



Manual práctico de  
METROLOGÍA  
**BÁSICA**

Dr-Ing. Fidel Fernández

Fundamentos básicos para  
la aplicación de la metrología  
en el Sector Industrial



## Otros Cursos:



Inscritos en el  
Ministerio del Poder Popular  
para la **Educación y el INCES**



Ministerio  
del Poder Popular  
para la **Educación**



**NOMBRE DEL CURSO:** METROLOGÍA BÁSICA

**ELABORADO POR:** FIDEL FERNÁNDEZ

Copyright© Messen C.A. 2005-2015

**Autoedición**

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización Escrita de **MESSEN C.A.**  
Todos los derechos de propiedad intelectual reservados.





# FICHA TÉCNICA

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>NOMBRE DEL CURSO:</b>      | Metrología Básica.  |
| <b>DURACIÓN:</b>              | 16 horas  |
| <b>OBJETIVO GENERAL:</b>      | Adquirir los fundamentos básicos que permitan la aplicación de la metrología en el Sector Industrial.   |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>1- Conocer la importancia de la metrología.</li><li>2- Conocer las magnitudes físicas y sus propiedades.</li><li>3- Clasificar los tipos de medición.</li><li>4- Analizar la teoría de errores.</li><li>5- Clasificar los medios de medición.</li><li>6- Interpretar unidades y medios de calibración.</li><li>7- Describir el aseguramiento Metrológico.</li></ol>   |
| <b>CONTENIDO:</b>             | <ol style="list-style-type: none"><li>1- Metrología: Definición y División de la metrología. Importancia de la metrología. Organizaciones Internacionales y Nacionales.</li><li>2- Magnitud física y sus unidades: Sistema Internacional de unidades. Escritura de números y cantidades. Redondeo de números.</li><li>3- Métodos de medición: Medición. Clasificación de las mediciones.</li><li>4- Teoría de Errores: Elementos de la teoría de probabilidad. Errores aleatorios. Errores sistemáticos.</li><li>5- Tratamientos de Errores de los medios de medición digital: Diferencia entre instrumentos analógico y digital. Cálculo del error máximo permisible de un instrumento digital</li><li>6- Calibración: Calibración, Certificado de calibración. Incertidumbre. Estimación de la Incertidumbre.</li><li>7- Definiciones adicionales del Vocabulario Internacional de Metrología: Definiciones referentes a los resultados. Definiciones referentes a los medios de medición.</li><li>8- Preguntas y ejercicios.</li></ol> |
| <b>METODOLOGÍA:</b>           | Exposición del Facilitador.<br>Ejercicios<br>Resolución de problemas prácticos.<br>Discusión de resultados.<br>Discusión de casos y situaciones.  |
| <b>DIRIGIDO A:</b>            | Profesionales y técnicos que prestan servicio en el área de calidad y producción, mantenimiento, laboratorio, instrumentación y metrología.   |
| <b>INSTRUCTOR:</b>            | Dr. Fidel Fernández, Lic. Luz M. Daza, Lic. Sheyla Jiménez, Lic. Luis Vesga.  |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introducción.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Capítulo 1 .....</b>   | <b>6</b>  |
| Definición y División de la Metrología .....  | 6         |
| Metrología .....  | 6         |
| Metrología Científica .....   | 6         |
| Metrología Industrial .....   | 6         |
| Metrología legal .....  | 7         |
| <i>Importancia de la metrología</i> .....   | 7         |
| Beneficios de la metrología.....  | 7         |
| Organizaciones Internacionales y Nacionales de Metrología.....  | 8         |
| Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER)... | 9         |
| Servicio Autónomo de Metrología de Hidrocarburos.....   | 10        |
| <b>Capítulo 2 .....</b>   | <b>10</b> |
| Magnitud Física y sus Unidades.....   | 11        |
| Magnitud Física .....   | 11        |
| Cantidad de una magnitud física .....   | 11        |
| Valor de una magnitud física.....   | 11        |
| Sistemas de magnitudes físicas .....  | 12        |
| Magnitud Física Básica: .....   | 12        |
| Magnitud Física Derivada:.....  | 12        |
| Escala de una magnitud física .....   | 12        |
| Unidad de una magnitud física .....   | 12        |
| Sistema Internacional de Unidades .....   | 13        |
| Unidades SI .....   | 14        |
| Unidades Básicas: .....   | 14        |
| Unidades derivadas.....   | 16        |
| Múltiplos de las unidades del SI.....   | 16        |
| Uso de las unidades del SI y sus múltiplos .....  | 17        |
| Unidades no pertenecientes al SI que pueden utilizarse junto con las del SI y sus múltiplos.....      | 17        |
| Ventajas del SI.....  | 18        |
| Escritura de Números y Cantidades .....   | 18        |
| Escritura de Fecha.....   | 20        |
| Escritura de la Hora .....  | 20        |
| Cifras Fidedignas:.....   | 21        |
| Cifras Significativas:.....   | 21        |
| Operaciones con números.....  | 23        |
| Escritura de cantidades.....  | 24        |



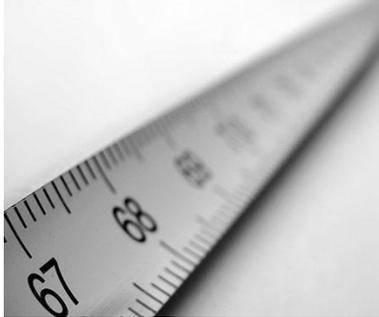
# INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 3</b> .....  | <b>25</b> |
| <i>Métodos de Medición</i> .....   | 26        |
| <i>Medición</i> .....  | 26        |
| <i>Clasificación de las Mediciones</i> .....   | 27        |
| <i>Clasificación de los instrumentos de medición</i> .....                               | 30        |
| <i>Características de los instrumentos de medición</i> .....                             | 31        |
| <b>Capítulo 4</b> .....  | <b>32</b> |
| <i>Teoría de Errores</i> .....   | 32        |
| <i>Elementos de la Teoría de Probabilidades</i> .....                                    | 32        |
| <i>Errores</i> .....   | 34        |
| <i>Clase de exactitud en instrumentos de medición</i> .....                              | 34        |
| <i>Recomendación 34</i> .....  | 34        |
| <i>Modos de Normalización de los Errores Máximos</i> .....                               | 35        |
| <b>Capítulo 5</b> .....  | <b>36</b> |
| <i>Tratamiento de Errores de los Medios de Medición Digitales</i> .....                  | 36        |
| <i>Tratamiento de errores de los medios de medición digitales</i> .....                  | 36        |
| <i>Diferencia entre Instrumentos Analógicos y Digitales</i> .....                        | 36        |
| <i>Cálculo del Error Máximo Permisible en un Instrumento con Indicador Digital</i> ..... | 37        |
| <b>Capítulo 6</b> .....  | <b>39</b> |
| <i>Calibración</i> .....   | 39        |
| <i>¿Para qué calibrar?</i> .....   | 39        |
| <i>Repetibilidad del Proceso</i> .....   | 40        |
| <i>Transferencia de Procesos</i> .....   | 40        |
| <i>Cumplimiento del Sistema de Calidad</i> .....   | 41        |
| <i>Certificado de Calibración</i> .....  | 42        |
| <i>¿Que debe contener un certificado de calibración? Según la ISO-IEC-17025.</i> .....   | 42        |
| <i>Incertidumbre</i> .....   | 43        |
| <i>Estimación de la Incertidumbre</i> .....  | 44        |
| <i>Evaluación tipo A de la Incertidumbre Estándar</i> .....                              | 44        |
| <i>Evaluación tipo B de la Incertidumbre Estándar</i> .....                              | 44        |
| <i>Incertidumbre Estándar combinada</i> .....  | 44        |
| <i>Incertidumbre Expandida</i> .....   | 45        |
| <b>Capítulo 7</b> .....  | <b>45</b> |
| <i>Definiciones Adicionales del Vocabulario Internacional de Metrología</i> .....        | 46        |
| <b>Capítulo 8</b> .....  | <b>47</b> |
| <i>Preguntas y Ejercicios</i> .....  | 47        |
| <b>Bibliografía</b> .....  | <b>50</b> |



# INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la civilización, el hombre fue formando en su mente la idea de medir; comparaba masas de acuerdo a su sensibilidad muscular, medía distancias según los distintos esfuerzos al lanzar una piedra, o lo que podía recorrer a pie en un día.



Se origina de esta forma la matemática y también una ciencia que hoy es de una importancia vital para cualquier país: **LA METROLOGÍA**, la cual se basa fundamentalmente en otras ciencias puras.

A medida que avanza la civilización, el hombre comienza a usar para las medidas de longitud “patrones” naturales como: pie, pulgar, dedo, brazo, palmo, etc., que eran fácilmente transportables y que tenían cierta uniformidad.

Las primeras mediciones que se hicieron se relacionaban con la masa, la longitud y el tiempo; después surgieron las de volumen y ángulo como una necesidad en el desarrollo de la construcción. Como estas unidades de medidas eran imperfectas y variaban de un lugar a otro, aún con el mismo nombre, al desarrollarse el comercio, la industria y la ciencia, fueron aumentando las dificultades y complicaciones en este aspecto de las relaciones humanas. Se hizo necesario unificar los diferentes sistemas de medidas.

Por esto, Inglaterra establece patrones de masa y longitud (libra y yarda) y posteriormente el sistema inglés (pie, libra, segundo), que adoptado por todas las colonias británicas y por Estados Unidos, fue durante largo tiempo el sistema de medidas más utilizado en el mundo. También Francia en 1790, por medio de su academia de ciencias, propone a la Real Sociedad de Londres establecer “patrones invariables para todas las medidas y pesos”, pero Inglaterra no secundó este notable esfuerzo, porque ya disponía de un sistema propio. Sin embargo, los franceses siguen adelante solos y logran establecer un sistema sencillo, cómodo, único, eficiente, capaz de evolucionar y fácil de aprender: El Sistema Métrico Decimal (SMD), que adoptó como unidades fundamentales el metro (unidad de longitud) y el gramo (unidad de masa). A partir de las medidas de los patrones físicos básicos, metro y kilogramo, se hicieron en platino los patrones respectivos.

El Sistema Métrico Decimal, susceptible a evoluciones según las necesidades lo fueran exigiendo, ha dado lugar al **Sistema Internacional de Unidades (SI)**, que es el sistema que actualmente se está aplicando en casi todos los países del mundo.



## Definición y División de la Metrología

### **Metrología:**

En su significado más general podemos definir la metrología como: **ciencia de la medida y su aplicación.**

**Nota:** La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, independientemente de la incertidumbre de la medida y su campo de aplicación y su campo de aplicación

Entre las principales funciones de que se ocupa la metrología, se encuentran:

- a. *La teoría general de la medición.*
- b. *Unidades de magnitudes y sus sistemas.*
- c. *Patrones de las unidades y magnitudes y la transmisión de estas. Métodos de medición.*
- d. *Medios de medición, su clasificación, construcción y características metroológicas.*
- e. *Errores de las Mediciones, su clasificación y métodos para determinarlos.*
- f. *Aseguramiento de la uniformidad de las Mediciones y en los medios de medición.*

La metrología se divide principalmente en:

**Metrología Científica:** El objeto de estudio es el desarrollo y mantenimientos de patrones primarios internacionales o nacionales, que permitan sostener todas las otras actividades metroológicas. La metrología científica se desarrolla generalmente en institutos o laboratorios oficiales de los distintos países del mundo llamados institutos nacionales de metrología, responsables de realizar y mantener los patrones nacionales de medida en cada país.

**Metrología Industrial:** Parte de la metrología que se ocupa de la medición con aplicación definida. Comprende en contra posición con la metrología general, Mediciones de cantidades de una determinada magnitud (masa, longitud, etc.) y Mediciones de cantidades de las magnitudes que forman parte de una determinada rama de la actividad humana (industrial, médica, astronómica, etc.).



**Metrología legal:** Parte de la metrología que se ocupa de las disposiciones y regulaciones organizativas, técnicas y jurídicas, interrelacionadas e interdependientes, dirigidas al aseguramiento de la uniformidad de las Mediciones y de los medios de medición.

Importancia de la metrología.

El desarrollo de la tecnología, la ciencia, de la industria y del comercio, han estado exigiendo un adelanto en el perfeccionamiento y exactitud de los medios de medición.

En el comercio interno e internacional, la metrología desempeña un papel fundamental para garantizar que las Mediciones, especialmente las de masa y las de longitud, se obtengan con la exactitud requerida, es decir, usando instrumentos de medir calibrados que aseguren resultados confiables, es decir, dentro de las desviaciones permisibles. Sin este control metrológico de los instrumentos de medición no sería posible distribuir los productos y artículos con igualdad a la población, se cometerían errores en los inventarios, la comercialización de mercancías se haría con cantidades equivocadas, etc.

En la industria, el servicio metrológico de calibración resulta indispensable en el control de los procesos tecnológicos de producción, en lo que respecta a calidad, economía, etc. Es imposible conducir, regular y controlar de manera centralizada y correcta un proceso tecnológico, si no tenemos una buena distribución de instrumentos de medición a lo largo de él.

Sin los métodos e instrumentos que midan correctamente, sería imposible obtener productos de alta calidad, como los que exigen las industrias alimentarias y los laboratorios farmacéuticos. Especialmente en la industria de medicamentos, en donde muchos de estos se elaboran con pequeñas dosis de productos tóxicos, la medición tiene que ser rigurosa en todos sus aspectos.

Las normas de consumo de materiales, combustibles y energía, y las de tiempo de trabajo, no podrían elaborarse sin instrumentos de medición calibrados, como tampoco sin estos se podría controlar el cumplimiento de ellas.

Por otra parte, la calibración de los instrumentos de medición cobra suma importancia en la seguridad contra accidentes, para evitar pérdidas humanas, de producción y de instalaciones industriales.

### **Beneficios de la metrología**

El desarrollo de la metrología proporciona múltiples beneficios al mundo industrial, como veremos a continuación:



- a. Promueve el desarrollo de un sistema armonizado de medidas, análisis ensayos exactos, necesarios para que la industria sea competitiva.
- b. Facilita a la industria las herramientas de medida necesarias para la investigación y desarrollo de campos determinados y para definir y controlar mejor la calidad de los productos.
- c. Perfecciona los métodos y medios de medición.
- d. Facilita el intercambio de información científica y técnica. Posibilita una mayor normalización internacional de productos en general, maquinaria, equipos y medios de medición.

### **Organizaciones Internacionales y Nacionales de Metrología**

De la gran importancia de la metrología, según se acaba de ver, es obvio así mismo la extraordinaria importancia que tiene la existencia de organizaciones de metrología internacionales y nacionales; para el desarrollo de la uniformidad de las Mediciones y de los medios de medición a través de un sistema internacional de unidades y de un vocabulario metrológico unificado a escala mundial, lo que sería de beneficio notable para las relaciones económicas, técnicas y científicas entre las naciones.

Las principales organizaciones internacionales de metrología son:

#### **a.- La Organización Internacional de Pesas y Medidas (*BIPM*)**

El primer paso formal serio para el ordenamiento internacional en las mediciones fue la Convención Internacional sobre el Tratado del Metro (20 de mayo de 1875) que dio origen al *BIPM*, esto se hace con un tratado diplomático entre más de cincuenta naciones, funciona a través de una serie de comités consultivos cuyos miembros son los laboratorios de metrología de los estados miembros de la convención y su propio laboratorio. El *BIPM* realiza investigaciones relacionadas con la medición. Participa y organiza, las comparaciones internacionales de los estándares de la medida, y realiza las calibraciones para los estados miembros.

#### **b.- La Organización Internacional de Metrología Legal. (*OIML*)**

Fue establecido en 1955 para promover la armonización global de los procedimientos legales de la metrología. Desde entonces, el OIML ha desarrollado una estructura técnica mundial La Confederación Internacional de medición que provee a sus miembros las pautas metrológicas para la elaboración de requisitos nacionales y regionales referentes la fabricación y al uso de los instrumentos de medida para los usos legales de la metrología.



### **c.- La Confederación Internacional de Medición. (IMEKO)**

IMEKO es una federación no gubernamental de 37 organizaciones del miembro tratado individualmente al adelanto de la tecnología de la medida. Sus objetivos fundamentales son la promoción de intercambio internacional de información científica y técnica en el campo de la medida y de la instrumentación, incentivando el realce de la cooperación internacional entre científicos e ingenieros de la investigación y de la industria.

### **d.- El Sistema Interamericano de Metrología. (SIM)**

El sistema interamericano de la metrología (*SIM*) resultó de un acuerdo amplio entre organizaciones nacionales de la metrología de las 34 naciones miembro de la Organización de los Estados Americanos (*OAS*). Creado para promover, la cooperación internacional particularmente interamericana en metrología, *SIM* está confiada a la puesta en práctica de un sistema de medida global dentro de las Américas, en las cuales todos los usuarios pueden tener confianza. Trabajando hacia el establecimiento de un sistema de medición regional robusto, el SIM es esencial para hacer el desarrollo de una zona de libre comercio en las Américas.

### **Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SEN-CAMER)**

El órgano nacional rector de la Metrología en Venezuela es el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SEN-CAMER).

Esta institución tiene las siguientes funciones:

1. Asegurar la uniformidad y exactitud de las Mediciones, así como la correcta utilización de los medios de medición.
2. Orientar y controlar el desarrollo de las actividades de la metrología en el país.
3. Adquirir, producir, reproducir y conservar los patrones nacionales y de categorías inferiores que pertenezcan al servicio Metrológico nacional.
4. Transmitir con carácter exclusivo, las unidades de medición de los patrones nacionales a los patrones de distintas categorías.
5. Evaluar la calidad de los medios de medición nacionales e importados, para aprobarlos desde el punto de vista metrológico.
6. Promover, organizar, autorizar, asesorar y supervisar los laboratorios de metrología, empresas, institutos, etc.
7. Organizar y proponer las medidas necesarias para la implantación del Sistema Internacional de Unidades, así como asesorar y supervisar su aplicación y desarrollo.



### **Servicio Autónomo de Metrología de Hidrocarburos**

El Servicio Autónomo de Metrología de Hidrocarburos (*SAMH*) ahora será el ente encargado de fiscalizar en los puertos y terminales de embarque, los trámites y operaciones relativas a la comercialización de hidrocarburos naturales y sus derivados. El *SAMH* deberá corroborar que las cantidades y calidades reflejadas en la documentación respectiva, sirva de base a todos los efectos previstos en la Ley Orgánica de Hidrocarburos, así como verificar directamente los volúmenes y calidades de los hidrocarburos naturales producidos o sus derivados, destinados al comercio exterior.



# Magnitud Física y sus Unidades

## **Magnitud Física:**

Propiedad común a un fenómeno, cuerpo, o una sustancia, donde la magnitud tiene una propiedad que se pueda expresar como un número con relación a su referencia.

De acuerdo con **VIM V2-200:2007** se puede definir como Atributo de un fenómeno o de un cuerpo, que es susceptible de ser distinguido **calitativamente** y determinado **cuantitativamente**.

La palabra **magnitud física** se emplea como una propiedad general o una propiedad concreta, aunque en este último caso debe, más correctamente decirse: **Cantidad de magnitud Física**.

## **Cantidad de una magnitud física**

Estado de una magnitud física en el que se puede establecer la igualdad y la desigualdad, por lo que la magnitud es capaz de ser medida y adquirir número, determinándose así su valor.

**Magnitud Física a Medir:** Magnitud física sometida a medición.

**Magnitud Física Influyente:** Magnitud física que no es objeto de medición, pero que influye en el resultado de esta. La magnitud física influyente puede provenir del ambiente o del propio medio de medición.

Ej.: En las Mediciones de longitud de gran exactitud ha de considerarse a la temperatura como magnitud física influyente de gran importancia.

**Valor de una magnitud física:** Determinación de una cantidad de magnitud física en forma de un número de unidades tomadas para ella.

Ej.: 5 m, valor de la longitud de un cuerpo.

**Valor verdadero:** Valor que caracteriza una cantidad de magnitud perfectamente definida en las condiciones que existen en el momento en que este valor es observado. El valor verdadero de una magnitud física es una noción ideal y en general no puede conocerse.

**Valor Convencionalmente Verdadero:** Valor de una cantidad de magnitud física hallado por vía experimental y tan cercano al valor verdadero que para un fin dado, puede emplearse en lugar de este por acuerdo.



**Valor Numérico:** Número abstracto que forma parte del valor de una cantidad de magnitud física.

**Sistemas de magnitudes físicas**

Conjunto de magnitudes asociadas con un conjunto de ecuaciones no contradictorias que relacionan las magnitudes. Como denominación abreviada de un determinado sistema de magnitudes, generalmente se utilizan los símbolos, en mayúsculas, del conjunto de sus magnitudes básicas.

Ej.: Sistema de magnitudes de la mecánica, LMT en el cual, como magnitudes básicas se toma la longitud  $l$ , la masa  $m$  y el tiempo  $t$ .

**Magnitud Física Básica:**

Magnitud física perteneciente a un sistema y aceptada convencionalmente como independiente de las otras magnitudes de este sistema.

Ej. : En la rama de la mecánica se emplean comúnmente como magnitudes básicas la longitud, la masa y el tiempo.

**Magnitud Física Derivada:** Magnitud física definida en un sistema de magnitudes como función de magnitudes básicas de este sistema.

**Escala de una magnitud física**

Sucesión de valores de una magnitud física, distribuidos de acuerdo con reglas establecidas, o sucesiones de valores de distintas cantidades de una misma magnitud física.

Ej.: Escala Práctica de Temperaturas, basada en las temperaturas fijas de solidificación y de puntos triples de una serie de cuerpos puros determinados, y en la utilización de medios de medición y de fórmulas de interpolación definidas.

**Unidad de una magnitud física**

Valor de una magnitud física admitido convencionalmente como igual a uno. Se fija la unidad de una magnitud para posibilitar la comparación cuantitativa entre diferentes valores de la magnitud.

**Símbolo de la Unidad:** Símbolo convencional que representa la unidad de una magnitud física.

**Unidad Legal:** Unidad de una magnitud física establecida por la ley e introducida mediante documento normalizativo.



**Unidad Básica:** Unidad de una magnitud física básica, seleccionada arbitrariamente en la elaboración de un sistema de unidades.

**Unidad Derivada:** Unidad de una magnitud física derivada. Para algunas unidades derivadas existen nombres y símbolos especiales, por ejemplo: el metro por segundo (m/s) unidad de la velocidad en el SI, newton (N), joule (J), como unidades SI de fuerza y de energía.

**Unidad Derivada Coherente:** Unidad derivada relacionada con otras unidades del sistema al que pertenece por una ecuación en la cual el coeficiente de proporcionalidad es igual a uno. Ej.: El newton, unidad derivada de fuerza del Sistema Internacional de Unidades, expresada por la ecuación:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2$$

**Unidad Múltiplo o Submúltiplo:**

Unidad que es un número entero de veces mayor o menor que una determinada unidad del sistema. El número entero debe corresponder al principio de formación de unidades múltiplos y submúltiplos.

Ej.: Kilómetro, km (1 000 m); milímetro, mm (0,001 m), hora, h (3 600 s).

**Sistemas de unidades de magnitudes físicas**

Conjunto de unidades de magnitudes físicas básicas y derivadas que conforman un sistema de magnitudes.

Ej.: El sistema de unidades cgs (centímetro, gramo, segundo); el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Sistema Internacional de Unidades**

Sistema coherente de unidades con base en el Sistema Internacional de Magnitudes, sus nombres y símbolos, y una serie de prefijos con sus nombres y símbolos, y las reglas para su uso, adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

**Nota 1:** El SI está integrado por siete unidades básicas del ISQ, los nombres y símbolos que corresponden a las unidades bases está contenido en la tabla 1.

**Nota 2:** Las unidades base y las unidades derivadas coherente del SI forman un sistema coherente llamado “conjunto de unidades coherente del SI”

Este Sistema Internacional de Unidades (SI), originalmente parte del sistema *MKS* (metro, kilogramo, segundo) y de tres sistemas derivados de este: el *MKSA* (metro, kilogramo,



segundo, ampere), el *MKSG* (metro, kilogramo, segundo, grado kelvin) y el *MSC* (metro, segundo, candela).

**Unidades SI:** El SI comprende tres clases de unidades: básicas y derivadas.

**Unidades Básicas:** El SI está fundamentado en las siete unidades de magnitudes físicas básicas, expuestas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Unidades Básicas del Sistema Internacional de Unidades

| Magnitudes Físicas Básicas | Unidades Básicas |          |
|----------------------------|------------------|----------|
|                            | Nombre:          | Símbolo: |
| Longitud                   | Metro            | m        |
| Masa                       | Kilogramo        | kg       |
| Tiempo                     | Segundo          | s        |
| Corriente eléctrica        | Ampere           | A        |
| Temperatura termodinámica  | Kelvin           | K        |
| Cantidad de sustancia      | Mol              | mol      |
| Intensidad luminosa        | Candela          | cd       |

**Longitud:** La unidad de medición de longitud en el SI es el metro (m). Se define como la distancia recorrida por una onda electromagnética plana en el vacío en un intervalo de tiempo de  $1/c$  segundos, donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y corresponde a 299 792 458 m/s. su historia se remonta en 1889 la definición del metro, basada en el prototipo internacional del platino-iridio, fue substituida por el 11th CGPM (1960) usando una definición basada en la longitud de onda de la radiación del criptón. Este cambio fue adoptado para mejorar la exactitud con la cual la definición del metro podría ser observada.



**Masa:** La unidad de medición de masa en el SI es el kilogramo (kg). Este está definido como un elemento físico, que es la masa de un elemento cilíndrico de platino Iridio, el cual se encuentra en París, bajo la custodia del BIPM. La unidad de masa, el kilogramo, es la masa del prototipo internacional del kilogramo mantenido debajo de tres campanas de cristal en el BIPM. Es un cilindro hecho de una aleación para la cual la fracción total del platino sea el 90% y la fracción total del iridio es 10%. Debido a la acumulación inevitable de contaminantes en su superficie, el prototipo internacional está conforme a la contaminación superficial reversible que se acerca a 1  $\mu\text{g}$  por año en Massachusetts. Por esta razón, el CIPM declaró que, hasta que finalice la investigación adicional, el peso de referencia del prototipo internacional es éste inmediatamente después de la limpieza y del lavado por un método específico. El peso de referencia definido se utiliza para calibrar estándares nacionales de la aleación del platino-iridio

**Tiempo:** La unidad de tiempo en el SI es el segundo (s). Este está definido como la duración de 9 192 631 770 ciclos de radiación correspondientes a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de Cesio-133. Su historia en la unidad de tiempo, el segundo, contemporáneamente era considerada la fracción 1/86 400 del día solar. Sin embargo las medidas demostraron que las irregularidades en la rotación de la tierra hicieron esto una definición insatisfactoria. Para definir la unidad de tiempo más exacto, el 11th CGPM (1960, la resolución 9) adoptó una definición dada por la unión astronómica internacional basada en el año tropical 1900. El trabajo experimental, sin embargo, había demostrado ya que un estándar atómico del tiempo, basado en una transición entre dos niveles de energía de un átomo o de una molécula, se podría observar y se reprodujo mucho más exactamente.

**Corriente Eléctrica:** La unidad de medición de la corriente eléctrica en el SI es el ampere (A). Este está definido como la corriente eléctrica producida, por una fuerza de  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de longitud entre dos alambres separados una distancia de un metro.

**Temperatura Termodinámica:** La unidad de temperatura termodinámica en el SI es el kelvin (K). Este está definido como 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

**Intensidad Luminosa:** La unidad de intensidad luminosa en el SI es la candela (cd). Esta es definida como la intensidad luminosa en una dirección dada de la fuerza que emite la radiación monocromática a una frecuencia de  $540 \times 10^{12}$  hertz, con una intensidad radiante en la dirección de 1/683 watts /estereorradián.

**Cantidad de Sustancia:** La unidad de medida en el SI para la cantidad de sustancia es el mol. Este es definido como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene átomos en 0,012 kg de Carbón 12.



### Unidades derivadas:

Las unidades derivadas se expresan algebraicamente en términos de unidades básicas y/o suplementarias. Sus símbolos se obtienen pues, mediante expresión de productos y/o cocientes de los símbolos de las unidades básicas y/o suplementarias.

**Tabla 1.** Unidades Derivadas del Sistema Internacional de Unidades.

| Magnitud:                 | Nombre de la Unidad Básica SI | Símbolo            |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Áreas                     | metro cuadrado                | m <sup>2</sup>     |
| Volumen                   | metro cúbico                  | m <sup>3</sup>     |
| Velocidad Lineal          | metro por segundo             | m/s                |
| Velocidad Angular         | radián por segundo            | rad/s              |
| Aceleración               | metro por segundo cuadrado    | m/s <sup>2</sup>   |
| Aceleración Angular       | radian por segundo cuadrado   | rad/s <sup>2</sup> |
| Número de Ondas           | reciproca del metro           | m <sup>-1</sup>    |
| Densidad de Masa          | kilogramos por metro cúbico   | kg/m <sup>3</sup>  |
| Volumen Específico        | metro cúbico por kilogramo    | m <sup>3</sup> /kg |
| Densidad de Corriente     | Ampere por metro cuadrado     | A/m <sup>2</sup>   |
| Fuerza de campo magnético | ampere por metro              | A/m                |
| Concentración             | mol por metro cúbico          | mol/m <sup>3</sup> |
| Luminosidad               | Candela por metro cuadrado    | cd/m <sup>2</sup>  |

### Múltiplos de las unidades del SI

Los prefijos dados en la tabla 3 se usan para formar nombres y símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI.

Aquí, el término “símbolo unitario” significa solo un símbolo para una unidad básica, una unidad suplementaria o una unidad derivada con un nombre especial.

Nota: Dado que el nombre de la unidad básica de masa, kilogramo, contiene el nombre del prefijo SI kilo, los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman agregando a los prefijos la palabra gramo; por ejemplo, miligramo (mg) en lugar de microkilogramo (kg).



### Uso de las unidades del SI y sus múltiplos

Para esto, hemos de tener en cuenta lo siguiente:

La selección de un múltiplo o submúltiplo de una unidad SI se hace por conveniencia; escogiéndose, para una determinada aplicación, un múltiplo mediante el cual puedan obtenerse valores numéricos dentro de límites prácticos.

Usualmente, el múltiplo puede escogerse entre los valores 0,1 y 1 000.

Ej.: 0,003 94 m, puede escribirse como 3,94 mm, 1 401 Pa, puede escribirse como 1,401 kPa,

**Tabla 2.** Múltiplos de las Unidades del Sistema Internacional de Unidades.

| Factor por el cual se multiplica la unidad | Nombre: | Símbolo: |
|--|---------|----------|
| $10^{24}$                                  | yotta   | Y        |
| $10^{21}$                                  | zetta   | Z        |
| $10^{18}$                                  | exa     | E        |
| $10^{15}$                                  | peta    | P        |
| $10^{12}$                                  | tera    | T        |
| $10^9$                                     | giga    | G        |
| $10^6$                                     | mega    | M        |
| $10^3$                                     | kilo    | k        |
| $10^2$                                     | hecto   | h        |
| 10   | deca    | da       |
| $10^{-1}$                                  | deci    | d        |
| $10^{-2}$                                  | centi   | c        |
| $10^{-3}$                                  | mili    | m        |
| $10^{-6}$                                  | micro   | $\mu$    |
| $10^{-9}$                                  | nano    | n        |
| $10^{-12}$                                 | pico    | p        |
| $10^{-15}$                                 | femto   | f        |
| $10^{-18}$                                 | atto    | a        |
| $10^{-21}$                                 | zepto   | z        |
| $10^{-24}$                                 | yocto   | y        |



Unidades no pertenecientes al SI que pueden utilizarse junto con las del SI y sus múltiplos. El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) considera que ciertas unidades ajenas al SI deben retenerse por su importancia práctica (tabla 4).

**Tabla 3.** Unidades no Pertenecientes al SI.

| Magnitud:    | Nombre de la unidad | Símbolo | Símbolo                 |
|--------------|---------------------|---------|-------------------------|
| Tiempo       | minuto              | min     | 1 min = 60 s            |
|              | hora                | h       | 1 h = 60 min            |
|              | día                 | d       | 1 d = 24 h              |
| Ángulo Plano | grado               | °       | 1 ° = (1/180)rad        |
|              | minuto              | '       | 1' = (1/60)°            |
|              | segundo             | "       | 1 " = (1/60)            |
| Volumen      | Litro               | l       | 1 l = 1 dm <sup>3</sup> |
| Masa         | Tonelada            | T       | 1 t = 1000 kg           |

### Ventajas del SI

Estas ventajas son las siguientes:

- Su internacionalización.*
- Su uniformidad.*
- Su simplicidad en la expresión de las ecuaciones y fórmulas.*
- Su coherencia, pues las unidades derivadas SI están en función de las unidades básicas y suplementarias con la ayuda de expresiones matemáticas de coeficiente 1.*

### Escritura de Números y Cantidades

Escritura de números

En la escritura de números se usará la numeración decimal que consta de las diez cifras arábigas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0. Prácticamente todos los casos de interés los veremos a continuación.

#### Números Ordinales:

Se pone un punto después del número para darle el carácter de ordinal.

Ej.: 3. (tercero); 22. (Vigésimo segundo).



**Números Enteros:** Los números enteros con más de tres cifras se escriben en grupos de tres cifras de derecha a izquierda, dejando un espacio entre grupos del tamaño aproximado de una cifra. Se exceptúan de esto los trabajos de tablas matemáticas, codificaciones y claves, números de teléfonos, números del año de una fecha y otros de cuatro cifras, donde por diversas razones, se hacen agrupaciones diferentes.

Ej.: 6 745 202; 71 004; 4 845. Formas toleradas: año 1976; teléfono 32 40 87

**Fracciones Decimales:** Las fracciones decimales de más de tres cifras se escriben en grupos de tres cifras a partir del signo decimal hacia la derecha, dejando entre grupos un espacio del tamaño aproximado de una cifra.

Ej.: 0,316 35; 4,274 9

**Fracciones Comunes:** Las fracciones comunes se expresan separando los dos números que las forman por medio de una barra horizontal y oblicua, aunque puede utilizarse el signo de la división (:).

Ej.: 3/7 ò 3:7

**Números Mixtos:** Puede escribirse utilizando también la barra oblicua, aunque en este caso debe tenerse cuidado, para evitar confusiones, de separar convenientemente la parte entera de la fraccionaria.

Ej.: 3 1/5 (tres un quinto).

**Números Escritos en Textos:**

Cuando se escriben números en textos, seguidos unos de otros, se separan los enteros con coma (,) y los números con fracción decimal, con punto y coma (;), debiendo dejarse entre una coma o un punto y coma y el número siguiente un espacio del tamaño de una cifra.

Ej.: Los números 3, 5, 7 y 11 son primos.

Entre otros, hay instrumentos de medir volumen cuyos errores nominales son: 0,1; 0,2; 0,5; 5% referidos a la capacidad nominal.



**Escritura de Fecha:** Se utilizan dos o cuatro caracteres para el año, dos para el mes y dos para el día, en ese orden

| Fecha:                  | Ejemplo                 |
|-------------------------|-------------------------|
| 9 de junio de 1996      | 1996-06-09 ó 96-06-09   |
| 12 de noviembre de 2006 | 2006-11-12 ó 2006-11-12 |
| 3 de enero de 2000      | 2000-01-03              |

**Escritura de la Hora:** Se debe utilizar el sistema de 24 horas con dos dígitos para los minutos y dos dígitos para los segundos. En los intermedios se indica el símbolo de la unidad.

| Ejemplo correcto: | Ejemplo Incorrecto: |
|-------------------|---------------------|
| 20 h 00           | 8 PM                |
| 09 h 30           | 9:30 hrs            |
| 12 h 40 min 30    | 12 h 40' 30         |

### Carácter Universal del SI

| Correcto:  | Incorrecto: |
|------------|-------------|
| Watt       | Vatio       |
| Ampere     | Amperio     |
| Volt       | Voltio      |
| Ohm        | Ohmio       |
| Vóltmetro  | Voltímetro  |
| ampérmetro | Amperímetro |



### Unidades mal Expresadas

| Se recomienda:  | No se recomienda: |
|---|-------------------|
| Tensión eléctrica, diferencia de potencial, fuerza electromotriz, potencial eléctrico | voltaje           |
| corriente eléctrica   | amperaje          |
| frecuencia  | ciclaje           |
| Distancia en kilómetro  | kilometraje       |
| Potencial, flujo energético   | wattaje           |

### Redondeo de Números

**Cifras Fidedignas:** Se dice que un número tiene n cifras fidedignas, cuando su error absoluto es inferior a una unidad del orden de su cifra enésima, contando las cifras desde la primera significativa de la izquierda.

Ej.: Sea el número 3,657 826

Los valores aproximados 3,657 y 3,658 tienen ambos cuatro cifras fidedignas

Porque sus errores absolutos son inferiores a una milésima. Las cifras verdaderas son las que aparecen realmente en la expresión del número de que se trate. Así 3,657 que es aproximado por defecto tiene todas sus cifras fidedignas y verdaderas; pero 3,658 que es aproximado por exceso tiene todas sus cifras fidedignas más la última no es verdadera.

**Cifras Significativas:** Son todas menos el cero; pero se convenía denominar significativo a este en los siguientes casos:

- a.- Cuando está entre cifras significativas (700 605).
- b.- Cuando ocupa un lugar decimal y tiene cifras significativas a su izquierda (0,005 0; 8,00; 80,00)



### Redondeo de un número:

Redondear un número significa, que un número dado, en forma entera o decimal, se sustituye por otro número de igual, menos o más cifras.

$$\begin{aligned} \text{Ej.: } 32\ 571 &\approx 32\ 570 \approx 32\ 600 \approx 33\ 000 \\ \pi &= 3,141\ 59\dots\dots 3,141\ 6 \approx 3,142 \\ 999 &\approx 1\ 000 \end{aligned}$$

Existen dos casos de redondeo, que son: por defecto y por exceso:

#### **Por Defecto:**

El lugar que se desea conservar permanecerá igual cuando le siga una cifra menor que 5.

$$\text{Ej.: } 8,273\ 4 \approx 8,273 \approx 8,27$$

#### **Por Exceso:**

El lugar que se desea conservar se aumentará en 1, cuando le siga una cifra mayor que 5.

$$\text{Ej.: } 25,387\ 9 \approx 25,388 \approx 25,39 \approx 25,4$$

#### **El 5:**

Si al lugar que se desea conservar sigue un 5, y a este alguna cifra diferente de 0, se aumentará este lugar en 1 (redondeo, por exceso).

$$\begin{aligned} \text{Ej.: } 4,350\ 01 &\approx 4,4 \\ 19,9503 &\approx 20,0 \end{aligned}$$

Si al lugar que se desea conservar sigue solamente un 5, y se sabe que el número original es menor o mayor se redondeará.

**Por defecto:** cuando el número original es menor.

$$\text{Ej.: número original: } 37,214\ 72$$

Primer redondeo: 37,215 (antes del redondeo el número era menor)

Segundo redondeo: 37,21

**Por exceso:** cuando el número original es mayor.

$$\text{Ej.: número original: } 12,925\ 14$$

Primer redondeo: 12,925 (antes del redondeo el número era mayor)

Segundo redondeo: 12,93



### Operaciones con números

Adición y Sustracción.

Se conserva en el resultado tantas cifras decimales como tenga el dato aproximado que contiene el menor número de cifras decimales. Ejemplo:

$$\begin{array}{r} 528,281 \\ + 9,745 \\ \hline 538,026 \end{array}$$

**Resultado:** 538,026

$$\begin{array}{r} 14,5 \\ - 1,22 \\ \hline 13,28 \end{array}$$

**Resultado:** 13,3

### Multiplicación y División:

Se conserva en el resultado tantas cifras significativas como tenga el dato aproximado que contiene el menor número de cifras significativas.

**Ejemplo:**

$$\begin{array}{r} 7,28 \\ \times 1,452 \ 15 \\ \hline 10,571 \ 652 \end{array}$$

**Resultado:** 10,6

$$\begin{array}{r} 54,83 \\ \div 6,82 \\ \hline 8,039 \ 589 \ 443 \end{array}$$

**Resultado:** 8,04



### Escritura de cantidades:

Las unidades de magnitudes se escriben, a continuación de un número, con su símbolo o su nombre completo, este siempre en singular cuando se trate de una unidad derivada con el nombre propio, o en plural cuando sea 2 o mayor.

|      |          |                          |
|------|----------|--------------------------|
| Ej.: | 10 km    | 10 kilómetros            |
|      | 83 A     | 83 amperes               |
|      | 1,2 kg/m | 1,2 kilogramos por metro |

Cuando se citen dos o más cantidades, o intervalos, con la misma unidad de magnitud, se pone esta una sola vez al final.

Ej.: son 37, 53 y 65 °C  
entre 10 y 20 °C

Al expresar dimensiones u otros datos similares referidos a longitudes, se podrán separar mediante el signo de multiplicar.

Ej.: 210 mm x 297 mm

Las desviaciones deben expresarse en la misma unidad o en un submúltiplo de esta y no en otra unidad.

Ej.: 10 mm  $\pm$  0,1 mm  
20 kg  $\pm$  16 mg

### Signos convencionales para cuando la última cifra es 5

En los trabajos de tablas o afines, etc., deben marcarse los 5 que figuren como última cifra de un número, para saber si el número era mayor o exacto, antes del redondeo.

Ej: Si el número es mayor, detrás del 5 se pondrá un signo (+): 12,925 +  
Si el número es menor, detrás del 5 se pondrá un signo (-): 37,215 -  
Si el número es exacto, detrás no se pondrá signo alguno 0,75



**Ejercicios Prácticos:**

Aplicando los conocimientos adquiridos en este Capítulo, resolver los siguientes ejercicios:

**Prefijos:**

- 1.- Llevar 5 259,35 centímetros a hectómetros:
- 2.- Llevar 1,05 milivóltts a nanovóltts.

**Redondeo:**

- 1.- Redondear el número 999,964 a cuatro cifras.
- 2.- Redondear el número 1,414 45 a tres cifras.



## Métodos de Medición

### Medición

La medición es un conjunto de actos experimentales que tiene por objeto determinar el valor de una cantidad de magnitud física con ayuda de medios técnicos adecuados.

De acuerdo con **VIM V2-200:2007** se puede definir como un proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

Entre estos actos experimentales pueden figurar operaciones con los medios técnicos y por lo menos un acto de observación.

Para medir se ha de considerar cuánto y cómo es posible medir según el caso; así la cantidad de magnitud física, cuyo valor se ha de determinar mediante su medición, puede ser grande, muy grande, extraordinariamente grande; mediana o de tamaño considerado como situado entre límites normales; pequeña, muy pequeña o extraordinariamente pequeña, tales como: largo de una cuadra, distancia entre ciudades, distancia interestelares, largo de un zapato, masa de una moneda, etc.

Como es posible medir en cualquiera de los casos citados, nos lo facilita el método y el medio de medición adecuado.

De acuerdo con lo que vayamos a medir, con la finalidad de nuestra medición, hemos de tener siempre en cuenta, sobre todo para los fines prácticos, la siguiente ley Metroológica: medir solo con la aproximación o precisión necesaria. Esta ley también la podemos enunciar de la manera siguiente: la medición ha de ser lo más grosera posible, con tal que, de acuerdo con el fin que se persiga, su resultado sea satisfactorio y el método escogido para hacerla sea sencillo.

La medición es una actividad organizada del hombre que se realiza para obtener un conocimiento cuantitativo de las propiedades de un objeto físico, mediante determinaciones experimentales de valores de magnitudes físicas relacionadas con dicha propiedad.

Toda medición se basa en un principio, se desarrolla bajo un proceso y se logra según un método.



### **Clasificación de las Mediciones**

Para clasificar las Mediciones generalmente se consideran: la dependencia de la magnitud física a medir con respecto al tiempo, los métodos de medición y las condiciones que determinan la precisión del resultado de la medición.

De acuerdo con el carácter de dependencia de la magnitud medida con respecto al tiempo, **la medición se considera estática** cuando la magnitud objeto de medición permanece constante en el tiempo (Mediciones de las dimensiones de un cuerpo), **o dinámica**, cuando la magnitud sometida a medición cambia de valor según pasa el tiempo (medición de una presión purgatoria).

Respecto a los métodos generales de obtención del valor de la cantidad de la magnitud sometida a medición, **las Mediciones se clasifican en directas, indirectas, conjuntas y combinadas.**

#### ***Mediciones directas:***

Mediciones por las cuales es posible hallar el valor de la cantidad de magnitud a medir, sin que sea necesario ejecutar cálculos suplementarios basados en una dependencia funcional de esta con otras magnitudes realmente medidas, siendo necesario, a lo sumo, cálculos aritméticos sencillos o el empleo de tablas para efectuar correcciones.

Ej: Medición de una masa en balanzas de cuadrante.

Medición de una temperatura con un termómetro de líquido.

Estas Mediciones consisten en la comparación experimental de la magnitud objeto de medición con el medio de medición empleado para la determinación de la magnitud, o en la lectura de la indicación del medio de medición que da directamente el valor de la magnitud medida.

#### ***Mediciones indirectas:***

Mediciones en que el valor de la cantidad de magnitud a medir se encuentra mediante la dependencia conocida (relaciones funcionales, con o sin constantes físicas) entre esta y otras cantidades de magnitudes halladas directamente unas, o a su vez indirectamente otras; estas últimas, a veces, con ayuda de tablas.

Ej.: Medición de la densidad de un cuerpo basándose en las Mediciones directas de su masa y dimensiones geométricas.

Medición de la resistividad de un conductor basándose en las Mediciones de su resistencia, longitud y el área de su sección transversal.



Entre las Mediciones, tanto directas como indirectas, se **encuentran las absolutas y las relativas**, que esencialmente se diferencian en el modo de expresión de sus resultados.

***Mediciones absolutas:***

Mediciones basadas en la medición directa de una o más cantidades de magnitudes básicas, con el auxilio o no del valor de constantes físicas.

Ej.: Medición de la aceleración de la gravedad basada en la medición del camino recorrido en determinado lapso, por un cuerpo que cae libremente.

***Mediciones relativas:***

Mediciones dadas por la relación existente entre una cantidad de magnitud y otra del mismo tipo que se considera como unidad convencional, o medición de una cantidad de magnitud en relación con otra del mismo tipo ya conocida.

Ej.: Medición de la densidad de un cuerpo relativa a la del agua que se toma, a determinada temperatura, como unidad convencional.

Nota: El resultado de esta medición es solo un número, o sea, es abstracto.

***Mediciones conjuntas:***

Mediciones mediante las cuales los valores de un cierto número de cantidades de magnitudes a medir, de un mismo tipo, se hallan según los resultados de Mediciones directas de diferentes combinaciones de estas cantidades y de la solución del sistema de ecuaciones correspondientes.

Ej.: Medición de la masa de cada una de las piezas de un juego de pesas, cuando se conoce la masa de una de ellas y son conocidos los resultados de las comparaciones entre las masas de diferentes combinaciones posibles de estas.

***Mediciones combinadas:***

Mediciones (directas o indirectas) efectuadas simultáneamente, de dos o varias magnitudes de distinto tipo con el propósito esencial de hallar la dependencia funcional entre ellas.

Ej.: Mediciones mediante las cuales se determinan: la dependencia de la longitud de un cuerpo en relación con la temperatura.

***Mediciones de máxima precisión:***

Mediciones de gran precisión logradas con el estado de la técnica existente.

Ej.: Mediciones relacionadas con la reproducción de patrones de unidades de magnitudes físicas básicas o derivadas.



**Mediciones de calibración y control:**

Mediciones cuyos errores no deben sobrepasar determinados valores dados, según las normas de calibración.

Ej.: Mediciones realizadas en laboratorios estatales y no estatales con el fin de la comprobación del cumplimiento de las normas.

**Mediciones técnicas:** Mediciones en las que el error del resultado queda determinado por las características metroológicas del medio de medición.

Ej.: Mediciones realizadas durante el proceso de producción de las empresas.

**Métodos de Medición:** A todo proceso de medición, es decir, a toda sucesión de operaciones necesarias para la ejecución de una medición, le es inherente un modo de comparación. Este modo de comparación inherente a todo proceso de medición se denomina Método de Medición.

Los métodos de medición más universalmente conocidos son:

**Métodos de comparación:** Método de medición en el que la cantidad de magnitud a medir se compara con una cantidad o cantidades de la misma magnitud, de valor o valores conocidos, o con una cantidad de otra magnitud de valor conocido que es función de la magnitud a medir.

Ej.: La medición de una longitud por medio de una regla. La medición de una masa, por medio de una balanza, con medidas de masa.

**Método de sustitución:** Método de comparación en el que la cantidad de magnitud a medir es sustituida por una cantidad de la misma magnitud con valor conocido, elegida de manera tal que los efectos producidos por ambas sean los mismos.

Ej.: La medición de una masa, por medio de una balanza, con medidas de masa, cuando la masa que se va a medir y las medidas de masa que la sustituyen son situadas en el mismo platillo de la balanza, provocando el mismo estado de equilibrio.

**Método de transposición:** Método de comparación mediante el cual, la cantidad de magnitud a medir se compensa con una cantidad de la misma magnitud con valor conocido, después se intercambian posiciones de ambas en el mecanismo para la medición y se compensan nuevamente, a continuación se determina el valor buscado de acuerdo con los dos valores conocidos de las cantidades de la misma magnitud necesarias para la compensación.



Ej.: El método de Gauss, o de doble pesada, en el cual el valor buscado de la masa de un cuerpo se determina como la media geométrica o aritmética de los resultados de dos pesadas, en las que el cuerpo se sitúa sucesivamente en cada uno de los platillos de una balanza de brazos iguales.

**Método diferencial:**

Método de comparación en el cual, con el auxilio de un instrumento de medición, se determina la diferencia entre la cantidad de magnitud que se mide y una cantidad de la misma magnitud con valor conocido, haciéndose entonces la corrección que corresponda para hallar el valor de la cantidad de magnitud que se mide.

Ej.: La medición de una longitud de una pieza mediante la comparación de esta y una medida planoparalela, con el auxilio de un indicador de esfera.

**Método del cero:** Método en que el efecto de la cantidad de magnitud que se mide sobre el instrumento utilizado para la comparación se compensa por el efecto de una o más cantidades de magnitud de valor o valores conocidos llevándolo al cero, o punto tomado como tal, de su escala.

Ej.: La medición de una resistencia eléctrica mediante un puente de *Wheatstone*.

**Método de coincidencia:** Método de comparación en el cual, el valor de la cantidad de magnitud a medir se determina mediante la coincidencia de trazos de escalas o de señales periódicas.

Ej.: La medición del tiempo por la coincidencia de señales.

**Métodos de valorización inmediata:** Método de medición por el cual el valor de la cantidad de la magnitud a medir se determina de inmediato, según el dispositivo de lectura del instrumento de medición.

Ej.: La medición de una presión mediante un manómetro de indicación.

En lo que respecta a los métodos de medición, es de señalar que estos son empleados en dependencia de la precisión que se requiere en la medición, así como de elementos tales como: medios técnicos disponibles, costo y productividad en la medición, etc.

**Clasificación de los instrumentos de medición**

**Complejidad Constructiva**

- a. Medida Materializada: Instrumento de medida que reproduce o provee de manera permanente durante su uso, magnitudes de una o más naturaleza, cada una con un valor asignado.



- b. Instrumento de medición: Dispositivo usado para hacer mediciones, solo o en conjunto con dispositivos suplementarios. Un solo instrumento de medición puede ser considerado como un sistema de medida, a su vez un instrumento para medir puede ser un instrumento indicador o una medida materializada.
- c. Instalación de medición.
- d. Material de referencia.

### Características de los instrumentos de medición

#### Intervalo Nominal de Indicación.

Conjunto de valores comprendido entre dos indicaciones extremas redondeadas o aproximadas que se obtiene para una posición particular de los controles de un instrumento para medir o un sistema de medida que sirve para designar esta posición.

**Intervalo de Indicación:** Conjunto de valores comprendido entre dos indicaciones extremas.

#### Notas

- Un intervalo de indicación es generalmente expresado indicando el valor más pequeño y el más grande, por ejemplo 99 V a 201 V.
- En ciertos campos el término en inglés es «*range of indications*». En francés el término «*étendue des indications*» se emplea algunas veces.

**Valor Nominal:** Valor redondeado o aproximado de una magnitud característica de un instrumento para medir o de un sistema de medida, que sirve de guía para su utilización apropiada

**Sensibilidad:** Cociente de la variación de la indicación y la variación correspondiente del valor de la magnitud medida

**Resolución (de un dispositivo indicador):** La más pequeña variación de la magnitud medida que produce una variación perceptible de la indicación correspondiente

Nota: La resolución puede depender, por ejemplo, del ruido (interno o externo) o de la fricción. Puede también depender del valor de la magnitud sujeta a medición.

**Deriva:** Variación continua de una indicación que no está ligada a una variación de la magnitud sujeta a medición, ni a una variación de una magnitud de influencia identificada.

**Exactitud:** Proximidad de concordancia entre un valor medido de la magnitud y un valor verdadero del mensurando.

**Clase de exactitud:** Clase de instrumentos para medir que satisfacen exigencias metrológicas determinadas, destinadas a mantener los errores de medida o las incertidumbres instrumentales entre los límites especificados bajo las condiciones de operación especificadas.



## Teoría de Errores

### Elementos de la Teoría de Probabilidades.

La naturaleza aleatoria de los procesos de medición y la importancia técnica y científica de los resultados de ciertas Mediciones, justifican el estudio de algunos procesos de medición empleando la Teoría de Probabilidades (que se ocupa del estudio de las características matemáticas de los modelos para fenómenos aleatorios) y la Estadística Matemática (que se ocupa del contraste de los modelos para fenómenos aleatorios con los datos experimentales acumulados) constituyen las bases para la Teoría de Errores.

Un fenómeno se dice aleatorio si, a pesar de repetirse cuidadosamente las condiciones de su preparación, el resultado no es siempre el mismo. Un buen ejemplo de fenómenos aleatorios lo constituyen los resultados de la medición, cuyas condiciones de preparación quedan determinadas, una vez que han sido especificados los componentes de un sistema de medición por:

1. *El objeto que va a ser sometido a la medición (cuerpo, sustancia, fenómeno físico, estado de un sistema de cuerpos).*
2. *Los medios de medición (instrumentos, medidas materializadas, dispositivos auxiliares, instalaciones que vayan a ser utilizadas).*
3. *El método de medición (modo de empleo de los medios de medición).*
4. *El ambiente en el que va a producirse la medición.*
5. *El observador.*
6. *Los métodos de cálculos.*

En la base de muchos modelos para fenómenos aleatorios se encuentra el concepto *probabilidad*, que puede fundamentarse como sigue:

Para un fenómeno aleatorio dado, están determinados los posibles resultados del mismo. Un suceso es un conjunto de tales resultados (puede ser, por ejemplo, un intervalo de valores, si el fenómeno aleatorio es una medición).

Diremos que un suceso A se produce en el transcurso de una realización del fenómeno aleatorio, si se obtiene en ella alguno de los resultados que componen al suceso A. Si se hacen N repeticiones del fenómeno aleatorio se llama Frecuencia Absoluta del suceso A al número  $N_A$  de veces que se produce el suceso A. Está claro que se cumple  $0 \leq N_A \leq N$ .

Una amplia variedad de fenómenos aleatorios tiene la propiedad siguiente: para cada suceso A, si se hacen grupos de N repeticiones independientes del fenómeno aleatorio, las frecuencias relativas  $N_A/N$  obtenidas (una para cada grupo) son casi siempre próximas entre sí, aumentando la proximidad y disminuyendo las excepciones al aumentar N el tamaño de los grupos considerados. Esta propiedad recibe el nombre de Estabilidad de las Frecuencias Relativas.



Cuando se da todo lo anterior, la probabilidad de un suceso A puede ser descrita como el valor al que cabe esperar que se aproximen indefinidamente las frecuencias relativas  $N_A/N$  cuando se consideran grupos en los que N es muy grande ( $N \rightarrow \infty$ ). La probabilidad de un suceso A la representamos como  $P(A)$ . Como las frecuencias relativas están comprendidas entre 0 y 1, lo mismo ocurre con las probabilidades de los diferentes sucesos.

En Metrología se conoce muy frecuentemente el carácter aleatorio del proceso de medición y se formulan modelos para el mismo. Nos interesa en estos modelos la probabilidad de que el resultado X de la medición esté comprendido entre los valores a y b, es decir,  $P(a \leq X \leq b)$ , para a y b números cualesquiera. Naturalmente, aquí  $a \leq X \leq b$  representa un suceso que ocurre cuando el resultado X de una medición realizada cumple las dos desigualdades  $a \leq X$  y  $X \leq b$ .

En muchos casos de interés para la metrología, se eligen los modelos para la medición en una clase mucho más restringida: se supone que existe  $\mu$  (positivo o negativo) y  $\sigma$  (estrictamente positivo) tales que:

$$P_x = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$



# Errores

## Resultados de la medición

**Error (Absoluto):** Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud a medir.

**Error aleatorio:** Resultado de una medición menos la media que pudiera resultar de un número infinito de mediciones de la misma magnitud a medir llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad.

**Error sistemático:** Media que resultaría de un número infinito de mediciones de la misma magnitud a medir llevadas a cabo bajo condiciones de repetibilidad, menos un valor verdadero de dicha magnitud.

## Errores de los instrumentos de medición

**Error (de indicación):** Indicación de un instrumento de medición menos el valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

**Error intrínseco:** Error de un instrumento de medición determinado bajo condiciones de referencia.

**Errores máximos permisibles:** Valores extremos del error permisible por especificaciones, regulaciones, etc. para un instrumento de medición dado.

## Clase de exactitud en instrumentos de medición

### Recomendación 34

Esta recomendación expone los principios para la clasificación de instrumentos de medición según su exactitud.

Los instrumentos de medición a los cuales esta recomendación se aplica son:

1. Las medidas materializadas.
2. Los instrumentos de medida.
3. Los transductores de medida.

Si los instrumentos se destinan a ser utilizados en las condiciones tales que, los errores debido a la inercia son despreciables en relación a sus errores máximos permisibles.



### **Modos de Normalización de los Errores Máximos.**

**Los errores máximos pueden ser expresados como:**

1. Errores Absolutos.
2. Errores Reducidos Convencionales.
3. Errores Relativos.

Los errores máximos de instrumentos de medición se expresan bajo la forma de errores absolutos (es decir, en las unidades de la magnitud que se medirá o en los intervalos de la escala de los instrumentos). Los errores máximos de instrumentos de medición se expresan bajo la forma de errores reducidos convencional (es decir, como porcentaje de un valor convencional.)

Los errores máximos de instrumentos de medición son expresados en forma errores de relativos (es decir, en porcentaje del valor de la magnitud medida).

### **Desempeño de los instrumentos de medición.**

En la norma venezolana de Exactitud (Veracidad y Precisión) de métodos de medición y Resultados (COVENIN 2972-1:1996), esta norma utiliza dos términos, “veracidad” y “precisión”, para describir la exactitud de un método de medición. La exactitud la definimos como: proximidad de concordancia entre un valor medido de la magnitud y un valor verdadero del mensurando,

Veracidad se refiere a cuán cerca se encuentra la media aritmética de un gran número de resultados de ensayos y el valor verdadero o el valor de referencia aceptado. La veracidad del método de medición puede determinarse comparando el valor de referencia aceptado con el nivel de los resultados dados por un método de medición. La veracidad se expresa a través del sesgo. El sesgo (diferencia entre la esperanza matemática de los resultados de ensayo y el valor de referencia aceptado) aparece en un análisis químico, por ejemplo, si el método de medición deja de extraer la totalidad de un elemento, o si la presencia de un elemento interfiere con la determinación de otro elemento.

Precisión se refiere a la proximidad de la concordancia entre los diferentes resultados de un ensayo. Para describir la variabilidad de un método de medición, ha sido necesario usar dos condiciones específicas de precisión: condiciones de repetibilidad y de reproducibilidad, es decir la encontramos a partir de la desviación estándar.



## Tratamiento de Errores de los Medios de Medición Digitales

### Tratamiento de errores de los medios de medición digitales

Durante los últimos años se ha extendido considerablemente el uso de los instrumentos de medición con indicación digital, los cuales por su mayor precisión y facilidad de lectura, han ganado rápidamente la aceptación de todo el personal técnico que los utiliza.

En la documentación técnica que acompaña a estos medios, aparece, además de sus características y principios de operación, el error máximo permisible que admite el instrumento, el cual viene dado en la mayoría de los casos por una fórmula similar a la siguiente:

$$\pm (X \% \text{ del valor máximo del intervalo de medición utilizado} + Y\% \text{ del valor leído} \pm Z \text{ dígitos})$$

Esta forma de expresar el error máximo permisible del instrumento difiere de la que habitualmente se utiliza en los instrumentos de medición con indicación analógica y es por este motivo que se hace necesario calcular el error absoluto máximo permisible para cada valor que se mida, cuando se requiere comprobar si el instrumento está dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.

### Diferencia entre Instrumentos Analógicos y Digitales

En los instrumentos de medición con indicación analógica generalmente el error máximo permisible está expresado como un por ciento del valor máximo del intervalo de medición que se esté utilizando. Por ejemplo, si el voltímetro es de clase 0,5 y su intervalo de medición es de 0 a 100 V, el error máximo permisible de cualquier medición realizada en este intervalo es de:

$$\pm 0,5 \% \text{ de } 100 \text{ V} = \pm 0,5 \text{ V}$$

Es decir, que el valor de cualquier medición realizada en ese intervalo puede diferir del valor real en  $\pm 0,5 \text{ V}$  y el voltímetro estará dentro de su clase si no sobrepasa este valor.



En los instrumentos de medición con indicación digital el error absoluto máximo permisible no puede ser calculado de una forma general y tiene que ser determinado para cada uno de los valores leídos, si se desea comprobar que el error en esa medición está dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.

Esto se debe a que el valor del error absoluto máximo permisible, está formado por la suma de los valores relativos aplicados a distinta base y que son:

- a. Un valor constante dentro del intervalo de medición, que está formado por:  
 $\pm (X \% \text{ del valor máximo del intervalo de medición utilizado } \pm Z \text{ dígitos})$ .
- b.- Un valor que depende de la lectura realizada:  $\pm (Y \% \text{ de la lectura})$ .

Si en un instrumento con indicación digital se calcula el error absoluto máximo permisible para todos los valores del intervalo de medición, como si fuera el correspondiente al valor máximo del intervalo, se estaría cometiendo un error que variaría lo establecido por el fabricante para los valores inferiores de dicho intervalo.

#### **Cálculo del Error Máximo Permisible en un Instrumento con Indicador Digital**

Al realizar el cálculo del error máximo permisible, es necesario tomar en consideración lo siguiente:

- a. El error absoluto máximo permisible es distinto para cada lectura y por lo tanto se calculará para cada valor que se quiera comprobar.
- b. Es imprescindible conocer el valor máximo del intervalo de medición en que se ha realizado la lectura. Si el instrumento posee una selección automática del intervalo de medición más conveniente, deberán tenerse en cuenta los valores estipulados para los mismos en la documentación técnica del fabricante.

El valor del error introducido por el término  $\pm Z$  dígitos (el cual se refiere al de menor valor significativo, al último dígito de la derecha) dependerá del intervalo de medición y de la indicación del Display. Véase como ejemplo la tabla siguiente:



**Tabla 4.** Ejemplo de Error máximo permisible en un instrumento digital

| <b>Valor Máximo del Intervalo de Medición</b> | <b>200 mV</b> | <b>200 V</b> | <b>2 V</b> | <b>2 V</b> | <b>200 V</b> |
|---|---------------|--------------|------------|------------|--------------|
| Lectura                                       | 100           | 100,0        | 1,000      | 2,000      | 2            |
| Valor del último dígito                       | 1 mV          | 0,1 mV       | 1 mV       | 1 mV       | 1 V          |
| % con relación a la lectura                   | 1,0           | 0,1          | 0,1        | 0,05       | 50,0         |



## Calibración

Calibración, de acuerdo con el vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología (VIM V002:2007), se define como la Operación que bajo condiciones especificadas, en una primera etapa establece una relación entre los **valores de la magnitud** y sus **incertidumbres de medida** obtenidos de los **patrones de medida** y las correspondientes **indicaciones** con sus incertidumbres asociadas, y, en una segunda etapa, usa esta información para establecer una relación que permita obtener un **resultado de medición** a partir de una indicación

Asegurando así la trazabilidad de las medidas a las correspondientes unidades básicas del Sistema Internacional (SI) y procediendo a ajuste o expresando esta correspondencia por medio de tablas o curvas de corrección.

De esta definición se deduce que para calibrar un instrumento o patrón es necesario disponer de uno de mayor exactitud que proporcione *el valor convencionalmente verdadero* que es el que se empleará para compararlo con la indicación del instrumento sometido a calibración. Esto se realiza mediante una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones hasta llegar al patrón, y que constituye lo que se conoce como trazabilidad.

La calibración puede implicar simplemente la determinación de la desviación en relación de un valor nominal de un elemento patrón, o bien incluir la corrección (ajuste) para minimizar los errores.

### ¿Para qué calibrar?

El envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan los equipos deteriora poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y las medidas comienzan a perder confianza y se resienten tanto el diseño como la calidad del producto. Esta realidad no puede ser eludida, pero sí detectada y limitada, por medio del proceso de calibración. La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas.

Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:

- Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos
- Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad
- Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

La calibración de un instrumento permite determinar su incertidumbre, valor fundamental, dentro de un sistema de calidad, para la agrupación de los instrumentos en categorías



metrológicas para su posterior utilización. El resultado de una calibración se expresa en un certificado de calibración.

Ejemplo: Un manómetro está leyendo un pascal (Pa), o bien, un termómetro está leyendo un grado Celsius (°C). ¿Cómo saber si la presión es realmente un pascal o que la temperatura es realmente un grado Celsius?,

La única forma para saber si la lectura es correcta, es si el instrumento esta calibrado, con un patrón de referencia reconocido, y que este patrón sea trazable a patrones nacionales o internacionales.

El costo de tener mediciones que no concuerden con los parámetros exigidos por el proceso puede generar perdidas. La calibración y trazabilidad son cruciales para las empresas, principalmente en las actividades de producción, desarrollo e investigación, veamos algunas de las razones:

- Repetibilidad del proceso
- Transferencia de procesos
- Intercambio de instrumentos
- Incremento del tiempo efectivo de producción
- Cumplimiento del sistema de calidad

### **Repetibilidad del Proceso.**

La calibración de los instrumentos se puede ver alterada por muchas cosas, incluyendo inicialización inadecuada por configuración o instalación inapropiada, contaminación, daños físicos, o deriva en el tiempo. Algunas veces este cambio en la calibración provoca cambios en la calidad del producto o servicio. Estos cambios en la calidad pueden ser advertidos mediante rutinas de calibración de los instrumentos, protegiendo así la repetibilidad de su proceso.

### **Transferencia de Procesos.**

Transferir un proceso desde el departamento de desarrollo o de ingeniería al piso de producción; entre máquinas de producción o de un laboratorio de investigación a otro, puede ser una tarea difícil. Debido a esto es crítico calibrar. Variaciones en las mediciones debido a la diferencia en la calibración de instrumentos pueden afectar seriamente la calidad y la integridad del proceso.

Por ejemplo, una medición de presión en una máquina en desarrollo, la cual es repetible día con día produciendo el resultado deseado, puede tener errores debidos, a una calibración incorrecta. Repetir el proceso en producción llega a ser un problema dado que la presión que se desea reproducir es desconocida.



La capacidad de transferencia es también importante cuando se va de un sistema de producción al siguiente. Un proceso puede trabajar muy bien en una máquina de producción, pero reproducir esto en otra máquina puede ser difícil.

Si se está realizando investigación, los resultados podrán ser fácilmente duplicados o verificados si el proceso de medición ha sido calibrado y trazable a patrones de mayor exactitud.

### **Intercambio de Instrumentos.**

La habilidad para actualizar o reemplazar un instrumento dentro de una línea de producción sin afectar el proceso es esencial. Algunas veces los instrumentos llegan a dañarse y deben ser reemplazados. Igualmente es importante actualizar la instrumentación a medida que nuevas tecnologías son desarrolladas, para mantenerse competitivo.

Mantener la calibración de los instrumentos asegura la posibilidad de reemplazar los instrumentos, por falla o actualización tecnológica, sin afectar el tiempo de operación del proceso.

### **Incremento del Tiempo Efectivo de Producción.**

Un proceso puede ser interrumpido por cualquier cantidad de razones, algunas de las cuales están fuera de control. Asegurando la calibración de sus instrumentos, se puede minimizar el error de los instrumentos como causa de paro.

Un programa de calibración no solo incrementará los tiempos efectivos de producción mediante la predicción y la prevención, además permitirá descubrir problemas de instrumentación antes de que causen una falla completa. Descubrir problemas potenciales con anterioridad en el proceso permitirá evitar una situación crítica cuando un instrumento repentinamente falle parando la producción.

### **Cumplimiento del Sistema de Calidad.**

Muchas empresas buscan la certificación ISO 9000, la cual demanda la documentación del proceso, y dado que los parámetros instrumentales del proceso son aspectos críticos de la documentación, es crucial asegurar que estos parámetros son correctos y trazables.

- ISO 9000 Requerimientos del Sistema de Calidad
- 7.6 Control de Equipos de Monitoreo y Medición
- Los instrumentos de monitoreo y medición deberán “ser calibrados o verificados a intervalos especificados o antes de su uso; contra equipo trazables a patrones de medición nacionales o internacionales...”



Los servicios de calibración, trazables a patrones nacionales, son la única manera para asegurar que las mediciones requeridas en el proceso son correctas, documentadas y en cumplimiento con las normas y recomendaciones nacionales e internacionales del sistema de calidad.

### ¿Quién debe realizar la calibración de los instrumentos?

La selección de un proveedor de servicios de calibración es tan importante como la calibración misma, un laboratorio de metrología confiable, debe de contar con los siguientes requisitos:

- Sistema de calidad basado en la norma ISO/IEC 17025 (requisitos para laboratorios de calibración y prueba).
- Patrones de referencia de alta exactitud, trazables a patrones nacionales e internacionales.
- Procedimientos de calibración basados en normas y recomendaciones nacionales e internacionales.
- Instalaciones con condiciones ambientales controladas que aseguren la reproducibilidad de los servicios.
- Personal altamente especializado en metrología e instrumentación, dispuesto a resolver sus problemas referentes a calibración.

### Certificado de Calibración

Documento que presenta la relación, bajo condiciones específicas, entre las lecturas de un instrumento y los valores indicados por un patrón de acuerdo con un conjunto de operaciones o tareas especificadas.

### ¿Que debe contener un certificado de calibración? Según la ISO-IEC-17025.

1. Un título. Ejemplo certificado de calibración.
2. El nombre y la dirección del laboratorio y el lugar donde se realizaron los ensayos o las calibraciones, si fuera diferente de la dirección del laboratorio.
3. Un identificación única del informe de ensayo o del certificado (tal como el número de serie)
4. El nombre y la dirección del cliente.
5. Identificación del método utilizado.
6. Una descripción, la condición y una identificación no ambigua del o de los ítems ensayados o calibrados.
7. La fecha de recepción del o de los ítems sometidos al ensayo o a la calibración.



8. Una referencia al plan y a los procedimientos de muestreo utilizado por el laboratorio u otros organismos.
9. Los resultados de los ensayos o las calibraciones con sus unidades de medida, cuando corresponda.
10. El o los nombres funciones y firmas o una identificación equivalente de la o las personas que autorizan el informe de ensayo o el certificado de calibración.
11. Cuando corresponda, una declaración de que los resultados sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Aun cuando un certificado de calibración no incluye obligatoriamente la verificación del cumplimiento con un requisito, frecuentemente los emisores incluyen resultados de verificación con respecto a normas, reglamentos o especificaciones. Debe notarse que tales requisitos pueden ser establecidos por el propio usuario del instrumento y por lo tanto el laboratorio de calibración no dispone generalmente de tal información.

## Incertidumbre

La incertidumbre del resultado de una medición refleja el estado del exacto conocimiento del valor del mesurando. De acuerdo al *VIM V002:2007* parámetro que caracteriza la dispersión de los **valores** atribuidos a un **mensurando**, con base en la información usada.

El resultado de una medición después de corregir todos los efectos sistemáticos conocidos es todavía un estimado del valor del mesurando. Esto es así, debido a la incertidumbre proveniente de los efectos aleatorios y de la corrección imperfecta de los efectos aleatorios en el resultado.

En la práctica existen muchas fuentes posibles de incertidumbre de una medición, entre ellas podemos mencionar:

- Definición incompleta del mesurando
- Realización imperfecta de la definición del mesurando
- Muestreos no representativos
- Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones o medición inadecuada de dichas condiciones ambientales
- Errores de apreciación del operador en la lectura de instrumentos analógicos
- Resolución finita del instrumento o umbral de discriminación finito
- Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y usados en algoritmos de reducción de datos



- Aproximaciones y suposiciones incorporadas en los métodos y procedimientos de medición
- Variaciones en observaciones repetidas del mesurando bajo condiciones aparentemente iguales.

Estas fuentes de incertidumbre no son necesariamente independientes, y algunas de las fuentes pueden contribuir en conjunto a otra. Es de hacer notar que un efecto sistemático no reconocido no puede ser tomado en cuenta en la evaluación de la incertidumbre del resultado de una medición pero contribuye de manera significativa a su error.

### Estimación de la Incertidumbre

#### Evaluación tipo A de la Incertidumbre Estándar

La evaluación de tipo A de la incertidumbre, es el método de evaluación basado en el análisis estadístico de una serie de observaciones

$$u_i = S_{\bar{X}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

#### Evaluación tipo B de la Incertidumbre Estándar

Para cualquier magnitud de la cual se tenga un estimado, que no se haya obtenido de repetidas observaciones, entonces la incertidumbre es evaluada mediante consideraciones usando toda la información relevante disponible. La ponderación de la información puede incluir: datos previos de la medición, experiencia o conocimiento general del comportamiento y propiedades de materiales relevantes e instrumentos de medición, especificaciones del fabricante, datos proporcionados por certificados de calibración u otros e incertidumbres asignadas a datos de referencia tomados de manuales.

Para una distribución rectangular

$$u_j = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

### **Incertidumbre Estándar combinada**

La incertidumbre estándar combinada es una desviación estándar estimada que caracteriza la dispersión de los valores de los datos de medición que puede ser razonablemente atribuida a la magnitud a medir (mesurando).

La incertidumbre estándar combinada del resultado de una medición se toma para representar la desviación estándar estimada del resultado. Se obtiene combinando las incertidumbres provenientes de las evaluaciones tipo A y tipo B de la incertidumbre estándar.

Es importante resaltar que la incertidumbre estándar de una corrección estimada aplicada al resultado de una medición para compensar un efecto sistemático, no es el error sistemático en el resultado de la medición. En cambio, éste es una medida de la incertidumbre del resultado debido al conocimiento incompleto del valor de la corrección: los términos error e incertidumbre no deben confundirse.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(X_i) \quad (4)$$

### **Incertidumbre Expandida**

La medida adicional de la incertidumbre que toma en cuenta los requerimientos de proveer un intervalo y un nivel de confianza, se denomina **incertidumbre expandida** y se denota con la letra “U”. La incertidumbre expandida se obtiene de multiplicar la incertidumbre estándar combinada  $u_c(y)$  por un factor de cobertura k:

$$U = k u_c(y)$$



## Definiciones Adicionales del Vocabulario Internacional de Metrología

### **Repetibilidad de las Medidas:**

Concordancia entre los resultados de Mediciones sucesivas efectuadas de forma que se cumplan la totalidad de las siguientes condiciones: en mismo método de medida, el mismo observador, el mismo instrumento de medida, el mismo lugar, las mismas condiciones de uso y repetición sobre un corto periodo de tiempo. Según el VIM V002:2007 se define como la precisión de una medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad de medición

### **Reproducibilidad de las Mediciones:**

Concordancia entre los resultados de las Mediciones del mismo, cuando estas individualmente son efectuadas haciendo variar las condiciones, tales como: método de medida, observador, medio de medición, lugar, condiciones de uso, tiempo. Según el VIM V002:2007 se define como precisión de una medida bajo condiciones de reproducibilidad de medición

### **Ajuste:**

Operación destinada a llevar a un medio de medición a un funcionamiento y una justeza conveniente para el uso.

### **Resolución:**

La más pequeña variación de la magnitud medida que produce una variación perceptible de la indicación correspondiente.

### **Histéresis:**

Propiedad de un medio de medición en el cual la respuesta a una señal de entrada dada depende de la secuencia de las señales de entrada precedentes.

### **Trazabilidad Metrológica:**

Propiedad de un resultado de medición por la cual el resultado puede ser relacionado a una referencia establecida mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.



## Preguntas y Ejercicios

1. ¿Qué se entiende por cantidad de magnitud física?
2. ¿Qué clase de magnitudes constituyen todo sistema de unidades de magnitudes? Defínalas y ponga ejemplos de las mismas.
3. ¿Qué significa redondear un número?
4. ¿Qué es cifra fidedigna?
5. Escriba literalmente las unidades de las siguientes cantidades
  - 23 km
  - 4,5 V
  - 0,7 kg/m
  - 2 km/h
  - 1,9 mm
  - 0,4 m/s
6. Exprese los casos en que el cero se considera como significativo. Ponga ejemplos.
7. ¿Qué es cifra verdadera?
8. Redondee el número 6,374 3 primeros hasta la milésima, después hasta la centésima.
9. Redondee el número 3,286 9 primeros hasta la milésima, después hasta la centésima y a continuación hasta la décima.



10. ¿Cómo se redondean hasta la décima los siguientes números? 5,250 03 9,950 1
11. Defina lo que se entiende por medición.
12. ¿Cómo se clasifican las Mediciones?
13. Diga qué tipo de Mediciones son las siguientes:
  - Medición de la resistividad de un conductor, basándose en las Mediciones de su resistencia, de su longitud y del área de su sección transversal.
  - Mediciones del volumen mediante una probeta graduada.
  - Mediciones con las cuales se determina la dependencia de la longitud de un cuerpo con la temperatura.
14. ¿Qué es una medida materializada?
15. ¿Qué es un medio de medición patrón?
16. Señale los tipos de patrones que Ud. conoce.
17. Dados los siguientes medios de medición. Construya la cadena de patrones.
  - Puente de Resistencias, de clase 0,1%
  - Resistencias Patrones, de clase 0,03 %
  - Década de Resistencias, de clase 1%
  - Ohmímetro, de clase 2%
  - Década de Resistencias, de clase 5%



18. Dadas las siguientes medidas experimentales, para un medio de medición cuya clase de exactitud es de  $\pm 1\%$  lectura. Determine si se encuentra dentro de su clase de exactitud.

$$E_a = L_i - L_p$$

Donde:  $E_a$  = error absoluto

$L_i$  = lectura instrumento

$L_p$  = lectura patrón

| <b><math>L_i</math> (V)</b> | <b><math>L_p</math> (V)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 10,1                        | 10,15                       |
| 20,4                        | 20,42                       |
| 30,2                        | 30,18                       |
| 40,1                        | 40,15                       |
| 50,0                        | 50,01                       |
| 60,7                        | 60,66                       |
| 80,9                        | 80,80                       |
| 90,1                        | 90,18                       |



# Bibliografía

1. Vocabulario Internacional de Términos en Metrología V002:2007.
2. COVENIN 3631:2000 (OIML PL17:1995) *“Guía para la expresión de la incertidumbre en la Mediciones”*.
3. ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
4. COVENIN 2972-1:1996. Norma Venezolana Exactitud (Veracidad y Precisión) de Métodos de Medición y Resultados.