. Documento donde se registra el resultado de la calibración.
4. Magnitud particular sujeta a ser medida.
9. Conjunto de operaciones, en términos específicos, utilizadas en la ejecución de mediciones particulares, de acuerdo a un método dado.
12. Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para servir de referencia.
14. Conjunto completo de instrumentos de medición y otros equipos ensamblados para llevar a cabo mediciones específicas.

### Vertical

2. Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser razonablemente atribuidos a la magnitud a medir.
5. La cadena ininterrumpida de comparaciones.
6. 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.
7. Conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar el valor de una magnitud.
8. Menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo de indicación que puede ser distinguida significativamente.
10. valor menos su valor de referencia.
11. Valor, sumado algebraicamente al resultado sin corrección de una medición, para compensar el error sistemático.
13. Conjunto ordenado de marcas, que asociadas a cualquier numeración, forman parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.
15. Aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo sus características metrológicas.



# 6

## SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

### 1. Desarrollo e importancia del SI

Toda medición es, a fin de cuentas, la comparación entre la cantidad de magnitud física a medir y alguna otra cantidad de esta magnitud física tomada por unidad.

De aquí que, la formación de unidades de medida comienza a la par que el hombre comienza a medir, es decir, desde el inicio mismo de la civilización. Al principio las unidades de medida eran muy rudimentarias, relacionadas algunas con el cuerpo humano, como el palmo, el codo, el pie, el brazo.

En la medida que se desarrolla el comercio, van surgiendo y desarrollándose una gran cantidad de unidades de medida en diferentes partes del mundo, lo cual creaba serias dificultades en las relaciones de intercambio entre los hombres.

En 1790, el gobierno francés ordenó a la directiva de la Academia Francesa de ciencias, estudiar y proponer un sistema único de pesas y medidas para reemplazar todos los sistemas existentes. Los científicos franceses decidieron, como primer principio, que un **sistema universal** de pesas y medidas no debería depender de patrones hechos por el hombre, sino basarse en medidas permanentes, provistas por la naturaleza. Por consiguiente, se escogió como **unidad de longitud** al **metro**, definiéndolo como la diezmillonésima parte de la distancia desde el polo al Ecuador a lo largo del meridiano que pasa a través de París. Como **unidad de masa**, escogieron la masa de un centímetro cúbico de agua destilada a 4 °C, a la presión atmosférica normal (760 mm Hg) y le dieron el nombre de gramo. Para la tercera unidad, la **unidad de tiempo**, decidieron emplear el segundo tradicional definiéndolo como 1/86 400 del día solar medio.

Las propuestas de la Academia Francesa fueron aprobadas e introducidas como el sistema métrico de unidades de Francia en 1795. El sistema métrico despertó considerable interés en otras partes y finalmente en 1875, 17

países firmaron la llamada Convención del Metro, adoptando legalmente el sistema métrico de unidades. Sin embargo, aunque Gran Bretaña y Estados Unidos, firmaron la convención, reconocieron su legalidad únicamente en transacciones internacionales y no aceptaron el sistema métrico para uso doméstico.

Con el transcurso del tiempo se desarrollaron otros sistemas de unidades como fueron, el sistema CGS (centímetro-gramo-segundo) o sistema absoluto de unidades, utilizado por los físicos de todo el mundo y el sistema giorgio conocido como el sistema MKSA de unidades (metro-kilogramo-segundo-ampere).

En el siglo XIX, el crecimiento constante de la industria electrotécnica, sustentado sobre el notable desarrollo de las ciencias físicas en esa época y en particular del electromagnetismo, estimuló ampliamente los esfuerzos para asegurar la unificación internacional de las unidades eléctricas y magnéticas y se desarrollan las llamadas unidades eléctricas “absolutas”: el ohm, el volt y el ampere.

A mediados del siglo XX, después de diversos intercambios entre los medios científicos y técnicos del mundo, la décima Conferencia General de Pesas y Medidas adoptó como unidades base, el metro, el kilogramo, el segundo, el ampere, el kelvin y la candela. Finalmente, fue en 1960 que la oncenava CGPM creó, con su famosa resolución 12, el **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, basado sobre las seis unidades base antes mencionadas, y posteriormente se agregó una séptima: el mol.

Podemos decir entonces, que la creación del SI es el resultado de una larga historia a la cual un gran número de personas-científicos, ingenieros y hombres políticos han aportado su contribución, estimulados por las exigencias crecientes de una sociedad en evolución. El SI es un sistema adaptado a las necesidades de la ciencia, la tecnología, la industria y el comercio y su adopción implica la obligación de conformarse cuidadosamente a la notación, a los símbolos y a las reglas adoptadas por la Conferencia General de Pesas y Medidas.

De lo expuesto se comprende la importancia que tiene conocer los diferentes aspectos relacionados con el uso correcto del SI para expresar los resultados obtenidos en las mediciones de las diversas magnitudes físicas, por lo cual en este tema del curso trataremos este asunto en detalle.

## 2. Conceptos fundamentales

- **Magnitud física** es el atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que es susceptible de ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

El término “magnitud” puede referirse a una magnitud en sentido general (Ejemplo 1) o a una magnitud en particular (Ejemplo 2).

Ejemplo 1: Magnitudes en sentido general: longitud, tiempo, masa, temperatura, resistencia eléctrica, intensidad de campo magnético.

Ejemplo 2: Magnitudes particulares:

- Longitud de una varilla determinada.
- Resistencia eléctrica de un hilo conductor determinado.
- Concentración en cantidad de sustancia de etanol en una muestra dada de vino.

No debe utilizarse el término **magnitud** al expresar, por su nombre, la propiedad en cuestión. Por ejemplo, no debe decirse magnitud masa, magnitud fuerza, etc., ya que estas propiedades son, por sí mismas, magnitudes.

- **Valor de una magnitud** es la expresión cuantitativa de una magnitud particular, generalmente en forma de **unidad de medida** multiplicada por un número, el cual se denomina **valor numérico** de la magnitud en cuestión.

Ejemplo 3

<b>Magnitud particular</b>	<b>Valor de la magnitud</b>
longitud de una varilla	5,34 m
masa de un cuerpo	0,152 kg

Ciertas magnitudes, para las que no se puede definir su relación con la unidad, pueden expresarse por referencia a una escala convencional o procedimiento de medida especificado, o a ambos.

Ejemplo 4: Escala convencional de pH

- **Unidad de medida** es una magnitud particular, definida y adoptada por convenio, con la que se comparan otras magnitudes de la misma naturaleza para expresarlas cuantitativamente con respecto a esta magnitud.

Las unidades de medida tienen asignados por convenio internacional sus nombres y símbolos.

Ejemplo 5

Nombre de la unidad	Símbolo
coulomb	C
newton	N
gramo	g

Entre las magnitudes que abarcan cualquier dominio de la ciencia, se puede seleccionar un número limitado de magnitudes que se aceptan por convenio como funcionalmente independientes entre sí y que se denominan **magnitudes básicas**, en función de las cuales se pueden definir las restantes que se denominan **magnitudes derivadas**. El conjunto formado por las magnitudes básicas y derivadas se denomina **sistema de magnitudes físicas**.

De forma análoga, las unidades de medida correspondientes dentro de un sistema a las magnitudes básicas, se denominan **unidades de medida básicas** y las que corresponden a las magnitudes derivadas se denominan **unidades de medida derivadas**. El conjunto de ambas se denomina **sistema de unidades de medida**.

Ejemplo 6

- Sistema Internacional de Unidades
- Sistema de Unidades CGS

Existen, sin embargo, unidades de medida que no pertenecen a ningún sistema de unidades y que se denominan **unidades fuera de sistema**.

Ejemplo 7

- día, hora, minuto, como unidades de tiempo.
- electrón-volt como unidad de energía

La dimensión de una magnitud expresa su relación con respecto a las unidades básicas del sistema. Si a estas últimas se le asignan determinados símbolos, entonces la dimensión de cualquier magnitud derivada del sistema dado se expresa por un producto de potencias de los factores que representan las magnitudes básicas.

Ejemplo 8

a) En un sistema de magnitudes para la mecánica en el cual se tomen como magnitudes básicas la masa (M), la longitud (L) y el tiempo (T), la dimensión de la fuerza viene dada por la expresión:

$$[F] = [m] \cdot [a] = [m] \cdot \frac{[v]}{[t]} = \frac{[m] \cdot [S]}{[t]} = M \cdot L \cdot T^{-2}$$

b) En este mismo sistema de magnitudes la dimensión de la densidad es:

$$\rho = \frac{[m]}{[V]} = \frac{[m]}{[L^3]} = \frac{M}{L^3} = M \cdot L^{-3}$$

### 3. Unidades de medida del SI

#### ▪ Unidades básicas del SI

Magnitud	UNIDAD		
	Denominación	Símbolo	Definición
Longitud	metro	m	“El metro es la longitud del trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo” (17. CGPM en 1983, Resolución 1).
Masa	kilogramo	kg	El kilogramo es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo (1. CGPM en 1889 y 3. CGPM en 1901).
Tiempo	segundo	s	Es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 (13. CGPM en 1967, Resolución 1).
Intensidad de corriente eléctrica	ampere	A	Es la intensidad de corriente eléctrica constante que mantenida entre dos conductores paralelos, rectilíneos de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro el uno del otro en el vacío, produce entre estos conductores una fuerza igual a $2 \cdot 10^{-7}$ newton por metro de longitud (9. CGPM en 1948, Resolución 2).

Temperatura termodinámica	kelvin	K	Es la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua pura (13. CGPM en 1967, Resolución 3 y 4).
Intensidad luminosa	candela	cd	Es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{-12}$ hertz, y de la cual la intensidad radiante en esa dirección es $1/683$ watt por esterradián (16. CGPM en 1979, Resolución 3).
Cantidad de sustancia	mol	mol	Es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos existe en $0,012$ kilogramos del átomo de carbono 12. Cuando se usa el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos especificados de tales partículas (14. CGPM en 1971, Resolución 3).

#### ▪ Unidades derivadas

Las unidades derivadas del SI se definen de forma que sean **coherentes** con las unidades básicas, es decir, que éstas se definen por expresiones algebraicas en forma del producto de las unidades SI básicas, por un factor numérico igual a 1. Esta es una característica importante de un sistema de unidades por la simplicidad que implica en el mismo.

Sus símbolos se obtienen pues, mediante la expresión de productos y/o cocientes de los símbolos de las unidades básicas que los definen.

Para algunas unidades derivadas existen nombres y símbolos especiales. Aquéllos que han sido aprobados por la CGPM

Unidades derivadas con nombres y símbolos especiales

<b>Magnitud</b>	<b>Nombre de la unidad del SI derivada</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Expresión en términos de las unidades básicas, suplementarias o de otras unidades derivadas del SI</b>
Angulo plano	radián	rad	$m \cdot m^{-1}$
Angulo solido	estereorradián	sr	$m^2 \cdot m^{-2}$
Frecuencia	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Fuerza	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$
Presión, esfuerzo	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$
Energía, trabajo, cantidad de calor	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
Potencia	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s}$
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión, fuerza electromotriz	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ J} / \text{C} = 1 \text{ W} / \text{A}$
Capacitancia eléctrica	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C} / \text{V}$
Resistencia eléctrica	ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V} / \text{A}$
Conductancia eléctrica	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
Flujo de inducción magnética, flujo magnético	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} = 1 \text{ J} / \text{A}$
Densidad de flujo magnético, inducción magnética	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / \text{m}^2$
Inductancia	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb} / \text{A}$
Flujo luminoso	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
Iluminancia	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$
Dosis absorbida de radiación	gray	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg}$
Dosis equivalente de radiación	sievert	Sv	-
Actividad nuclear	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$

### Ejemplo 9

a) La velocidad lineal se determina a partir de la expresión:

$$v = S/t$$

Donde S es el espacio recorrido y t el tiempo invertido en recorrerlo. Entonces, la unidad SI para la velocidad lineal es el metro por segundo (m/s)

b) La velocidad angular se determina a partir de la relación:

$$\omega = \theta / t$$

Donde  $\theta$  es el ángulo barrido en el tiempo t. Entonces, la unidad SI para la velocidad angular es el radian por segundo (rad/s).

En algunos casos es ventajoso expresar las unidades derivadas en términos de otras unidades derivadas que poseen nombres especiales.

### Ejemplo 10

a) Para el momento de fuerza, la unidad de medida es el newton metro (N.m).

b) Para la intensidad del campo eléctrico, la unidad de medida es el volt por metro (V/m).

En la tabla se muestran algunas de las unidades derivadas del SI cuyos símbolos se forman por la combinación de símbolos de las unidades básicas y derivadas con símbolos especiales.

Unidades derivadas del SI que no tienen símbolos especiales (selección).

## 4. Múltiplos y submúltiplos del SI

Un complemento fundamental del SI es el de los múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida, los cuales se forman mediante los factores numéricos decimales que se muestran en la tabla por los que la unidad SI se multiplica.

### Múltiplos y submúltiplos del SI

Prefijo	Símbolo	Factor por el cual se debe multiplicar la unidad SI
exa	E	$10^{18} = 1000000000000000000$
peta	P	$10^{15} = 1000000000000000$
tera	T	$10^{12} = 1000000000000$
giga	G	$10^9 = 1000000000$
mega	M	$10^6 = 1000000$
kilo	k	$10^3 = 1000$
hecto	h	$10^2 = 100$
deca	da	$10 = 10$
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000000001$
pico	p	$10^{-12} = 0,0000000000001$
femto	f	$10^{-15} = 0,0000000000000001$
atto	a	$10^{-18} = 0,0000000000000000001$

Los nombres de los múltiplos y submúltiplos se forman mediante los prefijos SI que designan los factores numéricos decimales unidos al nombre de la unidad de la magnitud dada.

Es una excepción en este caso la unidad de masa, el kilogramo, para la cual los múltiplos y submúltiplos se forman a partir del gramo.

El símbolo del prefijo debe ser situado delante del nombre de la unidad sin dejar espacio intermedio; el conjunto forma el símbolo del múltiplo o submúltiplo de la unidad SI. El símbolo del prefijo se considera también unido con el símbolo de la unidad SI a la cual está directamente ligado, formando con él un nuevo símbolo de unidades SI que puede ser elevado a una potencia positiva o negativa y que puede ser considerado con otros símbolos de unidades SI para formar unidades compuestas.

## Ejemplo 10

Nombre del múltiplo o submúltiplo	Símbolo	Equivalencia
kilómetro	km	1 km = $10^3$ m
miliampere	mA	1 mA = $10^{-3}$ A
micrómetro	$\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ = $10^{-6}$ m
Megavolt	MV	1 MV = $10^6$ V
centímetro cuadrado	$\text{cm}^2$	1 $\text{cm}^2$ = $(10^{-2} \text{ m})^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$
miligramo	mg	1 mg = $10^{-3}$ g = $10^{-6}$ kg

Los prefijos compuesto formados por la yuxtaposición de dos o más prefijos, no se admiten.

## Ejemplo 11

Correcto	Incorrecto
$10^{-12} \text{ F} = 1 \text{ pF}$	$10^{-12} \text{ F} = 1 \mu\mu\text{F}$
$10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm}$	$10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ m}\mu\text{m}$
$10^6 \text{ W} = 1 \text{ MW}$	$10^6 \text{ W} = 1 \text{ kkW}$

Los múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida se recomienda que se seleccionen de manera que el valor numérico correspondiente esté entre 1 y 1000.

### 5. Algunas reglas para la escritura correcta de las unidades de medidas y los valores numéricos correspondientes

#### Reglas para usar los símbolos de las unidades de medida

1. Cada unidad de medida y sus múltiplos y submúltiplos tiene un sólo símbolo y éste no puede ser alterado de ninguna forma. No se pueden usar abreviaturas, añadir o suprimir letras ni tampoco se pluralizan.

## Ejemplo 12

Correcto	Incorrecto
30 kg	30 kgs
5 m	5 mt
10 cm <sup>3</sup>	10 cc
0,2 V	0,2 vt

Debe observarse que todos los símbolos de las unidades SI se escriben con letras minúsculas del alfabeto latino, con la excepción del ohm ( $\Omega$ ) letra mayúscula del alfabeto griego, pero aquellos que provengan del nombre de científicos se escriben con mayúscula.

2. Los símbolos se escriben a la derecha de los valores numéricos separados por un espacio en blanco.

Correcto	Incorrecto
10 V	10V
5 m	5m
450,10 kg	450,10kg

3. Luego de un símbolo no debe escribirse ningún signo de puntuación, salvo por regla gramatical de puntuación dejando un espacio de separación entre el símbolo y el signo de puntuación.

Ejemplo 13: "... cuya longitud es 7,1 m ."

4. En las unidades derivadas expresadas como productos o cocientes, el producto se indica por un punto como signo de multiplicación y como signo de división se utiliza la línea horizontal (-), oblicua (/) o bien potencias negativas. Cuando se emplea la línea horizontal u oblicua y haya más de una unidad SI en el denominador, éstas se escriben entre paréntesis.

## Ejemplo 14

N.m	K.m <sup>-1</sup>
Pa.m	W/(m.K)
m/s	

5. Cuando se indican valores de magnitudes con sus desviaciones límites, al indicar un intervalo o al enumerar varios valores numéricos, el símbolo de la unidad se utilizará de acuerdo con el ejemplo siguiente:

## Ejemplo 15

Correcto	Incorrecto
80; 100 y 150 m	80 t; 100 t y 150 t
(20 ± 2) °C	20 ± 2 °C ó 20 °C ± 2 °C
5 m ± 8 mm	5 m ± 0,008 m
de 10 a 18 Pa	de 10 Pa a 18 Pa

▪ **Reglas para el uso de los nombres de las unidades de medida**

1. El nombre completo de las unidades SI se escriben con letra minúsculas, con la única excepción del “grado Celsius”, salvo en el caso de comenzar una oración.

## Ejemplo 16

Correcto	Incorrecto
metro	Metro
newton	Newton
ampere	Ampere

2. Las unidades cuyos nombres se deriven de patronímicos, no se deben traducir, deben escribirse tal como en el idioma de origen.

## Ejemplo 17

Correcto	Incorrecto
volt	voltio
ampere	amperio
joule	Julio

3. El plural de las unidades de medida sólo se usa para las unidades cuyo nombre no se derive de patronímicos y cuando esas unidades sean precedidas de adjetivos indeterminados (algunos, varios, pocos...)

## Ejemplo 18

- “La velocidad de un móvil se expresa en metro por segundo...”
- “Se necesitan varios segundos...”
- “La potencia eléctrica es de pocos watt...”

4. Para las unidades SI derivadas que se expresan como productos o cocientes, para indicar división se utiliza la preposición “por” entre los nombres de las unidades y para indicar multiplicación no se utiliza ninguna palabra.

## Ejemplo 19

Símbolo de la unidad	Nombre de la unidad
N.m	newton metro
C/s	coulomb por segundo
W/(m.K)	watt por metro kelvin

Se recomienda en los textos escritos, utilizar los símbolos de las unidades y no sus nombres completos

▪ **Reglas para la escritura de los valores numéricos**

1. En el caso de la **numeración decimal**, la separación de la parte entera de la decimal se hará mediante una coma (,).
2. La parte entera de un número decimal se escribe para su más fácil lectura, en grupos de tres cifras, de derecha a izquierda a partir de la coma, separados entre sí por un espacio (no por un punto, coma u otro). La parte

decimal se escribirá también en grupos de tres cifras, de izquierda a derecha, a partir de la coma.

Ejemplo 20

25 304,02

25,307 42

0,25

#### ▪ Unidades toleradas por el SI

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) considera que ciertas unidades no pertenecientes al SI deben retenerse por su importancia práctica o por su uso en campos especializados

Los prefijos del SI pueden usarse con muchas de estas unidades y se sigue para su escritura las mismas reglas que vimos anteriormente para las unidades del SI.

Unidades de medida fuera de sistema cuyo uso se permite por tiempo indefinido junto a las del SI

Magnitud	UNIDAD			
	Denominación	Símbolo	Valor en unidades SI	Observaciones
Masa	tonelada	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$	$1 \text{ t} = 1 \text{ Mg}$
Tiempo	minuto	Min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$	Se permiten también otras unidades de medida que se usan mucho: semana, mes, año, siglo, lustro, milenio y otras.
	hora	H	$1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$	
	día	d	$1 \text{ d} = 86\,400 \text{ s}$	
Angulo plano	grado	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad} = 1,745\,329 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$	El grado debe subdividirse preferiblemente de forma decimal. El símbolo de la unidad debe colocarse al final Ej.: $18,32^\circ$
	minuto	′	$1' = (10/800) \text{ rad} = 2,908\,82 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$	
	segundo	″	$1'' = (\pi/648\,000) \text{ rad} = 4,848\,137 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$	

Volumen	litro	L	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$	La 16 CGPM decidió adoptar los dos símbolos L y ℓ como símbolos utilizables para la unidad litro.
Temperatura Celsius, diferencia de temperatura	grado Celsius	° C	Dimensionalmente la unidad de medida “grado Celsius” es igual a la unidad de medida kelvin, $1 \text{ °C} = 1 \text{ K}$ El grado Celsius se usa al igual que el kelvin, para la expresión de un intervalo o una diferencia de temperaturas.	La expresión de la temperatura Celsius es $t = T - T_0$ , donde T es la temperatura termodinámica kelvin y $T_0 = 273,16 \text{ K}$

Nota: Las unidades de tiempo y ángulo plano de esta tabla no se permite usarlas con los múltiplos y submúltiplos del SI.

Unidades de medida fuera de sistema cuyo uso se permite en campos especializados por tiempo indefinido.

Magnitud	UNIDAD			
	Denominación	Símbolo	Valor en unidades SI	Observaciones
Longitud	unidad astronómica	UA	$1 \text{ UA} = 1,495 \ 978 \ 70 \cdot 10^{11} \text{ m}$	en astronomía
	año luz	1.y.	$1 \text{ l.y.} = 9,460 \ 53 \cdot 10^{15} \text{ m}$	
	parsec	pc	$1 \text{ pc} = 3,085 \ 7 \cdot 10^{16} \text{ m}$	
Intensidad óptica	dioptría	dpt	$1 \text{ dpt} = 1 \text{ m}^{-1}$	en óptica
Superficie	hectárea	ha	$1 \text{ ha} = 1 \cdot 10^4 \text{ m}^2$	en agricultura
Masa	unidad de masa atómica	u	$1 \text{ u} = 1,660 \ 57 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	en física atómica
	quilate métrico		$2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$	comercio de piedras preciosas, perlas y diamantes

Angulo plano	grad (gon)	g(gon)	1 g = 1 gon = $(\pi/200)$ rad	en geodesia
Energía	electrón-volt watt-hora	eV Wh	1 eV = $1,602\ 19 \cdot 10^{-19}$ J 1 Wh = 3 600 J	en física en electrotécnica
Potencia total aparente	volt ampere	V.A.	1 V.A. = 1 J/s = 1 W	en electrotécnica
Potencia reactiva	var	var	1 var = 1 W	en electrotécnica
Presión	bar	bar	1 bar = $10^5$ Pa	cualquiera
Densidad lineal	tex	tex	1 tex = $10^{-6}$ kg/m	industria textil

Nota: Las unidades de medida: unidad astronómica, año luz, dioptría y unidad de masa atómica no se permiten usar con los múltiplos y submúltiplos del SI.

### Conversión de unidades de medida.

La regla básica para la conversión de las unidades de medida es la siguiente:

<b>Multiplicar</b>	<div style="position: absolute; right: 0; top: -10px;">→</div>												
	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	u.m	deci	centi	mili	micro	nano	pico
	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$
	<div style="position: absolute; left: 0; top: -10px;">←</div>												
	<b>Dividir</b>												

Ejemplo 21: Para convertir 5 kg a mg se debe **multiplicar** 5 por  $10^6$ , o sea,

$$5 \text{ kg} = 5 \cdot 10^6 \text{ mg}$$

Ejemplo 22: Para convertir 3,2 dm a km se debe **dividir** 3,2 entre  $10^4$ , o sea,

$$3,2 \text{ dm} = 3,2/10^4 = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ km}$$

Ejemplo 23: Para convertir 100 hL a ML se debe **dividir** 100 entre  $10^4$ , o sea,

$$100 \text{ hL} = 100 \text{ hL}/10^4 = 100 \cdot 10^{-4} \text{ ML} = 10^{-2} \text{ ML}$$

Ejemplo 24 Un vehículo se mueve con una velocidad de 40 km/h . Su velocidad expresada en el SI puede hallarse teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m y } 1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s, o sea,}$$

$$v = 40 \text{ km/h} = 40 \cdot 10^3 \text{ m} / 3\,600 \text{ s} \cong 11,1 \text{ m/s}$$

Ejemplo 25: La presión en una línea industrial es de 75 lbf/in<sup>2</sup>. Expresar este valor de presión en pascal, o sea 75 lbf/in<sup>2</sup> a N/m<sup>2</sup>

$$1 \text{ lbf} = 4,448\,22 \text{ N}$$

$$1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm} = 0,0254 \text{ m}$$

$$1 \text{ in}^2 = (0,0254 \text{ m})^2 = 6,451\,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$75 \text{ lbf/in}^2 = 75 \cdot 4,448\,22 \text{ N} / 6,451\,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,171\,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

## 6. Ejercicios

Realice la siguiente conversión de unidades

- 50 mm = \_\_\_\_\_ cm
- 400 cm = \_\_\_\_\_ m
- 4 km = \_\_\_\_\_ m
- 600 cm = \_\_\_\_\_ m
- 10 mm = \_\_\_\_\_ cm
- 3 km = \_\_\_\_\_ m
- 2 km = \_\_\_\_\_ m
- 500 cm = \_\_\_\_\_ m
- 1 000 m = \_\_\_\_\_ km
- 70 mm = \_\_\_\_\_ cm
- 60 mm = \_\_\_\_\_ cm
- 9 cm = \_\_\_\_\_ mm
- 7 km = \_\_\_\_\_ m
- 9 000 m = \_\_\_\_\_ km
- 700 cm = \_\_\_\_\_ m
- 300 cm = \_\_\_\_\_ m
- 10 m = \_\_\_\_\_ cm
- 1 m = \_\_\_\_\_ cm

# 7

## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

### 1. Aspectos generales sobre la medición

Una **medición** es un conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar un valor de una magnitud. La magnitud particular sometida a medición se denomina **mensurando o magnitud medida**. Por ejemplo, la presión de vapor de una muestra dada de agua a 20 °C .

Además de la magnitud que es propiamente objeto de la medición, existen las llamadas **magnitudes de influencia** que son las restantes magnitudes que tienen un efecto sobre el resultado de la medición. Por ejemplo, la temperatura en la medición de la longitud de una pieza.

Una vez determinada la magnitud a medir, es necesario seleccionar los instrumentos de medición y medios auxiliares adecuados y definir la forma en que éstos se utilizarán de acuerdo al principio de medición, o sea, hay que definir el método de medición que se utilizará.

- Las **mediciones directas** son aquéllas en las que el valor del mensurando es obtenido directamente, y no a partir de cálculos basados en la dependencia funcional del mensurando con otras magnitudes medidas.

No obstante, en las mediciones directas es posible que sea necesario medir magnitudes de influencia y hacer algunos cálculos con vista a introducir las correcciones necesarias.

#### Ejemplo 1

- Medición de la masa en una balanza de cuadrante o de brazos iguales.
- Medición de temperatura con un termómetro.
- Medición de una longitud con una regla graduada.

- Las **mediciones indirectas** son aquellas en las que el valor del mensurando se encuentra mediante la medición de otras cantidades

de magnitudes relacionadas a través de cierta dependencia funcional con el mensurando.

### Ejemplo 2

- Medición de la presión mediante la medición de la altura de una columna de líquido.
- Medición de la densidad de un cuerpo basándose en las mediciones directas de su masa y dimensiones geométricas.
- Medición de la temperatura a partir de la medición de la fuerza electromotriz generada en una termocupla.

Existe en la práctica una gran diversidad de métodos de medición, algunos de uso un tanto particular dentro de ciertos campos de la actividad metrológica.

## 2. Clasificación de los instrumentos de medición

Se denomina instrumento o aparato de medida a todo dispositivo destinado a realizar una medición, solo o en unión de otros dispositivos suplementarios.

El término así definido según el VIM sirve de denominación común y comprende medidas materializadas, instrumentos medidores y transductores de medición, los cuales pueden agruparse en complejos más o menos sencillos: sistemas de medición e instalaciones de medición.

Las medidas materializadas pueden ser simples o múltiples.

- **Simple**s son aquéllas que reproducen un solo valor de la magnitud física dada. Si esta magnitud es aditiva, estas medidas pueden agruparse en juegos. Ejemplo: Bloques patrones de longitud, pesas y material de referencia
- **Múltiples** son las que reproducen una serie de valores de una magnitud física en un cierto intervalo.

Los valores reproducidos pueden ser continuos como es el caso de las reglas y las pipetas graduadas, o pueden ser un conjunto de valores discretos, por ejemplo las cajas de resistencia.

Los **instrumentos o aparatos de medición** propiamente dichos que transforman la información de una magnitud física que se mide en forma accesible para ser recibida directamente por el observador pueden ser indicadores o registradores. Los instrumentos indicadores se dividen en digitales y analógicos, mientras que los instrumentos registradores se dividen en autoregistradores o impresores.

De acuerdo a su destino metrológico, los instrumentos de medición se clasifican en instrumentos patrones o de trabajo.

Los instrumentos de medición patrones son aquéllos que se utilizan en los procesos de verificación o calibración de otros instrumentos de medida. Por el contrario, los instrumentos de medición de trabajo son los destinados a todas las restantes mediciones que no tienen el propósito de transmitir la unidad de medida.

### 3. Características metrológicas de los instrumentos de medición

Independientemente de sus construcciones, principios de funcionamiento y magnitudes que miden, a los instrumentos de medición les son comunes una serie de características metrológicas.

- **Rango de indicación:** Conjunto de los valores limitados por las indicaciones extremas del instrumento de medición. El rango es normalmente expresado en términos de sus límites inferior y superior. Ejemplo: Para un termómetro de 100 a 200 °C .
- **Valor nominal:** Valor redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medición que sirve de guía para su utilización. En el caso de las medidas materializadas este valor caracteriza la magnitud por ella reproducida.

Ejemplo:

- 10 g para una pesa.
- 100  $\Omega$  para un resistor patrón.
- 20 ml para una pipeta de un trazo.
- 25 °C para el punto de control de un baño termostático.

- **Intervalo de medición:** Módulo de la diferencia entre los límites de un rango nominal.

Ejemplo:

- Para un rango nominal de - 5 a 30 psi de un manómetro, el intervalo correspondiente es 35 psi .
- Para un voltímetro con rango de 0 a 10 V, el intervalo de medición será 10 V .
- **Valor de división:** Diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de la escala.

Ejemplo: 0,5 °C para un termómetro cuya menor división tiene ese valor.

- **Resolución:** Menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo de indicación que puede ser distinguida de forma significativa. Para un instrumento de indicación digital, es el cambio en la indicación cuando el dígito menos significativo se incrementa en un paso.
- **Condiciones nominales de funcionamiento:** Condiciones de utilización para las que las características metrológicas específicas de un instrumento de medición se supone que están comprendidas entre límites dados.

Las condiciones nominales de funcionamiento especifican generalmente valores nominales asignados para el mensurando y para las magnitudes de influencia.

**Condiciones límites:** Condiciones extremas que un instrumento de medición debe poder soportar sin daño y sin degradación de sus características metrológicas específicas cuando con posterioridad es utilizado en sus condiciones nominales de funcionamiento.

Las condiciones límites pueden comprender valores límites para el mensurando y para las magnitudes de influencia y las mismas pueden corresponder a almacenamiento, transportación y operación.

Ejemplo: Un indicador-controlador de temperatura que utiliza como transductor primario una termocupla de tipo J, refiere en el manual del fabricante:

- Temperatura de operación: 0 a 55 °C

- Temperatura de almacenamiento: -20 a 70 °C

#### 4. Errores de los instrumentos de medición

Como consecuencia de la influencia de un gran número de factores casuales y determinantes que surgen en el proceso de fabricación, conservación y explotación de los instrumentos de medición, los valores de las medidas materializadas y las indicaciones de los instrumentos, inevitablemente se diferencian de los valores reales de las magnitudes reproducidas o medidas por los mismos. Estas desviaciones son las que caracterizan los errores de los instrumentos de medición.

La cualidad de un instrumento de dar indicaciones próximas al valor verdadero del mensurando y que, por tanto, refleja la cercanía a cero de sus errores, se denomina **exactitud** del mismo.

Los errores de los instrumentos de medición tienen dos componentes:

- a) Un error sistemático
- b) Un error aleatorio.

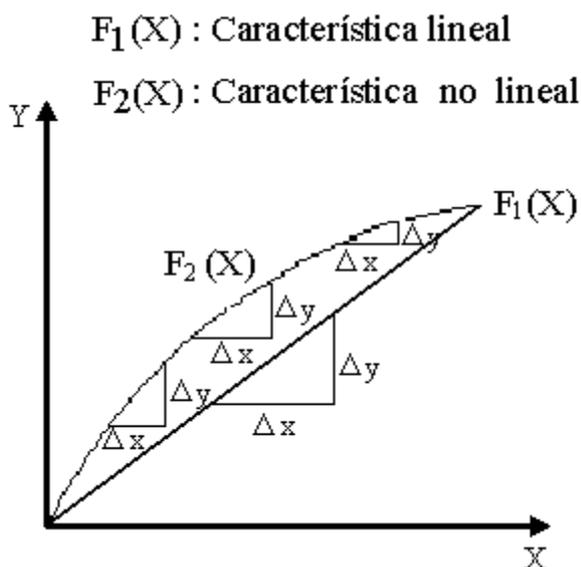
A continuación analizaremos con profundidad la naturaleza de los mismos.

Los **errores sistemáticos** son en general función de la magnitud medida y se deben tanto a errores determinados por la estructura del diseño del instrumento como a errores de fabricación de los mismos.

Si designamos por Y la indicación de instrumentos y por X el valor de la magnitud medida, tendremos que para un instrumento de medición existe una cierta dependencia funcional entre ambos:

$$Y = f(x) \quad (3.1)$$

En un régimen estable de funcionamiento (magnitud medida constante) esta relación se denomina **característica estática** del instrumento de medición o **característica de respuesta** del mismo.



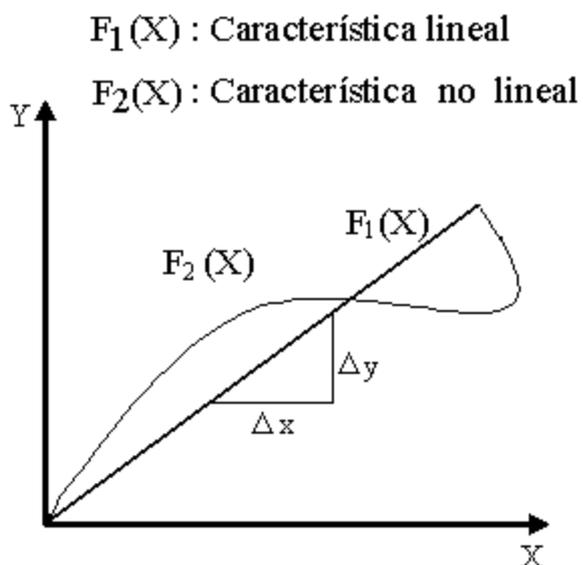
El cociente del incremento observado en la indicación del instrumento y el correspondiente incremento del mensurando se denomina **sensibilidad** del instrumento de medición. En el caso de una característica lineal, ésta se determina como la pendiente de la recta y tiene un valor único para los diferentes valores del mensurando.

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (3.2)$$

Si la característica estática es no lineal, la sensibilidad varía con el valor de la magnitud a medir y se determinará en cada punto de la escala a partir del límite al que tiende la relación anterior para un incremento  $\Delta X$  muy pequeño del mensurando.

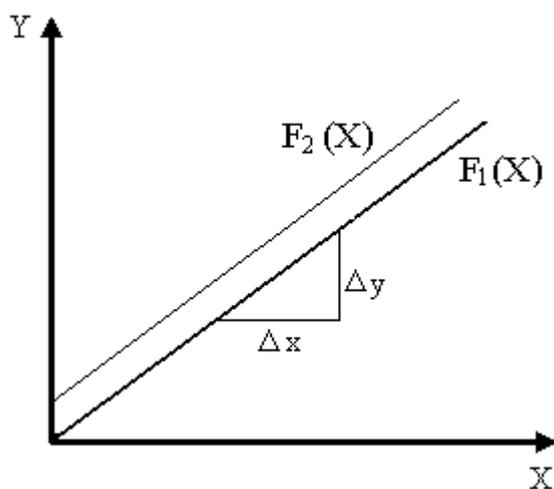
$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX} \quad (3.3)$$

En la figura 3.2 se representa la posición mutua de la característica real e ideal de un instrumento de medición, considerando sólo los errores debidos al esquema de diseño del instrumento.

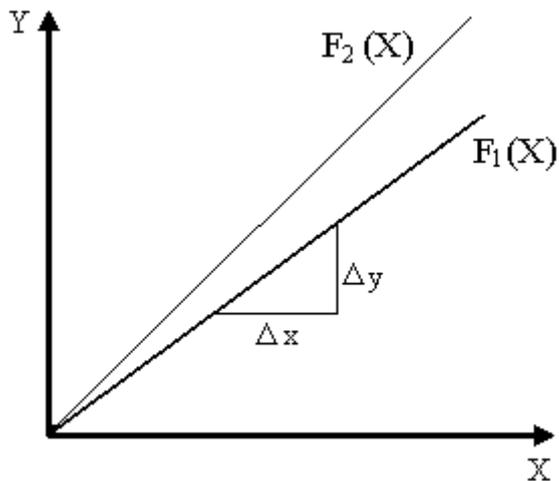


Las imperfecciones tecnológicas de fabricación del instrumento así como los errores que surgen durante la explotación del mismo, deforman en un alto grado esta representación y dan lugar a:

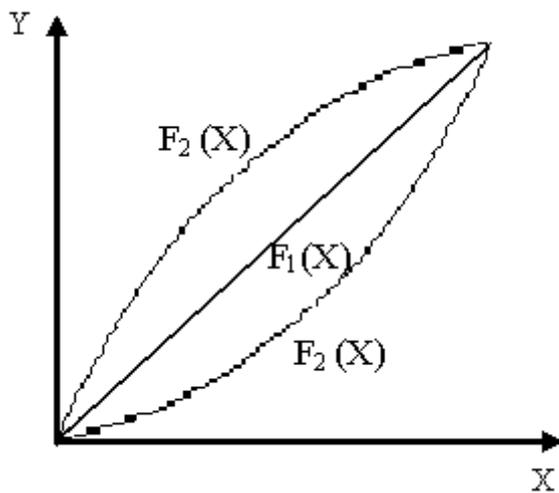
El desplazamiento de la característica estática real con relación a la ideal y a la aparición de un error constante en cada punto de la escala (figura 3.3). Si la escala incluye el valor cero, este error se denomina **error de cero**.



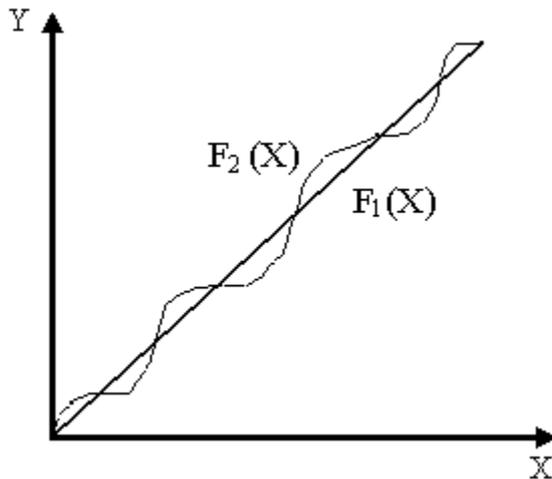
El giro de la característica estática y la aparición de un error linealmente creciente con el aumento de la magnitud medida, el cual generalmente se denomina **error multiplicativo** (figura 3.4).



Aparición de un **error de histéresis**, el cual se manifiesta en la no coincidencia de la característica estática del instrumento cuando aumenta y disminuye la magnitud medida.



Deformaciones no lineales de las características estáticas que da lugar al **error de linealidad**.



La cualidad de un instrumento que caracteriza la cercanía a cero de su error sistemático se denomina **justeza**.

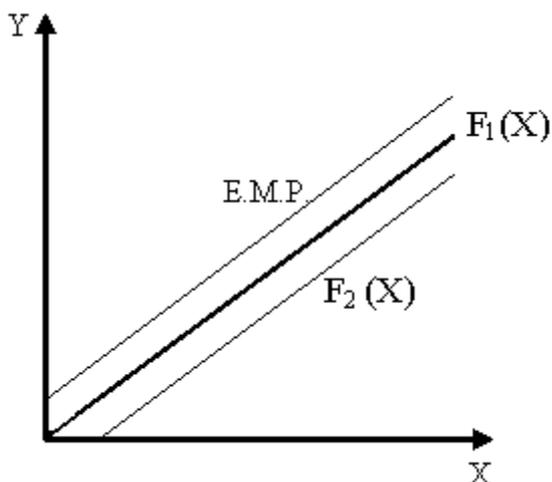
El error sistemático total que tiene un instrumento de medición se denomina **error de justeza**.

Los errores sistemáticos de un instrumento de medición se estiman durante el proceso de calibración del mismo y se reflejan en el Certificado de Calibración. Puesto que estos errores en general cambian con el tiempo debido al desgaste y al envejecimiento de los elementos del instrumento, es necesario repetir este proceso de calibración cada cierto tiempo para actualizar el valor del estimado de los errores del instrumento.

Se denomina **corrección** al valor que debe sumarse algebraicamente al resultado sin corregir de una medición para compensar el error sistemático y es numéricamente igual a este error pero de signo contrario.

Los errores aleatorios de los instrumentos de medición deben su aparición a **variaciones aleatorias** (casuales, fortuitas) **de los parámetros de sus elementos** bajo condiciones estables de funcionamiento. Esta componente del error del instrumento se denomina error de repetibilidad y es, en general, función del valor de la magnitud medida.

**Error máximo permisible** de un instrumento de medición, es el valor extremo del error permitido por especificaciones, reglamentos, entre otros, para un instrumento de medición dado.



Se denomina **clase de exactitud** a una clase de instrumentos de medición que satisfacen determinadas exigencias metroológicas destinadas a conservar los errores dentro de límites especificados.

Una clase de exactitud se indica habitualmente por un número o símbolo adoptado por convenio y denominado índice de clase.

Lo fundamental para asignarle a un instrumento de medición una clase determinada, es la forma de expresar su error máximo permisible. Así, en el caso que se exprese este como error reducido o error relativo constante en todo el rango de medición, la clase se selecciona a partir de una serie de números preferidos:

$$[1; 1,5; (1,6); 2,0; 2,5; (3,0); 4,0; 5,0; 6,0] * 10^n$$

$$n = 1; 0; -1; -2; \dots$$

En el caso que se exprese el error máximo permisible a través del error absoluto del instrumento, los índices de clases se designan por letras mayúsculas o cifras romanas.

Ejemplos: Juego de pesas de la clase F1 y bloque patrón de clase "0".

Cuando el error máximo permisible se exprese como error relativo dependiendo de la magnitud medida se fijan las clases identificadas por los números c y d en la forma c/d.

Ejemplo: Para una caja de resistencia de clase  $0,02/1,5 \cdot 10^{-4}$  el error máximo permisible expresado como error relativo (ecuación 3.7) viene dado por la fórmula:

$$\delta = \pm \left[ 0,02 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1111,10}{R} - 1 \right) \right]$$

## 5. Características metrológicas fundamentales de las mediciones

En cualquier proceso de medición interactúan una serie de componentes que determinan su resultado para la valoración objetiva de este resultado es necesario enfocar el proceso de medición como un sistema. El objetivo de una medición es determinar el valor de la magnitud específica a medir, denominada mensurando.

La valoración de la medición desde el punto de sistema permite analizar la interacción que tienen entre si los siguientes componentes:

- El objeto de medición.
- El procedimiento de medición.
- Los instrumentos de medición.
- El ambiente de medición.
- El observador.
- El método de cálculo.

Cuando nos referimos a repetir una medición bajo las mismas condiciones (condiciones de repetibilidad), esto significa que lo hacemos manteniendo constante los componentes anteriores, a intervalos de tiempo cortos.

Para caracterizar cualitativamente la calidad de una medición, se utiliza el término exactitud.

Se define **exactitud** de la medición, como la cualidad que refleja la cercanía entre el resultado de la medición y el valor verdadero de la magnitud medida.

El VIM recomienda no utilizar el término "precisión" en lugar de exactitud.

## 6. Valor verdadero y error

El **valor verdadero** de una magnitud específica, es aquel que caracterizaría idealmente a la misma, o sea, será aquel que resultaría de una medición "perfecta".

En general todo procedimiento de medición tiene imperfecciones que dan lugar a un error en el resultado de la medición, lo que provoca que éste sea sólo una aproximación o estimado del valor del mensurando.

**Error de medición (error absoluto)** es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la magnitud medida.

El error de medición tiene dos componentes, denominadas error aleatorio y error sistemático.

- El **error aleatorio** proviene de variaciones aleatorias temporales y espaciales de las magnitudes influyentes que son imposibles de predecir. Los efectos de tales variaciones (efectos aleatorios) dan lugar a variaciones en observaciones repetidas del mensurando. El error aleatorio no puede compensarse mediante correcciones, pero puede reducirse aumentando el número de mediciones.

Según el VIM, el error aleatorio es el resultado de una medición menos la media que pudiera resultar de un infinito número de mediciones repetidas de la misma magnitud a medir, llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad.

- El **error sistemático** proviene de efectos reconocidos de una magnitud influyente (efectos sistemáticos), los cuales pueden ser cuantificados y estimarse una corrección o factor de corrección que permite disminuir éste.

Según el VIM, el error sistemático es la media que puede resultar de un infinito número de mediciones de la misma magnitud a medir, llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad, menos el valor verdadero de dicha magnitud.

Se van a cometer errores en la medición, esto es inevitable, debido a muchas causas y factores que afectan a la medida, unos controlables y otros incontrolables e incluso desconocidos. La verdadera labor del metrologo se encuentra aquí, en estudiar y conocer detalladamente los errores posibles, por dos buenas razones:

- Tratar de reducirlos.
- Estudiar cómo puede calcularse la veracidad de los resultados.

Las causas de los errores de medición pueden ser:

- Instrumentales.
- De método.
- Debido a agentes externos.
- Del observador.
- Matemáticos.

La primera fuente de error es la propia limitación de los instrumentos de medición que utilizamos. Si un instrumento de medición tiene su calibración vigente y ha sido usado correctamente, se puede afirmar que sus errores

están dentro de los límites del error máximo permisible, especificados en la documentación correspondiente. En mediciones de alta exactitud, los errores instrumentales pueden disminuirse en gran medida, introduciendo las correcciones reportadas en su certificado de calibración.

Dentro de los errores instrumentales, está el denominado efecto de carga, determinado por la modificación que los instrumentos introducen en el parámetro que miden. En especial, esto debe tenerse en cuenta en los instrumentos eléctricos y electrónicos, puestos que estos para producir una indicación, precisan energía que ha de ser proporcionada por el circuito donde se realiza la medición.

Aunque la calidad de un instrumento está relacionada con los errores que produce, estos también dependen de la forma en que sean utilizados. Por tanto, se recomienda conocer lo mejor posible las características de un instrumento antes de utilizarlo. Si no se cumplen los requisitos establecidos en el manual técnico del instrumento de medición dado, tales como condiciones nominales de funcionamiento, tiempo de precalentamiento, correcta instalación, entre otros, el error de medida puede ser bastante mayor que el esperado.

## 7. Resultado de la medición e incertidumbre de medición

El **resultado de la medición** es el valor atribuido a la magnitud medida en el proceso de medición.

Este valor puede ser sencillamente la indicación de un instrumento de medición, como ocurre frecuentemente en mediciones industriales y comerciales, puede también valorarse a partir de un conjunto de observaciones realizadas del mensurando bajo las mismas condiciones y puede haber sido corregido o no por efectos sistemáticos que influyen de forma significativa en el valor obtenido.

El resultado corregido de una medición no es el valor del mensurando, es decir, existe un error debido a una medición imperfecta de la magnitud realizada por variaciones aleatorias en las observaciones (efectos aleatorios), determinación inadecuada de correcciones por efectos sistemáticos y conocimiento incompleto de ciertos fenómenos físicos (que son también efectos sistemáticos). Nunca podrá conocerse exactamente el valor del mensurando; lo único que podemos conocer son sus valores estimados.

De forma análoga, los valores exactos de las contribuciones al error del resultado de una medición son desconocidos y no se pueden conocer, pero

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN CALIDAD, AMBIENTE Y METROLOGÍA

las **incertidumbres** asociadas con los efectos aleatorios y sistemáticos que dan lugar al error pueden ser evaluadas.

**Incertidumbre de medición** es, por tanto, una forma de expresar el hecho de que, para un mensurando y su resultado de medición dados, no hay un solo valor, sino un número infinito de valores dispersos alrededor del resultado, que son consistentes con todas las observaciones, datos y conocimientos que se tengan del mundo físico, y que con distintos grados de credibilidad pueden ser atribuidos al mensurando.

## 8. Ejercicios

a) Resuelva el siguiente marque de X

1. Todas las mediciones deben tener al menos cuales de los siguientes elementos:

- I. Una medida desconocida
- II. Un instrumento de medición
- III. Una persona para operar el equipo
- IV. Un ambiente controlado

a. Sólo I  
y II

b. Sólo I  
y IV

c. Sólo  
I, III y  
IV

d. Sólo  
I, II y  
III

2. Un equipo de medición ordinario podría tener todo lo siguiente, EXCEPTO:

- a. Una carátula análoga
- b. Una escala sin graduación
- c. Una pantalla digital
- d. Una escala graduada

3. Aparato formado por dos escalas, una fija y la otra deslizable. Se utiliza para medir pequeñas longitudes con precisión, a este aparato se le conoce con el nombre de:

a. regla graduada

b. escalímetro

c. metro patrón

d. pie de rey

e. micrómetro

f. manómetro

4. Una **medida directa** es:

- a. la que se repite muchas veces
- b. la que tiene no tiene error
- c. la que se hace con un método sencillo
- d. la que tiene obtiene con un instrumento y un objeto de interés

5. Son las diferencias que persisten luego de depurar las equivocaciones y corregir los errores sistemáticos. No pueden ser determinados a priori y no guardan relación entre sí. Su comportamiento es al azar, la medida se comporta como una variable aleatoria y son errores intrínsecos al proceso de medición, por lo que dichos errores se deben procesar por medio de un tratamiento analítico de los datos mediante la aplicación de la teoría de probabilidad y la estadística.

Este tipo de error se conoce con el nombre de:

- a. Error sistemático
- b. Error aleatorio
- c. Error de paralaje
- d. Error de sujeción
- e. Error de abbe
- f. Error accidental

6. El error instrumental de un instrumento de medición puede determinarse mediante

- a. reparación
- b. comparación
- c. calibración
- d. medición
- e. verificación
- f. ajuste

7. El error de un instrumento de medición con respecto a la tolerancia del proceso debe ser:

- a. mayor
- b. menor
- c. igual
- d. no existe relación

8. El conjunto de elementos que se relacionan e interactúan para lograr desarrollar una función, se denomina

- a. Calibración
- b. Verificación
- c. Ajuste
- d. Sistema

9. La figura que se presenta a continuación presenta el tipo de medición y sus elementos principales denominados:



- a. Medición indirecta. **Elementos:** instrumento, objeto y persona.
- b. Medición directa. **Elementos:** instrumento y persona.
- c. Medición directa. **Elementos:** instrumento y objeto.
- d. Medición directa. **Elementos:** instrumento, objeto y persona.
- e. Medición indirecta. **Elementos:** instrumento, objeto y persona.
- f. Ninguna de las anteriores.

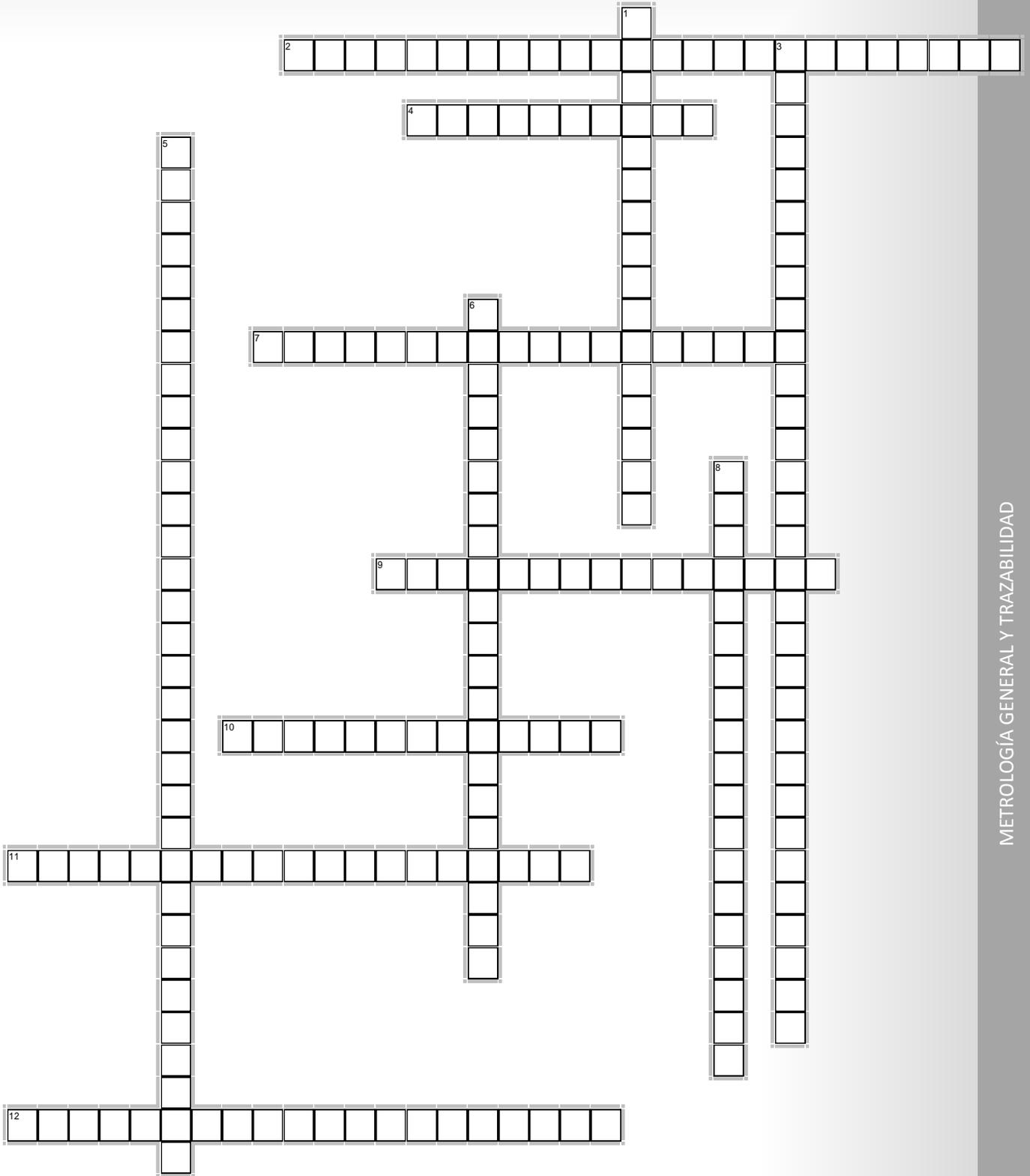
10. Resuelva el crucigrama que se presenta a continuación.

### Horizontal

2. **RESULTADO DE LA MEDICIÓN**—el valor atribuido a la magnitud medida en el proceso de medición.
4. **CORRECCIÓN**—valor que debe sumarse algebraicamente al resultado sin corregir de una medición para compensar el error sistemático y es numéricamente igual a este error pero de signo contrario.
7. **MEDICION INDIRECTA**—valor del mensurando se encuentra mediante la medición de otras cantidades de magnitudes relacionadas a través de cierta dependencia funcional con el mensurando.
9. **ERROR ALEATORIO**—variaciones aleatorias temporales y espaciales de las magnitudes influyentes que son imposibles de predecir. Los efectos de tales variaciones (efectos aleatorios) dan lugar a variaciones en observaciones repetidas del mensurando.
10. **VALOR NOMINAL**—redondeado o aproximado de una característica de un instrumento de medición que sirve de guía para su utilización.
11. **RANGO DE INDICACIÓN**—Conjunto de los valores limitados por las indicaciones extremas del instrumento de medición.
12. **ERRORES SISTEMÁTICOS**—Se deben tanto a errores determinados por la estructura del diseño del instrumento como a errores de fabricación de los mismos.

### Vertical

1. **MEDICIÓN DIRECTA**—aquéllas en las que el valor del mensurando es obtenido directamente, y no a partir de cálculos basados en la dependencia funcional del mensurando con otras magnitudes medidas.
3. **MEDIDAS MATERIALIZADAS SIMPLES**—reproducen un solo valor de la magnitud física dada.
5. **MEDIDAS MATERIALIZADAS MÚLTIPLES**—son las que reproducen una serie de valores de una magnitud física en un cierto intervalo.
6. **INTERVALO DE MEDICIÓN**—Módulo de la diferencia entre los límites de un rango nominal.
8. **ERROR DE HISTÉRESIS**—se manifiesta en la no coincidencia de la característica estática del instrumento cuando aumenta y disminuye la magnitud medida.



# 8

## TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES EN LA ORGANIZACIÓN

### 1. Consideraciones generales

La calidad de una medición está estrechamente ligada a la adecuación de los equipos de medición a las necesidades reales de la empresa donde ésta se realiza, al funcionamiento correcto de los instrumentos de medición y a la trazabilidad de ellos con los patrones nacionales.

La empresa solamente puede recibir y transmitir el aseguramiento de la calidad si conoce con profundidad el estado de funcionamiento de sus instrumentos de medición, así como sus campos de utilización y su comportamiento en el tiempo.

La calibración de un instrumento es una condición necesaria para el aseguramiento de la calidad de las mediciones, la misma será suficiente cuando exista compatibilidad entre las condiciones y los métodos de empleo de esos instrumentos con la exactitud que se pretende en la medición.

Es una función primordial de la empresa el conjunto de acciones a considerar para constituir y mantener el parque de instrumentos de medición necesarios para la satisfacción de sus necesidades. Para ello se debe considerar:

- El análisis de la necesidad y la selección de los instrumentos de medición.
- La recepción, la puesta en uso y el seguimiento de los instrumentos de medición.
- La calibración y verificación de los instrumentos y las decisiones que de ello emanen.
- Adecuar el funcionamiento y la exactitud de los instrumentos de medición a los requisitos tecnológicos de la empresa de acuerdo a las exigencias de la puesta en uso y de su utilización (magnitudes influyentes, mantenimiento, alimentación si es necesario, agresividad del objeto a medir o del medio ambiente, entre otros).

- Como criterio de selección, se debe considerar la homogeneidad del parque de instrumentos de la empresa debido a las condiciones de uso o de mantenimiento entre otros.
- Se efectuará un análisis prospectivo y retroactivo del uso y de las posibilidades de evolución de los instrumentos de medición a fin de limitar los riesgos de obsolescencia y sobre todo de abrir para la empresa nuevas posibilidades para ese instrumento o tecnología de medición moderna que existe ya o que es previsible que exista en un futuro.
- Es necesario proveer el envío, por parte del suministrador del instrumento de medición, de la documentación necesaria para el uso, para las posibilidades de ajuste y para la reparación del mismo (inclusive en casos específicos para la calibración del instrumento).
- Es importante considerar con el proveedor, para aquellos instrumentos de medición nuevos, o que no son los habituales en la empresa, las condiciones y el contenido de una asistencia técnica, al menos al inicio de la puesta en uso.
- Para los instrumentos de medición específicos o complejos, se recomienda establecer un libro de particularidades, definiendo:
  - Las características del instrumento de medición.
  - Las condiciones de uso, del medio ambiente y de mantenimiento.
  - Los requisitos particulares relativos a la calibración.
  - Las condiciones económicas y comerciales como son por ejemplo:
    - ✓ Elección entre la compra, el alquiler o el préstamo del instrumento de medición para tener en cuenta, en particular, las condiciones de amortización y los riesgos de obsolescencia.
    - ✓ Plazos de entrega.
    - ✓ Contratos de mantenimiento y/o asistencia técnica
    - ✓ Requisitos de disponibilidad (tiempo de indisponibilidad, tiempo de reparación, entre otros)

Estas condiciones se deben determinar conjuntamente por la gerencia de compra y la gerencia metrológica de la empresa.

Para la elección de los instrumentos de medición es también recomendable tener en cuenta evaluaciones resultantes de la experiencia adquirida en otras empresas. Es también aconsejable procurar toda información o documentación que sirva para asegurar esa elección.

Desde el arribo de un instrumento de medición, la función metrológica de la empresa debe encaminarse a la ejecución de las siguientes operaciones:

- Verificación de la conformidad del pedido con las especificaciones del fabricante y con requisitos particulares.
- Identificación del instrumento.
- Introducción del instrumento en el inventario.
- Calibración antes de la puesta en servicio (eventualmente efectuada por el fabricante o en la fábrica) que permitan determinar la calificación del instrumento, así como su aptitud para el uso.
- Marcado relativo a esta calibración que inicia el establecimiento del intervalo de calibración.

## 2. Calibración y verificación

Según el VIM, se tiene la siguiente definición:

- **Calibración:** Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento de medición o un sistema de medición o valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes valores reportados por patrones.

**Nota 1:** El resultado de una 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.

**Nota 2:** Una calibración puede también determinar otras propiedades metrológicas, tales como el efecto de las magnitudes influyentes.

**Nota 3:** El resultado de una calibración puede ser registrado en un documento frecuentemente denominado “certificado de calibración” o “informe de calibración.”.

Según la ISO 9000: 2000, se define por verificación lo siguiente:

- **Verificación:** confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

**Nota:** En el marco de la gestión de los instrumentos de medición, la verificación permite asegurar que las desviaciones entre los valores indicados por un instrumento de medición y los correspondientes valores conocidos de una magnitud medida son todos inferiores a los errores máximos permisibles, definidos por una norma, por un reglamento o una especificación del suministrador del equipo de medición.

El resultado de la verificación permite decidir la renovación del servicio, el ajuste, la reparación, desclasamiento o la declaración de inservible. En todos

los casos se requiere la presencia en el registro individual de los antecedentes escritos de la verificación realizada.

Las operaciones de calibración o de verificación están fundamentadas en la comparación con un patrón y no incluyen ninguna intervención sobre el instrumento de medición en cuestión, salvo las operaciones iniciales. Ellas son operaciones indispensables que hacen significativas las indicaciones dadas por los instrumentos de medición. Esas operaciones se distinguen por sus resultados:

- El resultado de una calibración es considerado como el conjunto de valores resultantes de la comparación de los resultados de medición del instrumento con un patrón.
- El resultado de una verificación permite confirmar que el instrumento de medición satisface o no los requisitos preestablecidos, generalmente bajo la forma de errores máximos permisibles. El cumplimiento de los requisitos autoriza la puesta o reposición en el servicio.

Una verificación puede ser efectuada:

- Comparando los resultados de una operación de calibración con errores máximos permisibles.
- Comparando directamente las indicaciones del instrumento verificado con un patrón que materialice las indicaciones máximas permisibles del instrumento de medición con el que él se compara. Este método no necesita de la obtención de resultados numéricos.

El resultado de una verificación incluye al menos:

- La actualización de la tarjeta de control (tarjeta de vida del instrumento).
- Un marcado (cuando ello sea realizable).

Eventualmente, la emisión de una constancia de verificación, que materialice para el usuario el hecho de que el instrumento de medición puede o no ser puesto en uso

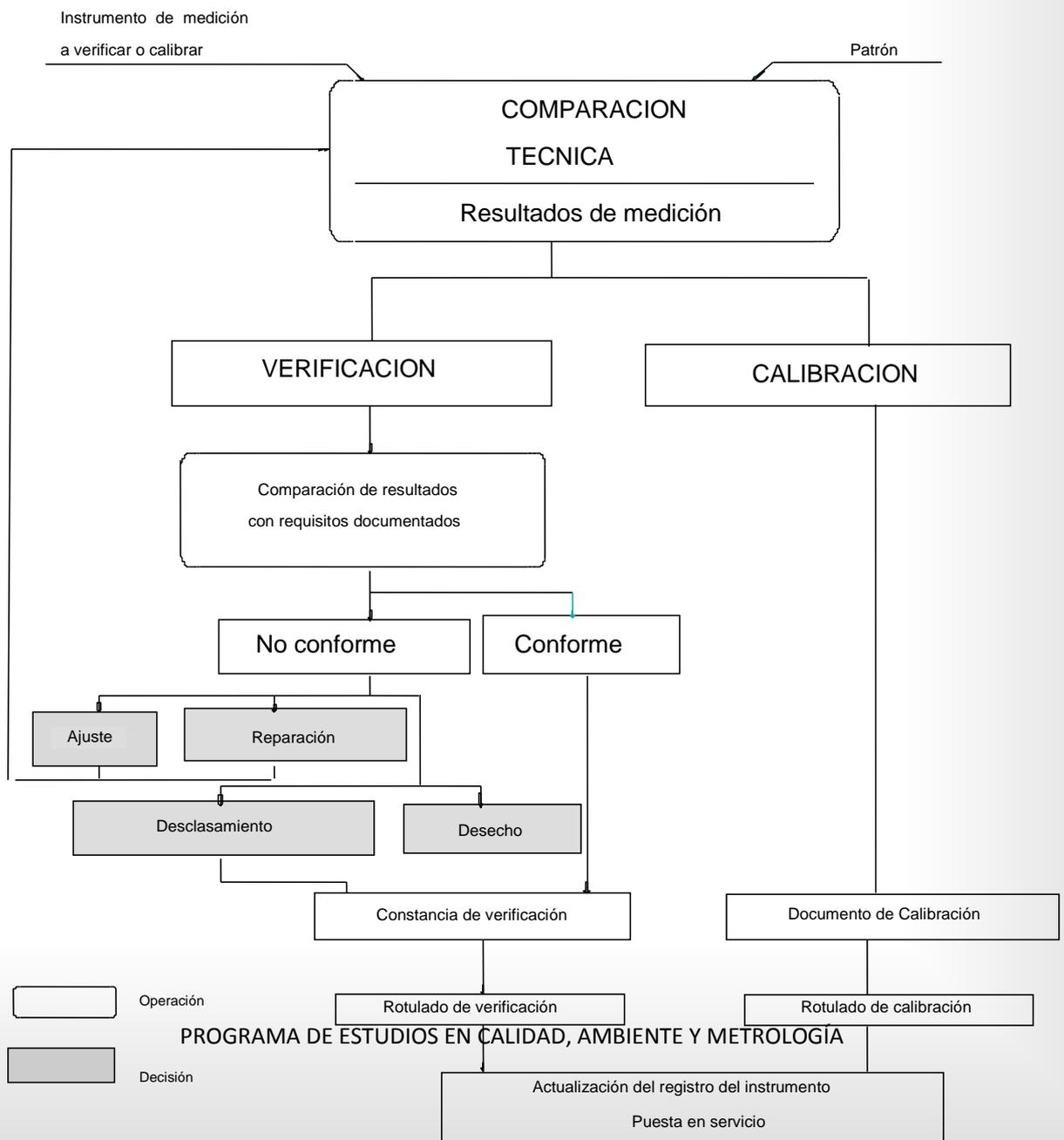
Resulta de las indicaciones precedentes y del esquema de la figura, que una verificación no implica necesariamente la conservación de los valores que establecen la correspondencia entre las indicaciones de los aparatos de medición comparados.

No obstante existe la necesidad de archivar el registro (o informe). Si ese instrumento se señala defectuoso durante una verificación, puede exigirse conservar los resultados de las mediciones efectuadas en el caso donde fuese necesario realizar una acción correctiva, concerniente a las mediciones efectuadas anteriormente con el instrumento.

La calibración lleva a un resultado numérico. La verificación implica una noción de juicio que conlleva a una decisión.

El término "**verificación**" se utiliza algunas veces erróneamente para designar la supervisión de los instrumentos en uso que permite detectar una anomalía, efectuar un ajuste o una calibración.

Ciertos instrumentos de medición se utilizan exclusivamente en una o varias de sus funciones; puede ser conveniente calibrarlos o verificarlos sólo para la función o las funciones utilizadas. En ese caso, ellos deben ser identificados para evitar todo riesgo de error en caso de empleo ocasional en una función para la cual no fue calibrado o verificado.



### 3. Intervalos de calibración o de verificación

Cualquiera que sea el instrumento de medición considerado, un proceso de comparación sistemática y a intervalos determinados debe permitir prevenir toda degradación de la calidad de la medición a efectuar y asegurar su credibilidad en el tiempo. Para establecer este intervalo, es necesario tener en cuenta factores tales como la incertidumbre de medición, el precio, el rigor del uso, las derivas constatadas, el desgaste y la naturaleza del equipamiento; y eventualmente, las presiones económicas, normativas o reglamentarias.

Este intervalo, establecido inicialmente para un instrumento de medición dado, debe ser reexaminado, y dada la ocasión, readaptado en función de la experiencia adquirida. Dentro del intervalo establecido, es posible proceder a controles puntuales para detectar todas las anomalías de funcionamiento en los puntos de medición corrientemente utilizados.

En ningún caso, esos controles pueden sustituir las operaciones de calibración o de verificación previstas. Los patrones utilizados para este control son denominados precisamente patrones de control de la medición.

Toda intervención susceptible de modificar las características metrológicas, conlleva a la necesidad de examinar el intervalo preestablecido.

A algunos instrumentos de medición que se utilizan esporádicamente; conviene no aplicarles las mismas reglas estrictas. A este efecto, deben darse las informaciones necesarias para que a esos instrumentos les realicen las operaciones de calibración o verificación antes de su uso. Ellos deberán ser claramente identificados.

### 4. Explotación de los resultados de la calibración o verificación

Las operaciones de calibración o de verificación definidas anteriormente deben dar lugar a:

- Informe de resultados en el caso de una calibración (documento de calibración).
- Decisiones posteriores a la comparación con los requisitos en el caso de una verificación. Si hay inconformidad, la función metrológica debe ser alertar a los usuarios en el mejor plazo, con el fin de que ellos tomen las medidas correctivas necesarias. La decisión puede conducir a una de las cuatro posibilidades siguientes:
  - ✓ Ajuste.

- ✓ Reparación, dando lugar a una nueva verificación.
- ✓ Desclase, dando lugar a una puesta en servicio.
- ✓ Desecho.

## 5. Trazabilidad

Todo equipo de medición debe ser calibrado o verificado usando patrones de medición relacionados mediante el proceso de calibración con patrones de medición internacionales o patrones nacionales concordantes con las recomendaciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

A esta relación existente entre cualquier medición y los patrones de mayor exactitud a nivel nacional o internacional se le designa con el nombre de trazabilidad.

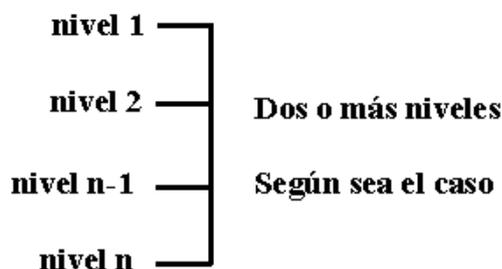
Según el VIM se define trazabilidad como:

**Trazabilidad:** 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.

**Nota 1:** El concepto se expresa en ocasiones por el adjetivo “trazable”.

**Nota 2:** La cadena ininterrumpida de comparaciones se denomina, “cadena de trazabilidad” o “cadena de calibración”, según en la figura 5.2.

**Límite superior: Patrón primario apropiado o considerado como tal.**



**Límite inferior: resultado de una medición**

Fig. 5.2. Ilustración de una cadena de trazabilidad

Un esquema de jerarquía típico de cualquier país cuenta por lo general con cuatro o más niveles de jerarquía. En el primer nivel se encuentra el patrón primario nacional, así como el patrón duplicado o patrones que se destinan, ya sea para el control de la invariabilidad del patrón primario o para sustituir

ese patrón, si ha perdido sus cualidades metrológicas o si el mismo ha sido extraviado. El patrón primario es un patrón de las más altas cualidades metrológicas en un campo determinado.

En el segundo nivel se encuentran los patrones secundarios obtenidos por comparación con el patrón primario, utilizando métodos y medios variables según las magnitudes consideradas. Un patrón secundario puede ser utilizado para calibrar los patrones de orden inferior de exactitud, designándose entonces como patrón de referencia.

En el tercer nivel se encuentran los patrones de trabajo de tercer orden obtenidos por comparación con los patrones de referencia. Un patrón de trabajo es usado para verificar instrumentos comunes con grado de exactitud más bajo, o para calibrar instrumentos de medición considerados como patrones de trabajo con un grado de exactitud más bajo.

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

Los esquemas de jerarquía deberán proporcionar la información acerca de los principios conocidos y utilizados para la realización de los patrones con ejemplos de ejecución práctica, la incertidumbre referente a la libertad de preferencia de los patrones, la cual no puede ser excedida en cada nivel, tomando en cuenta el desarrollo científico y técnico en el campo considerado y los campos de medición en los cuales los patrones son válidos.

Además deberán poseer información acerca de los métodos de valor de referencia y dispositivos de transferencia recomendados, la estabilidad de los patrones y reproducibilidad de las mediciones con el tiempo y métodos utilizados para garantizar que los patrones posean estas cualidades, la periodicidad de calibración y disposiciones recomendadas para la conservación de los patrones.

El paso de un nivel al próximo del esquema de jerarquía, está acompañado de una reducción de la exactitud de los patrones. El enlace entre dos patrones de un mismo nivel puede hacerse trasladando uno de los patrones junto al otro, o 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.

## 6. Ejercicios

a) Resuelva la siguiente sopa de letras

Palabras a encontrar:

- AJUSTE
- CALIBRACIÓN
- CERTIFICADO
- CONFORME
- INTERVALO
- NO CONFORME
- PATRON
- TRAZABILIDAD
- VERIFICACION

U	J	Y	H	Z	O	N	G	G	U	E	R	E	C	O	N	F	N	U	Z
H	M	P	T	J	L	Ó	J	Y	Z	M	I	M	S	D	O	H	W	E	Y
O	M	D	R	V	A	I	L	C	N	R	M	R	M	A	R	K	U	L	N
R	V	V	B	F	V	C	G	U	N	O	E	O	T	C	T	N	B	N	T
P	T	W	T	Q	R	A	P	R	R	F	B	F	D	I	A	T	J	E	I
Y	T	M	K	A	E	R	S	G	G	N	N	N	Z	F	P	Q	N	W	L
D	Y	W	B	H	T	B	D	A	Q	O	W	O	V	I	F	O	V	C	F
K	A	W	F	G	N	I	I	I	I	C	N	C	K	T	U	E	N	G	D
C	I	D	M	V	I	L	C	C	G	E	L		D	R	S	E	N	C	L
J	Y	Y	I	U	W	A	A	I	H	H	W	O	Z	E	Y	W	Y	S	Z
N	X	E	W	L	E	C	H	L	A	Y	P	N	T	C	J	G	T	L	L
X	I	G	N	M	I	T	Y	Z	X	D	W	F	N	S	D	K	Z	K	Y
U	X	P	U	F	E	B	H	H	O	M	M	J	L	W	L	E	C	W	Y
L	F	U	I	I	G	M	A	M	H	J	E	H	F	X	X	F	I	C	U
K	O	R	K	J	V	G	S	Z	N	A	J	U	S	T	E	G	K	D	X
M	E	A	R	G	R	V	J	I	A	G	Z	O	V	Q	L	P	S	O	G
V	L	P	Q	C	B	S	V	I	K	R	T	M	A	I	G	S	M	B	B
N	R	Q	A	V	J	Z	D	G	A	O	T	U	G	K	H	D	U	C	L
C	W	L	E	D	M	P	W	R	Y	B	G	Q	G	E	F	A	S	E	F
C	C	E	A	R	S	P	H	N	U	X	T	B	K	K	P	S	E	K	A

# 9 EJERCICIOS RESUELTOS

## CAPÍTULO 4

a)

1. a

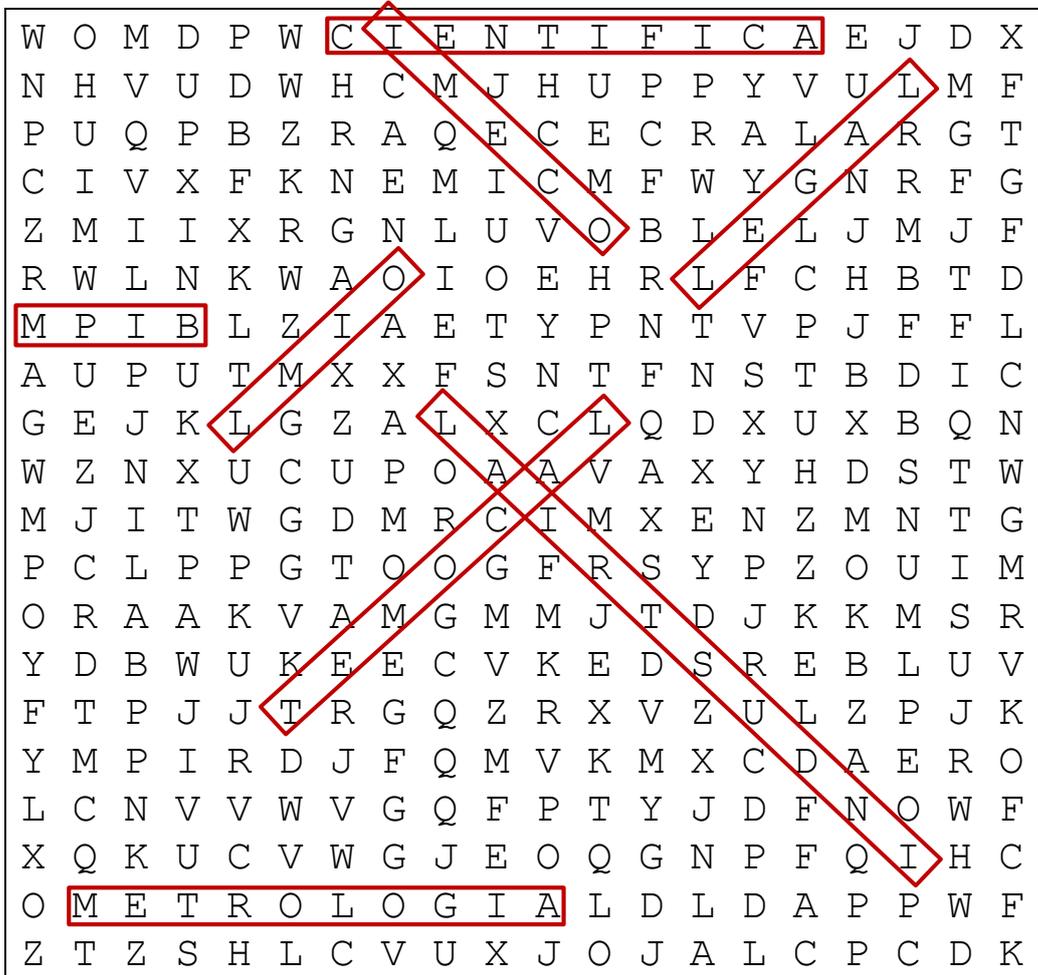
2. d

3. a

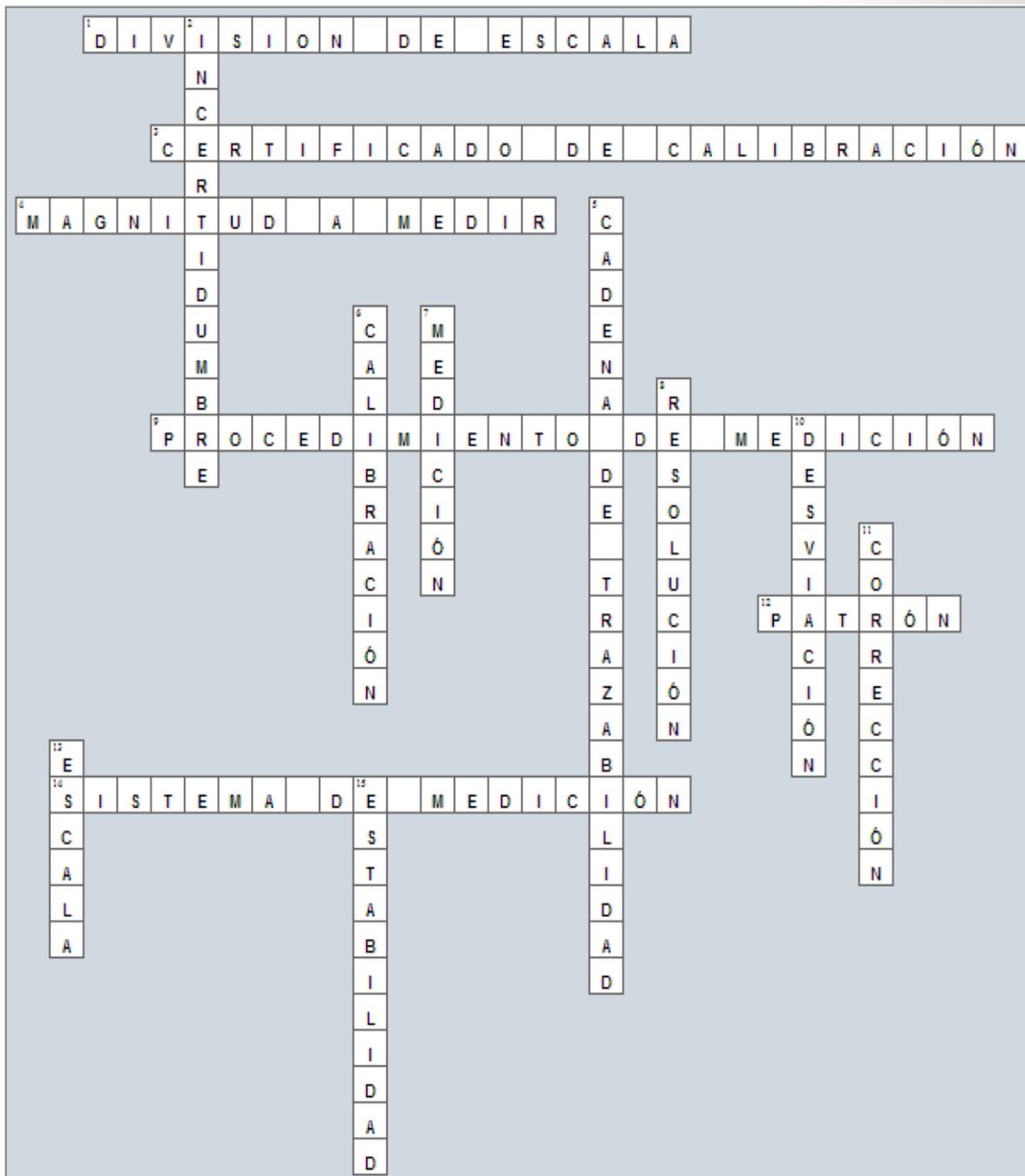
4. c

5. d

b)



## CAPÍTULO 5



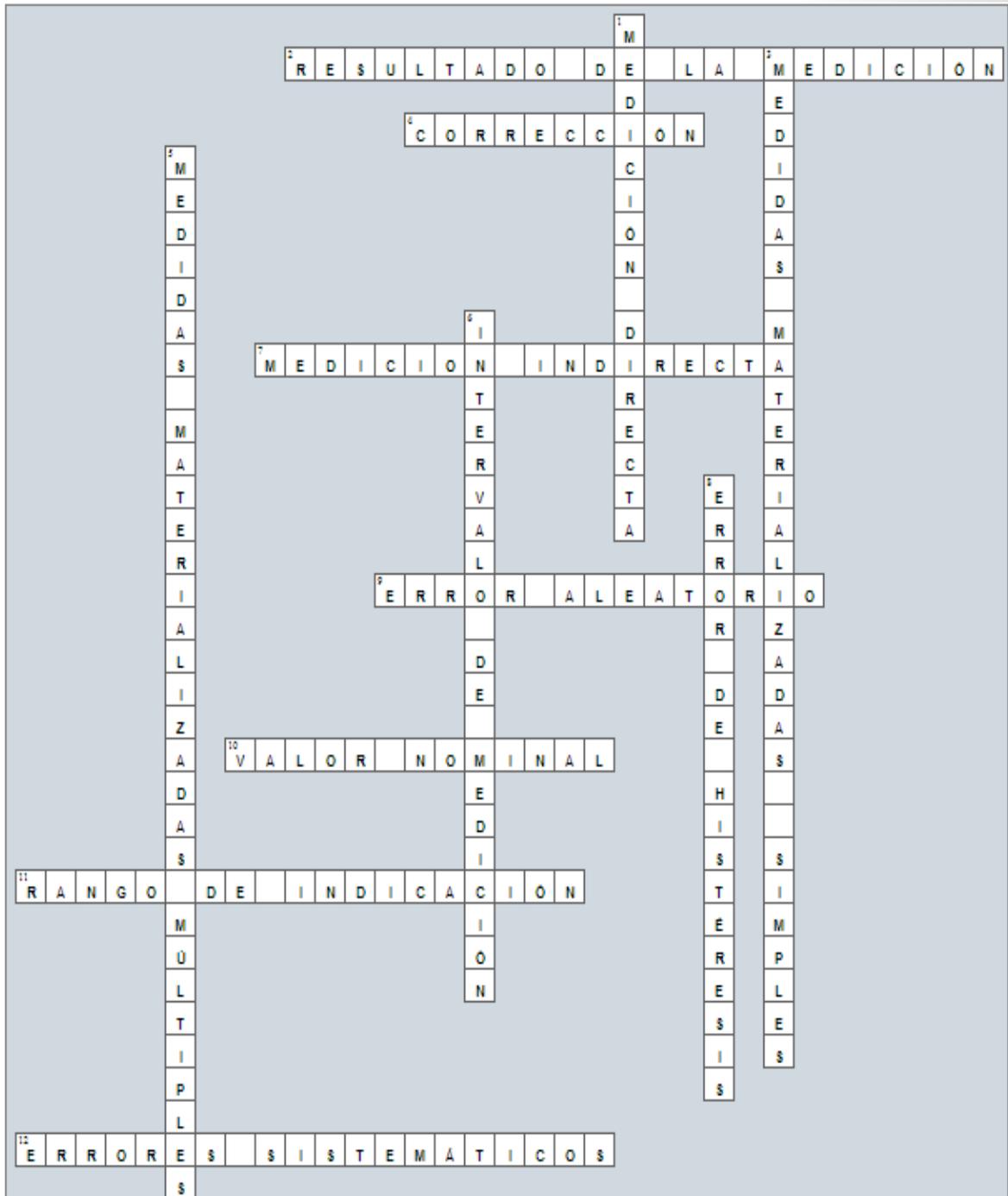
**CAPÍTULO 6**

20 mm	10 km
5 cm	4 m
4 000 m	6 m
1 cm	3 000 m
2 000 m	5 m
1 km	7 cm
6 cm	90 mm
7 000 m	9 km
7 m	3 m
1000 cm	100 cm

**CAPÍTULO 7**

- a)
1. d
  2. b
  3. d
  4. d
  5. b
  6. c
  7. b

- 8. d
- 9. c
- b)



**CAPITULO 8.**

U	J	Y	H	Z	O	N	G	G	U	E	R	E	C	O	N	F	N	U	Z
H	M	P	T	J	L	O	J	Y	Z	M	I	M	S	D	O	H	W	E	Y
O	M	D	R	V	A	I	L	C	N	R	M	R	M	A	R	K	U	L	N
R	V	V	B	F	V	C	G	U	N	O	E	O	T	C	T	N	B	N	T
P	T	W	T	Q	R	A	P	R	R	F	B	F	D	I	A	T	J	E	I
Y	T	M	K	A	E	R	S	G	G	N	N	N	Z	F	P	Q	N	W	L
D	Y	W	B	H	T	B	D	A	Q	O	W	O	V	I	F	O	V	C	F
K	A	W	F	G	N	I	I	I	I	C	N	C	K	T	U	E	N	G	D
C	I	D	M	V	I	L	C	C	G	E	L	O	D	R	S	E	N	C	L
J	Y	Y	I	U	W	A	A	I	H	H	W	N	Z	E	Y	W	Y	S	Z
N	X	E	W	L	E	C	H	L	A	Y	P	E	T	C	J	G	T	L	L
X	I	G	N	M	I	T	Y	Z	X	D	W	F	N	S	D	K	Z	K	Y
U	X	P	U	F	E	B	H	H	O	M	M	J	L	W	L	E	C	W	Y
L	F	U	I	I	G	M	A	M	H	J	E	H	F	X	X	F	I	C	U
K	O	R	K	J	V	G	S	Z	N	A	J	U	S	T	E	G	K	D	X
M	E	A	R	G	R	V	J	I	A	G	Z	O	V	Q	L	P	S	O	G
V	L	P	Q	C	B	S	V	I	K	R	T	M	A	I	G	S	M	B	B
N	R	Q	A	V	J	Z	D	G	A	O	T	U	G	K	H	D	U	C	L
C	W	L	E	D	M	P	W	R	Y	B	G	Q	G	E	F	A	S	E	F
C	C	E	A	R	S	P	H	N	U	X	T	B	K	K	P	S	E	K	A

# 10 REFERENCIAS

BIPM. (2008). *Evaluation of measurement data- Guide to the expression of uncertainty in measurement*. París.

LACOMET (s.f.). Información funciones laboratorio de metrología. Recuperado el 27 de enero de 2014, de <http://lacomet.go.cr/>

Miller, M. (2006). *Ejercicios de conversiones*. Recuperado el 26 de 08 de 2013, de <http://www.mamutmatematicas.com/ejercicios/tabla-medicion.php?col=2&row=10&level=1&ouncespounds=1&poundstons=1&font=Default&FontSize=12pt&pad=6&extraspaces=1&ptitle=&Submit=Submit>

Sistema Interamericano de Metrología. (2009). *Guía para la calibración de instrumentos para pesar de funcionamiento no automático*.

Restrepo, J. (2008). *Metrología. Aseguramiento metrológico industrial*.

# 11

## LINKS Y PÁGINAS DE INTERÉS

<http://www.bipm.org/en/about-us/>

<http://www.lacomet.go.cr/>

[www.inteco.or.cr/](http://www.inteco.or.cr/)

<https://www.recope.go.cr/>

[www.fluke.com/cr](http://www.fluke.com/cr)

[www.pyrex.com](http://www.pyrex.com)

[http://simce.iat.es/simce/files/2012/06/Sistema Internacional 2006.pdf](http://simce.iat.es/simce/files/2012/06/Sistema_Internacional_2006.pdf)