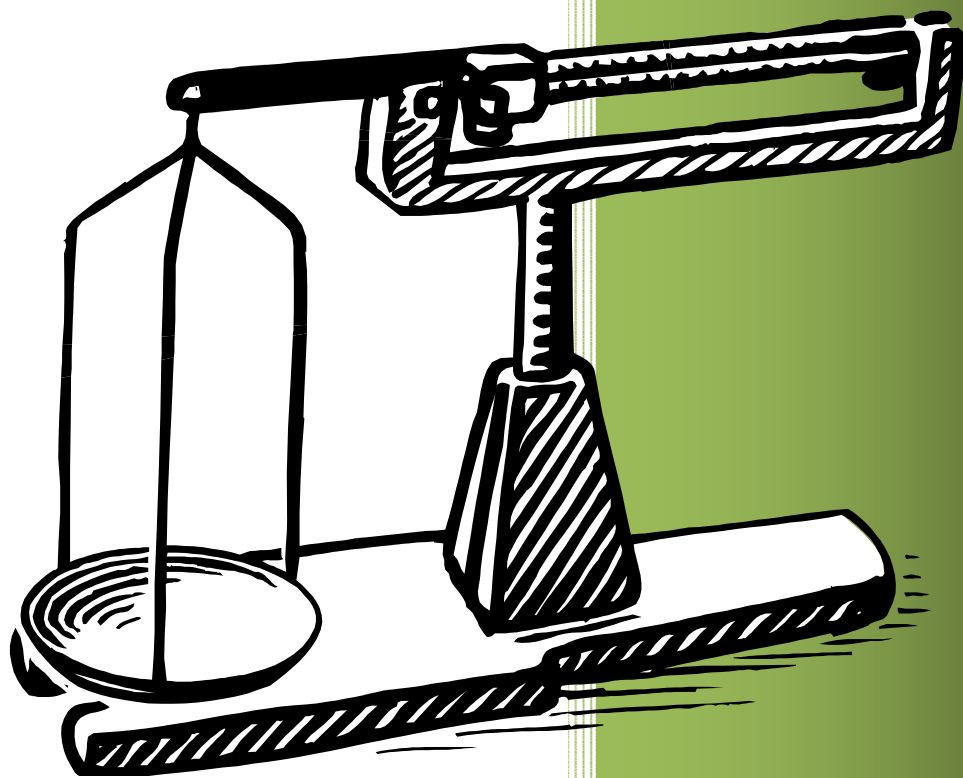


METROLOGÍA BÁSICA DE MASA



M^a. Elizabeth Salazar B.

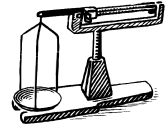
UNEXPO-LCM

01 de enero de 2009



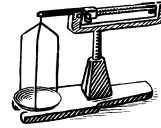
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
INTRODUCCIÓN.....	5
Capitulo 1. BREVE HISTORIA DE LA METROLOGÍA	6
Capitulo 2. CONCEPTOS GENERALES	10
Masa gravitacional:	13
Equivalencia de la masa inercial y la masa gravitatoria:	14
Consecuencias de la relatividad en la masa:	14
Masa Convencional:	16
Capitulo 3. CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS PARA PESAR.....	22
Capitulo 4. CARACTERISTICAS Y TECNICAS METROLOGICAS DE	25
LOS INSTRUMENTOS PARA PESAR	25
Capitulo 5. METODOS DE MEDICIÓN DE MASA.....	33
Capitulo 6. BALANZA.....	39
Capitulo 6. MEDIDAS DE MASA.....	40
Capitulo 7. ¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE LA METROLOGÍA PARA LA SOCIEDAD?	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

Metrología básica de masa
DEDICATORIA



A mi hermanito Eliazar J. Salazar B. por enseñarme a caer.

AGRADECIMIENTOS

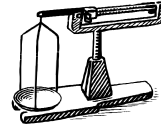


Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por apoyarme en el desarrollo de mis actividades académicas incluyendo la realización de este libro.

A mi hermano Eliazar Salazar por ser mi gran fuente de inspiración.

También deseo expresar mi gratitud al ingeniero y especialista metrológico Elias Salazar, que me oriento acerca de las fuentes de información para desarrollar mi investigación.

Hago asimismo extensivo mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que publican información de forma libre en la web.



INTRODUCCIÓN

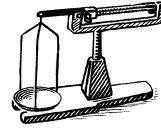
La percepción inicial de metrología deriva de su etimología: del griego metros medida y logos tratado. Concepto que debe ser casi tan antiguo como el ser humano: "tengo nada", "tengo algo", "tengo mucho"; expresiones que reflejan una comparación muy primitiva pero que perdura en la raza humana bajo muchos aspectos, al punto que actualmente podemos decir que metrología es la ciencia de las mediciones y que medir es comparar con algo (unidad) que se toma como base de comparación.

Las ocasiones de medir las tuvo el humano primitivo con las nociones de: cerca-lejos, rápido-lento, liviano-pesado, claro-oscuro, duro-suave, frío-caliente, silencio-ruido. Originalmente estas percepciones fueron individuales pero con el correr de las experiencias y la vida en común surgieron las comparaciones entre las personas y en el transcurso de los milenios se han desarrollado bases de comparación generalmente aceptadas.

Con esos antecedentes y después de una buena cantidad de milenios, es fácil pensar en las bases para comparar las apreciaciones personales dicho en buena lengua romance: en las medidas y sus unidades.

A menudo es necesario referirse a otras unidades de medida que, por hacer uso o basarse en las anteriores, se denominan derivadas. Es decir que, con el empleo de algoritmos matemáticos, se expresa una unidad de medida para un fin que no está cubierto por las de base.

Penetrar en el mundo de las unidades que utilizan la combinación de una o más unidades fundamentales es navegar en un mundo de algoritmos científicos útiles para propósitos definidos. Las unidades derivadas son las más numerosas.



Capítulo 1. BREVE HISTORIA DE LA METROLOGÍA

Desde sus primeras manifestaciones, normalmente incluida dentro de la antropología general, pasando por la arquitectura y la agrimensura, hasta las transacciones comerciales, la propiedad de la tierra y el derecho a percibir rentas, donde rápidamente se encuentra el rastro de alguna operación de medida, la metrología, al igual que hoy, ha formado parte de la vida diaria de los pueblos.

Antes del Sistema Métrico Decimal, los humanos no tenían más remedio que echar mano de lo que llevaban encima, su propio cuerpo, para contabilizar e intercambiar productos. Así aparece el pie, casi siempre apoyado sobre la tierra, como unidad de medida útil para medir pequeñas parcelas, del orden de la cantidad de suelo que uno necesita, por ejemplo, para hacerse una choza. Aparece el codo, útil para medir piezas de tela u otros objetos que se pueden colocar a la altura del brazo, en un mostrador o similar. Aparece el paso, útil para medir terrenos más grandes, caminando por las lindes. Para medidas más pequeñas, de objetos delicados, aparece la palma y, para menores longitudes, el dedo.

Pero hay un dedo más grueso que los demás, el pulgar, el cual puede incluirse en el anterior sistema haciendo que valga $\frac{4}{3}$ de dedo normal. Con ello, el pie puede dividirse por 3 o por 4 según convenga. Y dividiendo la pulgada en 12 partes, se tiene la línea para medidas muy pequeñas.

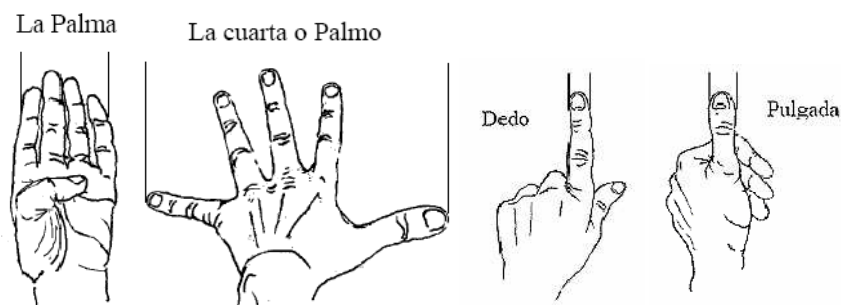


Figura nº1: Palma, cuarta, dedo y pulgada.

Al necesitarse una correspondencia entre unas unidades y otras, aparecen las primeras equivalencias: una palma tiene cuatro dedos; un



pie tiene cuatro palmas; un codo ordinario tiene un pie y medio, esto es, 6 palmas; y si a ese codo se le añade un pie más, tenemos el grado o medio paso que es igual, por tanto, a un codo más un pie, o dos pies y medio, o diez palmas; y por fin el paso que es la distancia entre dos apoyos del mismo pie al caminar. Así que una vez decidido cuánto mide un pie, o un codo, todas las demás medidas se obtienen a partir de él, con lo cual puede hacerse un primer esbozo de un sistema antropométrico coherente, como el que muestra la tabla nº1.

Tabla nº1: Unidades antropométricas.

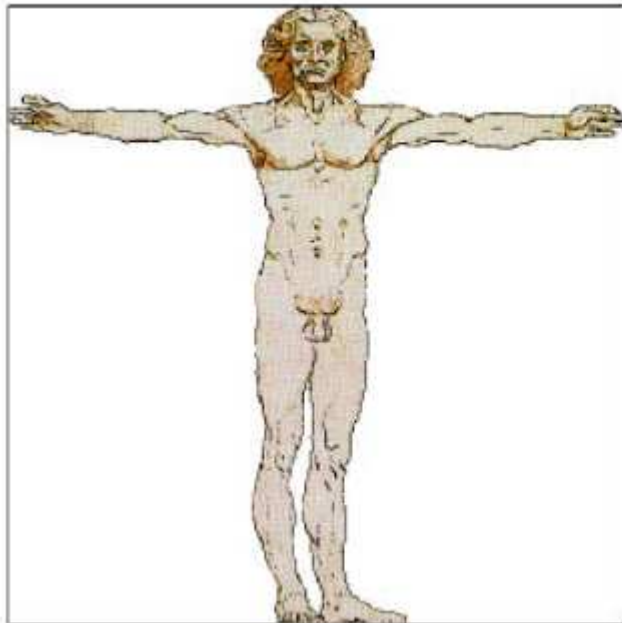
	Dedo	Pulgada	Palma	Pie	Codo	Vara
Línea	1/9	1/12				
Grano	1/4	3/16				
Dedo		3/4				
Pulgada	4/3			1/12		
Palma	4	3		1/4		
Cuarta o palmo	12		3	3/4		1/4
Pie	16	12	4			
Codo	24		6	1,5		
Grado	40		10	2,5	5/3	
Vara	48		12	3	2	
Paso	80		20	5	10/3	
Braza	96		24	6	4	

Cada una de estas medidas, además, se corresponde con un gesto humano característico. Así, la braza es la altura del cuerpo humano, pero se forma al poner los brazos en cruz con las puntas de los dedos estiradas; y la vara, al doblar los brazos, es lo que mide el hombre de codo a codo.

Hasta el Renacimiento, la mayor parte de la información existente sobre metrología se refiere a su aplicación en las transacciones comerciales y en las exacciones de impuestos. Solo a partir del Renacimiento se hace visible la distinción entre metrología científica y otras actividades metrológicas, que podríamos denominar “de aplicación”.



La braza



La vara

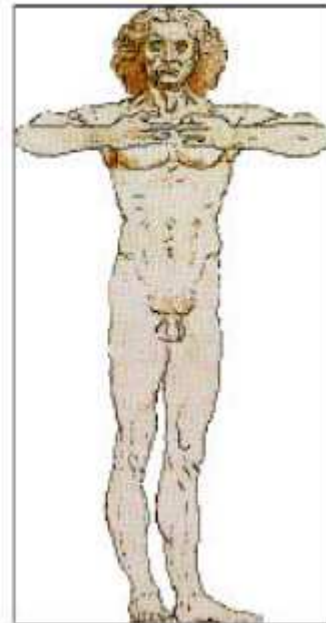


Figura nº2: La braza y la vara.

Una regla general observada a lo largo de la historia es que cuanto más barato es un género, más de prisa se hace su medición y con menor precisión. Hoy día diríamos que tanto la técnica de medición como el instrumento deben adaptarse a la tolerancia de medida que deseamos comprobar y que, en efecto, mayores tolerancias permiten una medición más rápida y menos cuidada.

Un hecho que parece claro es el de la aceptación del nacimiento de la ciencia, entendida en el mismo sentido que hoy día, en la ciudad griega de Mileto, en el siglo VI a.C. y, posteriormente, en la Alejandría de los Ptolomeos, hacia el año 250 a.C., nacida de una necesidad puramente práctica. La medición de largas distancias, basándose en la semejanza de triángulos, según Tales, ha permitido el levantamiento de planos por triangulación hasta nuestros días.

Son innumerables los ejemplos de la aportación griega a la historia del pensamiento científico y de la metrología en particular, no solo debidos a ellos mismos sino al rescate de conocimientos anteriores derivados de los egipcios, haciendo inteligible lo que hasta entonces era confuso. Puede decirse que los Griegos realizaron el estudio sistemático



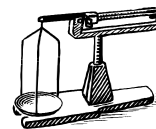
de lo conocido hasta entonces, estableciendo un nuevo espíritu que se mantendría posteriormente con Pericles, Alejandro Magno, Roma, etc. hasta nuestros días, pasando por nuevos impulsos, más recientes, obtenidos sucesivamente en dos épocas claves, el Renacimiento y la Revolución Francesa, las cuales destacan curiosamente por haberse producido en ellas un nuevo acercamiento al “espíritu” griego. Puede sacarse la conclusión, no errónea, de que las épocas de avance de la ciencia coinciden con una vuelta al espíritu griego o helenístico; es decir, a esa forma única de entender el pensamiento y el método para progresar en los estudios.

Antes del Renacimiento, el Imperio Bizantino jugó también un papel importante, por ser su metrología el germen de los módulos árabes posteriores. Todos los módulos empleados por Bizancio derivan de los griegos y de las aportaciones romanas posteriores, éstas “helenizadas”, conduciendo a nombres griegos en su totalidad.

La Ciencia, entendida como tal, llegó al Islam con la dinastía de los Omeyyas, que en el año 661 trasladaron su capital a Damasco, tras haber estado afincados en Siria y haber vivido “helenizados”. De nuevo, el espíritu “helenizador” fue la correa de transmisión de la Cultura. En el año 827, el califa Al-Ma'mun ordenó volver a medir el grado de meridiano, tratando de cotejar el cálculo efectuado en su tiempo por Ptolomeo.

El primer erudito que estudió la metrología árabe parece que fue Sylvestre de Sacy, el cual efectuó la traducción del tratado metrológico de Makrizi. Este tratado es una recopilación del sistema de medidas y monetario empleado por los árabes. En las obras de Ruiz-Castillo y Sánchez Pérez figura una relación importantísima de instrumentos científicos, en su mayoría astronómicos, desarrollados en este periodo.

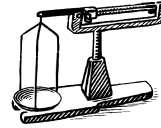
Posteriormente, entre el final del siglo XV y el XVIII, se consiguieron importantes avances en la astronomía, la geodesia y la medida del tiempo. La aparición de nuevas ideas marca para siempre el devenir de la ciencia en los países desarrollados. La metrología acompaña y precede en muchos casos a los avances científicos. Todo



esto tiene lugar cuando se establece con firmeza la superioridad del método experimental frente a la especulación. A partir de esta idea, los científicos exigen ya instrumentos cada vez más perfectos, pudiendo ser considerados como metrólogos aquellos que fueron capaces de construirlos por sí mismos.

Considerando en este largo periodo figuras como Copérnico, Johann Müller (Regiomontano), Bernard Walther, Peurbach, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo, etc., se comprende que ya estamos hablando de otro nivel de conocimientos y de filosofía subyacente en la aproximación a la ciencia. Aquí, el espíritu del Renacimiento (de nuevo vuelta al espíritu “griego”) se manifiesta en su vigor pleno. Aunque todos los descubrimientos e innovaciones tienen más importancia en campos como la astronomía y la geodesia, también en la metrología aparece, a cargo de Galileo, una clara e importante distinción entre propiedades mensurables y no mensurables de la materia.

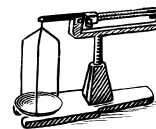
Esta pléyade de científicos citados continuaría con nombres como Descartes, Colbert, Picard, Cassini, Huyghens, Newton, pero lo que todos ellos lograron para el progreso de la ciencia escapa desgraciadamente a este breve resumen.



Capítulo 2. CONCEPTOS GENERALES

La masa, en física, es la magnitud que cuantifica la cantidad de materia de un cuerpo. La unidad de masa, en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo (kg). El concepto de masa surge de la confluencia de dos leyes: la *ley gravitación universal de Newton* y la *segunda ley de Newton*. Según la *ley de gravitación de Newton*, la atracción entre dos cuerpos es proporcional al producto de dos constantes, denominadas masa gravitacional, siendo así la masa gravitatoria una propiedad de la materia en virtud de la cual dos cuerpos se atraen; por la *segunda ley* de Newton, la fuerza aplicada sobre un cuerpo es directamente proporcional a la aceleración que experimenta, denominándose a la constante de proporcionalidad: masa inercial del cuerpo.

No es obvio que la masa inercial y la masa gravitatoria coincidan. Sin embargo todos los experimentos muestran que sí. Para la física clásica esta identidad era accidental. Ya Newton, para quien peso e inercia eran propiedades independientes de la materia, propuso que ambas cualidades son proporcionales a la cantidad de materia, a la cual denominó "masa". Sin embargo, para Einstein, la coincidencia de masa inercial y masa gravitacional fue un dato crucial y uno de los puntos de partida para su *teoría de la relatividad* y, por tanto, para poder comprender mejor el comportamiento de la naturaleza. Según Einstein, esa identidad significa que: "la misma cualidad de un cuerpo se manifiesta, de acuerdo con las circunstancias, como inercia o como peso". Esto llevó a Einstein a enunciar el Principio de equivalencia: "las leyes de la naturaleza deben expresarse de modo que sea imposible distinguir entre un campo gravitatorio uniforme y un sistema referencial acelerado." Así pues, "masa inercial" y "masa gravitatoria" son indistinguibles y, consecuentemente, cabe un único concepto de "masa" como sinónimo de "cantidad de materia", según formuló Newton.



En palabras de D. M. McMaster: “la masa es la expresión de la cantidad de materia de un cuerpo, revelada por su peso, o por la cantidad de fuerza necesaria para producir en un cuerpo cierta cantidad de movimiento en un tiempo dado.”

En la física clásica, la masa es una constante de un cuerpo. En física relativista, la masa es función de la velocidad que el cuerpo posee respecto al observador. Además, la física relativista demostró la relación de la masa con la energía, quedando probada en las reacciones nucleares; por ejemplo, en la explosión de una bomba atómica queda patente que la masa es una magnitud que trasciende a la masa inercial y a la masa gravitacional.

- **Concepto de masa:**

- Masa inercial:**

La masa inercial para la física clásica viene determinada por la segunda y tercera ley de Newton. Dados dos cuerpos, A y B, con masas inerciales m_A (conocida) y m_B (que se desea determinar), en la hipótesis dice que las masas son constantes y que ambos cuerpos están aislados de otras influencias físicas, de forma que la única fuerza presente sobre A es la que ejerce B, denominada F_{AB} , y la única fuerza presente sobre B es la que ejerce A, denominada F_{BA} , de acuerdo con la segunda ley de Newton:

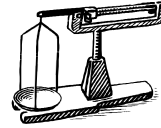
$$F_{AB} = m_A a_A$$

$$F_{BA} = m_B a_B$$

donde a_A y a_B son las aceleraciones de A y B, respectivamente. Es necesario que estas aceleraciones no sean nulas, es decir, que las fuerzas entre los dos objetos no sean iguales a cero. Una forma de lograrlo es, por ejemplo, hacer colisionar los dos cuerpos y efectuar las mediciones durante el choque.

La tercera ley de Newton afirma que las dos fuerzas son iguales y opuestas:

$$F_{AB} = -F_{BA}$$



sustituyendo en las ecuaciones anteriores, se obtiene la masa de B como

$$m_B = \frac{a_A}{a_B} m_A$$

Así, el medir a_A y a_B permite determinar m_B en relación con m_A , que era lo buscado. El requisito de que a_B sea distinto de cero hace que esta ecuación quede bien definida. En el razonamiento anterior se ha supuesto que las masas de A y B son constantes. Se trata de una suposición fundamental, conocida como la conservación de la masa, y se basa en la hipótesis de que la materia no puede ser creada ni destruida, sólo transformada (dividida o re combinada). Sin embargo, a veces es útil considerar la variación de la masa del cuerpo en el tiempo; por ejemplo, la masa de un cohete decrece durante su lanzamiento. Esta aproximación se hace ignorando la materia que entra y sale del sistema. En el caso del cohete, esta materia se corresponde con el combustible que es expulsado; la masa conjunta del cohete y del combustible es constante.

Masa gravitacional:

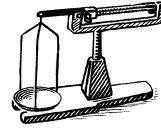
Considérense dos cuerpos A y B con masas gravitacionales M_A y M_B , separados por una distancia $|r_{AB}|$. La Ley de la Gravitación de Newton dice que la magnitud de la fuerza gravitatoria que cada cuerpo ejerce sobre el otro es

$$|F| = \frac{GM_A M_B}{|r_{AB}|^2}$$

donde G es la constante de gravitación universal. La sentencia anterior se puede reformular de la siguiente manera: dada la aceleración g de una masa de referencia en un campo gravitacional (como el campo gravitatorio de la Tierra), la fuerza de la gravedad en un objeto con masa gravitacional M es de la magnitud

$$|F| = Mg$$

Esta es la base según la cual las masas se determinan en las balanzas. En las balanzas de baño, por ejemplo, la fuerza $|F|$ es proporcional al desplazamiento del muelle debajo de la plataforma de



pesado, y la escala está calibrada para tener en cuenta g de forma que se pueda leer la masa M .

Equivalencia de la masa inercial y la masa gravitatoria:

Se demuestra experimentalmente que la masa inercial y la masa gravitacional son iguales, con un grado de precisión muy alto. Estos experimentos son esencialmente pruebas del fenómeno ya observado por Galileo de que los objetos caen con una aceleración independiente de sus masas (en ausencia de factores externos como el rozamiento). Supóngase un objeto con masas inercial y gravitacional m y M , respectivamente. Si la gravedad es la única fuerza que actúa sobre el cuerpo, la combinación de la segunda ley de Newton y la ley de la gravedad proporciona su aceleración como

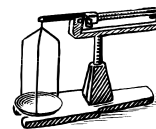
$$a = \frac{M}{m}g$$

Por tanto, todos los objetos situados en el mismo campo gravitatorio caen con la misma aceleración si y sólo si la proporción entre masa gravitacional e inercial es igual a una constante. Por definición, se puede tomar esta proporción como 1.

Consecuencias de la relatividad en la masa:

En la teoría especial de la relatividad la "masa" se refiere a la masa inercial de un objeto medida en el sistema de referencia en el que está en reposo (conocido como "sistema de reposo"). El método anterior para obtener la masa inercial sigue siendo válido, siempre que la velocidad del objeto sea mucho menor que la velocidad de la luz, de forma que la mecánica clásica siga siendo válida.

Históricamente, se ha usado el término "masa" para describir a la magnitud E/c^2 , (que se denominaba "masa relativista") y a m , que se denominaba "masa en reposo". Los físicos no recomiendan seguir esta terminología, porque no es necesario tener dos términos para la energía de una partícula y porque crea confusión cuando se habla de partículas "sin masa". En este libro, siempre se hace referencia a la "masa en reposo".



En la mecánica relativista, la masa de una partícula libre está relacionada con su energía y su momento según la siguiente ecuación:

$$\frac{E^2}{c^2} = m^2 c^2 + p^2$$

Que se puede reordenar de la siguiente manera:

$$E = mc^2 \sqrt{1 + \left(\frac{p}{mc}\right)^2}$$

El límite clásico se corresponde con la situación en la que el momento p es mucho menor que mc , en cuyo caso se puede desarrollar la raíz cuadrada en una serie de Taylor:

$$E = mc^2 + \frac{p^2}{2m} + \dots$$

El término principal, que es el mayor, es la energía en reposo de la partícula. Si la masa es distinta de cero, una partícula siempre tiene como mínimo esta cantidad de energía, independientemente de su momentum. La energía en reposo, normalmente, es inaccesible, pero puede liberarse dividiendo o combinando partículas, como en la fusión y fisión nucleares. El segundo término es la energía cinética clásica, que se demuestra usando la definición clásica de momento cinético o momento lineal:

$$p = mv$$

y sustituyendo para obtener:

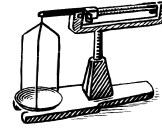
$$E = mc^2 + \frac{mv^2}{2} + \dots$$

La relación relativista entre energía, masa y momento también se cumple para partículas que no tienen masa (que es un concepto mal definido en términos de mecánica clásica). Cuando $m = 0$, la relación se simplifica en

$$E = pc$$

donde p es el momento relativista.

Esta ecuación define la mecánica de las partículas sin masa como el fotón, que son las partículas de la luz.



Masa Convencional:

Según el documento D28 "Conventional value of the result of weighing in air" de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la masa convencional de un cuerpo es igual a la masa de un patrón de densidad igual a 8000 kg/m^3 que equilibra en el aire a dicho cuerpo en condiciones convencionalmente escogidas: temperatura del aire igual a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y densidad del aire igual a $0,0012 \text{ g/cm}^3$

Esta definición es fundamental para un comercio internacional sin controversias sobre pesajes realizados bajo distintas condiciones de densidad del aire y densidad de los objetos. Si se pretendiera que las balanzas midan masa, sería necesario contar con patrones de masa de la misma densidad que los objetos cuya masa interese determinar, lo que no es práctico y es la razón por la que se definió la Masa Convencional, la cual es la magnitud que miden las balanzas con mayor exactitud que masa.

- **Concepto de peso:**

El peso, en física clásica, es la medida de la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de un cuerpo. Normalmente, se considera respecto de la fuerza de gravedad terrestre.

El peso depende de la intensidad del campo gravitatorio, de la posición relativa de los cuerpos y de la masa de los mismos.

En las proximidades de la Tierra, todos los objetos son atraídos por el campo gravitatorio terrestre, siendo sometidos a una fuerza constante, que es el peso, imprimiéndoles un movimiento de aceleración, si no hay otras circunstancias que lo impidan.

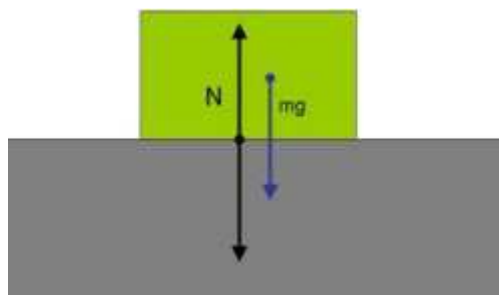


Figura nº2: Diagrama de fuerzas que actúan sobre un cuerpo situado en una superficie llana.



Cálculo del peso:

El cálculo aproximado del peso, considerado como una fuerza, se puede expresar mediante la segunda ley de la dinámica:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

donde g es la aceleración gravitatoria que, en primera aproximación, se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$g = \frac{F}{m} = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

- **Unidad de medida:**

Tabla nº2: Unidades del sistema internacional de unidades (SI)

Yottagramo	10^{24} g (Yg)
Zettagramo	10^{21} g (Zg)
Exagramo	10^{18} g (Eg)
Petagramo	10^{15} g (Pg)
Teragramo	10^{12} g (Tg)
Gigagramo	10^9 g (Gg)
Megagramo o Tonelada métrica	10^6 g (Mg ó t)
Quintal métrico	10^5 g (q)
Miriagramo	10^4 g (mag)
Kilogramo	10^3 g (kg)
Hectogramo	10^2 g (hg)
Decagramo	10^1 g (dag)
gramo	1 g (g)
decigramo	10^{-1} g (dg)
centigramo	10^{-2} g (cg)
miligramo	10^{-3} g (mg)
microgramo	10^{-6} g (μ g)
nanogramo	10^{-9} g (ng)
picogramo	10^{-12} g (pg)
femtogramo	10^{-15} g (fg)
attogramo	10^{-18} g (ag)
zeptogramo	10^{-21} g (zg)
yoctogramo	10^{-24} g (yg)

- **Determinación de la masa de los cuerpos**

Para determinar la masa del cuerpo, se coloca sobre el platillo que no tiene gancho un cuerpo (denominado tara), que mantendremos sobre dicho platillo durante todo el experimento. La masa de esta tara, m_{tara} , ha de ser mayor que la de cualquiera de los sólidos que vamos a



Metrología básica de masa

utilizar. Uno de los sólidos problema de masa $m_{\text{sól}}$ se suspende, mediante un hilo metálico fino, del otro platillo. Para conseguir el equilibrio de la balanza será necesario colocar pesas, cuya masa m_1 sea tal que se cumpla la relación:

$$m_{\text{tara}} = m_1 + m_{\text{sól}} + m_{\text{alambre}}$$

siendo m_{alambre} la masa del hilo metálico.

Si ahora realizamos una segunda pesada buscando el equilibrio con el alambre solo, sin el cuerpo, y la balanza se equilibra con pesas de masa m_2 , tendremos:

La masa del sólido se obtiene de la siguiente ecuación:

$$m_{\text{sól}} = m_2 - m_1$$

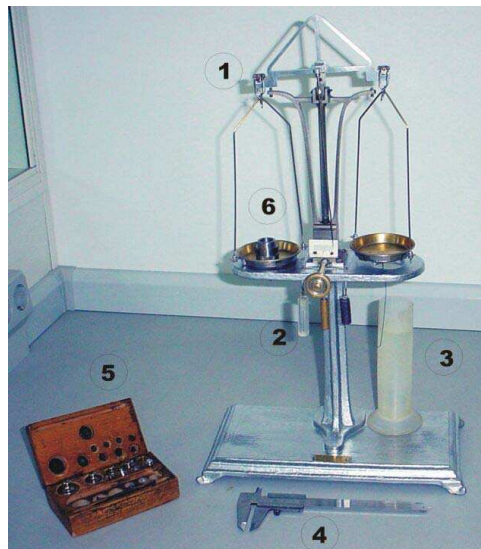


Figura nº3: Materiales para la determinación de la masa.

Balanza hidrostática (1)

Tres sólidos de diferente material (2)

Una probeta y agua destilada (3)

Un calibre o pie de rey (4)

Caja de pesas (5)

Tara (6)

- **Medición de la masa**

Para medir la masa de los objetos se utilizan balanzas. Uno de los tipos más utilizados en el laboratorio es la balanza de platillos, que permite hallar la masa desconocida de un cuerpo

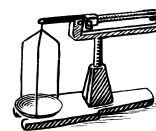


comparándola con una masa conocida, consistente en un cierto número de pesas. Consta de un soporte sobre el que se sostiene una barra de la que cuelgan dos platillos. En el punto medio de la barra se halla una aguja llamada *fiel*. El objeto que se quiere pesar se coloca en uno de los platillos y se van colocando pesas de masa conocida en el otro platillo hasta que el fiel indica que la balanza está equilibrada.

La balanza es un operador técnico al cual se lo opera sobre una determinada superficie, pero siempre realizando una suerte de asociación entre el peso con la masa que le corresponde. Asimismo, esta herramienta es empleada en aquellos casos en los cuales los kilos de la pesada no resultan ser tan grandes, razón por la cual su uso es más que predominante en los laboratorios y en otras áreas donde se trabaja con sustancias. En cuanto al desarrollo de este instrumento de medición masa en cuestión, con el paso del tiempo se ha pasado de modelos tradicionales que operaban de manera mecánica a modelos mucho más sofisticados, que operaban de modo electrónico y que, por ende, arrojaban lecturas sumamente precisas y directas, más allá del grado de sofisticación del operador en cuestión.



Figura nº4: Materiales para la determinación de la masa.



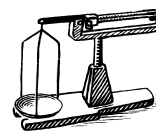
Respecto a los usos que se le han dado a las balanzas, las mismas pueden servir, por ejemplo, para el pesaje de alimentos que van a estar destinados a ventas a granel, como el caso de las carnes y las frutas. Se trata de operadores a los que podemos encontrar en comercios, mercados, que asimismo llevan en su constitución el agregado de una caja registradora. En dicha caja el empleado introduce el peso correspondiente de los alimentos y el luego se produce un cálculo automático del importe total, el cual se vislumbra a su vez en una pequeña pantalla. Por último, a modo de cierre de la compra, se emite un ticket donde está desglosada la compra misma, con sus importes correspondientes. Como hemos señalado anteriormente, otro uso que se le da a la balanza es el de pesaje de sustancias, más precisamente en los laboratorios. En esos lugares se llevan a cabo numerosas pruebas y análisis de materiales, con lo cual la precisión en los pesajes es requerida indefectiblemente.

Ahora bien, la balanza no es bajo ningún punto de vista la única opción con la cual podemos encontrarnos para medir una determinada masa.

También está la báscula. Este instrumento de medición de masa se diferencia de aquella, en que en este caso puede soportar grandes pesos y tiene una plataforma ubicada a ras del suelo, lo cual facilita la colocación de la masa destinada a ser pesada. En cuanto a su sistema de operación o de procedimiento, el mismo se basa en un juego de palancas que se activan en el momento en el cual la masa se coloca sobre la plataforma.

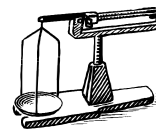


Figura nº5: Materiales para la determinación de la masa.



Por otro lado, el equilibrio se genera cuando hay un desplazamiento del pilón a lo largo de una barra, que a su vez se encuentra graduada, y en donde se va a leer el resultado del pesaje. Otros instrumentos destinados para la medición de masas son el espectrómetro y el catarómetro. En el primer caso, se trata de una herramienta que permite que se estudie con asombrosa precisión la composición de los elementos químicos, así como también de los isótopos atómicos. Lo que realiza este elemento es una separación de los núcleos atómicos, pero siempre teniendo como referencia la relación de la masa con la carga. Asimismo, se lo puede emplear para la identificación del cromatógrafo de gases. Por otro lado, el espectrómetro de gases mide las razones de carga-masa de los iones, a partir del calentamiento de un haz de material del compuesto que va a ser analizado, hasta que el mismo se vaporice para que los diferentes átomos puedan ser ionizados. Justamente el haz de iones es lo que produce un determinado patrón en el detector que analiza los compuestos.

Por último, otro instrumento de medición de masa es el catarómetro. Se trata de un dispositivo que se emplea para determinar la composición de una específica mezcla de gas. En cuanto a su constitución, el elemento tiene dos tubos paralelos, donde el gas es contenido, en especial en las bobinas de calefacción. Lo que ocurre es que los gases se examinan, al tiempo que se compara el radio de fuga de calor proveniente de las bobinas en el gas mismo. Las bobinas, por su parte, están dispuestas en el interior de un circuito con forma de puente, el cual es sumamente resistente a todos los cambios de temperatura.



Capítulo 3. CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS PARA PESAR

Los instrumentos de medición se clasifican según los siguientes aspectos:

Resolución: diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.

Escalón de verificación: valor, expresado en unidades de masa, usado para la clasificación y verificación de un instrumento.

Número de escalones de verificación: es resultado de dividir el alcance máximo del instrumento de pesar entre el escalón de verificación, el resultado está dado en escalones de verificación. El número de escalones de verificación nos auxilia para clasificar el instrumento.

Clase de exactitud: clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metroológicos destinados a mantener los errores dentro de los límites especificados.

Errores máximos tolerados (EMT): valores extremos de un error permitido (tolerado) por las especificaciones, regulaciones, etc., para un instrumento de medición determinado.

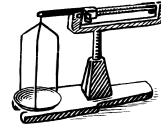
Pesas: medida material de la masa regulada considerando sus características físicas y metroológicas: forma, dimensiones, material, estado superficial, valor nominal y error máximo permisible.

Pesas patrón: pesas que sirven para comparar otras pesas o instrumentos para pesar, atendiendo a sus errores máximos permitidos.

Masas: medida materializada de la masa que no está regularizada en sus características físicas y metroológicas y que debe ser objeto de la autorización después de un examen de su forma, de su constitución y de la permanencia de su valor.

Masas patrón: masas que sirven para comparar otras masas o instrumentos para pesar atendiendo a sus errores máximos tolerados.

Cargas complementarias: cargas de sustitución en la cual su masa no puede ser modificada en el transcurso de la verificación.



Enlaces: se designa por enlace la operación de sustitución de una carga en pesas patrones y masas patrones por las cargas complementarias. El instrumento debe dar resultados idénticos en los dos casos.

Sensibilidad: para un valor dado de la masa medida, el cociente del cambio de la variable observada por el correspondiente cambio de la masa medida.

Movilidad: aptitud de un instrumento para reaccionar a pequeñas variaciones de carga. El umbral de movilidad, para una carga dada, es el valor de la más pequeña sobrecarga que, cuando se deposita suavemente o se retira del receptor de carga, causa un cambio perceptible en la indicación.

Los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático normalmente son tipo plataforma y utilizan celdas de carga como transductores de fuerza a masa, donde su superficie de pesada es cuadrada o rectangular, y están constituidas por secciones de pesada, considerando como sección a la superficie limitada entre los ejes transversales al eje longitudinal de la plataforma que pasan por las celdas de carga consecutivas.

Los instrumentos para pesar se clasifican de acuerdo a la OIML en cuatro clases de exactitud:

- Especial I
- Fina II
- Media III
- Ordinaria IIII

Esta clase de exactitud estará determinada de acuerdo al número de escalones de verificación que depende de la capacidad máxima del instrumento y del escalón de verificación:

$$n = \frac{Max}{e}$$

El número de escalones de verificación y la capacidad mínima están representados en la tabla nº3 en función de la clase de exactitud.

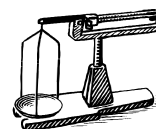


Tabla nº3: Clasificación de los instrumentos para pesar, aplicado a instrumentos para pesar de alcance máximo mayor a 1 tonelada.

Clase de exactitud	Numero de escalones de verificación		Capacidad mínima (límite inferior)
	Mínimo	Máximo	
Especial I	50 000	-	100 e
Fina II	5 000	100 000	50 e
Media III	500	10 000	20 e
Ordinaria III	100	1 000	10 e

En instrumentos con escalones múltiples, las exigencias de la tabla nº4 deberán ser cumplidas en función de la clase de exactitud

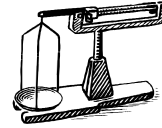
Tabla nº4: Clasificación de los Instrumentos.

Clase	I	II	III	III
Max_i/e_{i+1}	$\geq 50\ 000$	$\geq 5\ 000$	≥ 500	≥ 50

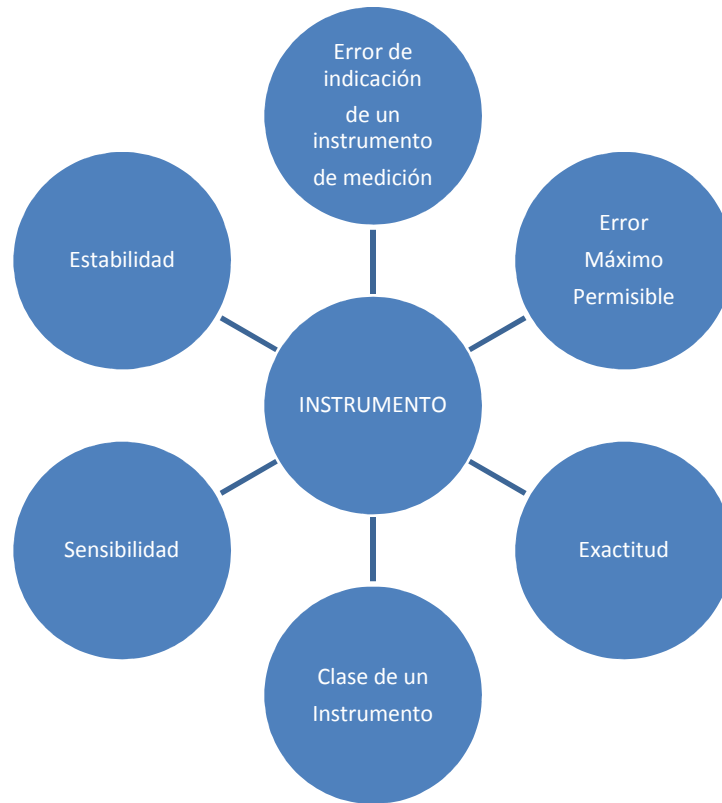
El error máximo tolerado para verificaciones iniciales de acuerdo a la R76 se presenta en la tabla nº4, para verificaciones de los equipos en servicio el error permitido es el doble.

Tabla nº5: Errores máximos tolerados para los instrumentos para pesar.

EMT verificaciones iniciales	Para una carga m dada en escalones de verificación e			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase III
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50\ 000$	$0 \leq m \leq 5\ 000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1 e$	$50\ 000 \leq m \leq 200\ 000$	$5\ 000 \leq m \leq 20\ 000$	$500 \leq m \leq 2\ 000$	$50 \leq m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200\ 000 \leq m$	$20\ 000 \leq m \leq 100\ 000$	$2\ 000 \leq m \leq 10\ 000$	$200 \leq m \leq 1\ 000$



Capítulo 4. CARACTERÍSTICAS Y TÉCNICAS METROLOGICAS DE LOS INSTRUMENTOS PARA PESAR



- **Estabilidad:**

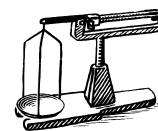
La estabilidad metrológica es la aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

La estabilidad puede expresarse cuantitativamente de varias formas.

Mediante un intervalo de tiempo en el curso del cual una característica metrológica varía una cantidad determinada.

Por la variación de una propiedad en un intervalo de tiempo determinado.

Cuando las características metrológicas del instrumento no se mantienen constantes, sino que presentan una variación lenta y monótona a través del tiempo, entonces no se describe como



estabilidad, sino que como deriva. Las características metroológicas que normalmente se evalúan son el sesgo instrumental (VIM3 4.20) y la incertidumbre instrumental (VIM3 4.24).

El modelo de concentración de laboratorios clínicos y descentralización de los módulos de extracción y recogida de muestras en nuestro entorno ha provocado que las muestras biológicas humanas se transporten y conserven en condiciones que pueden afectar a la estabilidad de todas o varias de las propiedades físico-químicas de sus componentes, sin que se conozca con certeza la repercusión sobre la calidad final de los resultados emitidos.

La estabilidad metroológica de las propiedades físico-químicas de los componentes de especímenes biológicos humanos es un concepto definido por Guder (1) como «la capacidad de una muestra de retener el valor inicial de las magnitudes biológicas dentro de unos límites establecidos durante un determinado periodo de tiempo cuando ésta se conserva en condiciones definidas».

Existen recomendaciones generales sobre el tiempo y la temperatura más adecuada para la determinación de la mayoría de las magnitudes biológicas.

El conocimiento de la estabilidad de las muestras toma especial relevancia debido a que existen diferentes recomendaciones.

Diversos estudios han demostrado que la inadecuada conservación de las muestras antes de su procesamiento influye o modifica la estabilidad de algunas de las propiedades físico-químicas de sus componentes, provocando que el resultado obtenido sea significativamente diferente del resultado que se obtendría si la muestra se preparase y procesase en condiciones idóneas.

Entre las variables que afectan la estabilidad se encuentran:

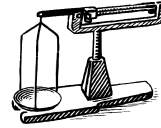


- Condiciones en el transporte de las muestras: temperatura, tiempo y alteraciones mecánicas, como vibración, a las que son sometidos los especímenes durante su transporte.
- Condiciones en la conservación de la muestra desde la extracción hasta su centrifugación o preparación previa al procesamiento: forma de almacenamiento, evaporación, decantación o separación en alícuotas, temperatura de conservación y tiempo transcurrido. Otros factores que pueden influir en la estabilidad de las muestras biológicas son:
 - Condiciones inherentes al sujeto relacionadas con la variabilidad biológica intraindividual, como factores fisiológicos, patológicos, ingesta de fármacos, y regulación homeostática.
 - Condiciones de obtención de la muestra, tales como la dificultad de la extracción, tiempo de aplicación del torniquete y tiempo total del procedimiento de extracción.
 - Condiciones propias al contenedor de la muestra: componentes intrínsecos del material, aditivos, conservantes y fases de separación.
 - Metodología analítica empleada y propiedad físico-química que se mide.

También se conoce que todas las variables anteriormente citadas afectan por desigual a los diferentes componentes de la muestra. Algunas propiedades físico-químicas son más sensibles que otras a la acción de estos factores, no se alteran en la misma cuantía y la acción de alguna de las variables puede influenciar con signo contrario sobre diferentes componentes de una misma muestra.

- **Sensibilidad:**

La sensibilidad se define como la relación, en un aparato de medida, entre el desplazamiento del índice, marca, aguja, etcétera, observada en dicho aparato y la variación de la magnitud de medida que ha provocado dicho desplazamiento. Por ejemplo, un



Metrología básica de masa

amperímetro tiene una sensibilidad de 5 mm/A cuando una corriente de un amperio provoca un desplazamiento de cinco milímetros de la aguja indicadora. La sensibilidad "S" es la relación entre una longitud "L" y una magnitud "M", y se puede expresar: $S=L/M$.

La variación de la magnitud de salida de un instrumento de medición dividida por la variación correspondiente de la magnitud de entrada.

En una balanza, la variación del valor de pesada ΔW dividida por la variación de la carga que la ocasiona Δm .

$$S = \frac{\Delta W}{\Delta m}$$

La sensibilidad es una de las especificaciones más significativas de una balanza. La sensibilidad especificada de una balanza se entiende en general como la sensibilidad global (pendiente), medida a lo largo del alcance nominal. Sensibilidad entre el valor de pesada W y la carga m , ejemplo con una balanza de 1 kg de alcance nominal. La línea del medio muestra la característica de una balanza con la sensibilidad correcta (pendiente) como puede apreciarse en la figura nº 6. La línea característica superior es demasiado empinada (demasiada sensibilidad, representada excesiva), la inferior demasiado poco empinada (sensibilidad insuficiente).

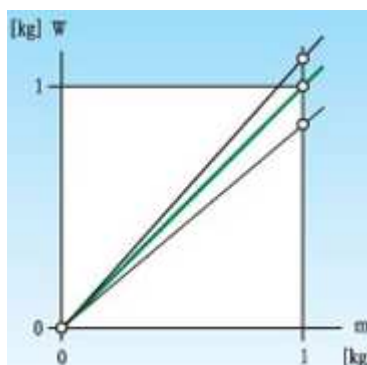
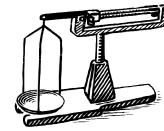


Figura nº 5: Sensibilidad entre el valor de pesada W y la carga m .



Coefficiente térmico de la sensibilidad:

La sensibilidad depende de la temperatura. El grado de dependencia se determina por medio de la variación reversible del valor medido bajo la influencia de una variación térmica en el entorno. Se indica con el coeficiente térmico de la sensibilidad (CT) y equivale a la variación porcentual de la indicación del peso (o de la pesada) por grado centígrado. El coeficiente térmico de la sensibilidad es por ejemplo en una balanza XP del 0.0001 %/°C. Esto significa que con una variación térmica de 1 grado centígrado, la sensibilidad varía en un 0.0001 % o una millonésima parte. El coeficiente térmico puede calcularse como sigue:

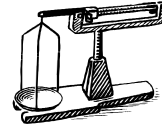
$$TC = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{\frac{\Delta R}{m}}{\Delta T} = \frac{\Delta R}{m\Delta T}$$

Siendo ΔS la variación de la sensibilidad y ΔT la variación térmica. La variación de la sensibilidad ΔS es igual a la variación del resultado ΔR dividida por la carga de pesada m , o después de tarar por el peso inicial. Con estos datos se puede calcular por conversión la desviación del resultado de la medición con una variación determinada de la temperatura. Como valor de indicación se obtiene entonces:

$$\Delta R = (TC\Delta T)_m$$

Si pesa usted una carga (peso inicial) de 100 g en una balanza analítica XP/XS y la temperatura ambiente del laboratorio ha variado desde la última calibración en 5 °C, el error en el resultado de pesada ΔR (con el coeficiente térmico de la XP de 0.0001 %/°C) puede llegar a ser en el peor de los casos. Si la carga fuese por el contrario de solo 100 mg, es decir, 1000 veces menor, entonces la desviación máxima sería también correspondientemente menor. Sería entonces de solamente 0.5 µg.

$$\Delta R = (TC\Delta T)m = (0,0001 \% / ^\circ C \cdot 5 ^\circ C)100 g = 0,5mg$$



FACT:

La abreviatura de “Fully Automatic Calibration Technology” (“FACT”). Ajuste automático de la sensibilidad según el tipo de balanza, también de la linealidad de una balanza. El ajuste se activa cuando se sobrepasa una variación térmica predeterminada.

En la producción se establecen unos pesos internos vinculados de forma trazable a estándares de masa internacionales por medio de una «calibración primaria». En este proceso se determina la masa del peso interno depositando un peso certificado y almacenándolo como valor en la balanza.

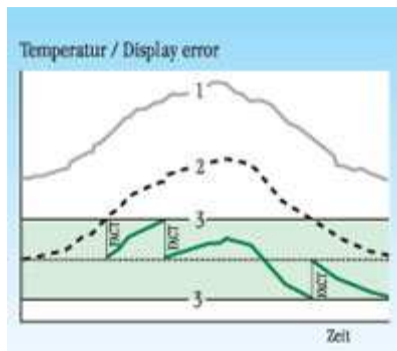


Figura nº 6: Ajuste automático de la sensibilidad.

Propiedad de una balanza de seguir la relación lineal entre la carga depositada m y el valor de medida indicado W (sensibilidad). Se traza para ello una línea característica recta de la pesada entre cero y la carga máxima.

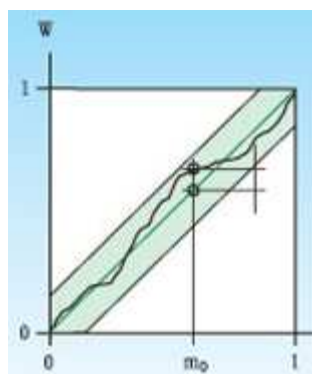
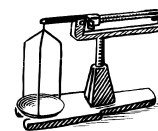


Figura nº7: No linealidad de una balanza.

Por otra parte, la no linealidad define la anchura de la banda, dentro de la cual puede producirse una desviación positiva o negativa del valor medido a partir de la línea característica ideal.



- **Exactitud:**

El patrón actual del kilogramo permite medir la masa con una exactitud de 1 en 10⁸. La finalidad de disponer de patrones es medir con exactitud la masa de los cuerpos; por ello es necesario disponer de múltiplos y submúltiplos del kilogramo con los cuales se puedan determinar exactamente las masas deseadas.

Los conjuntos de múltiplos y submúltiplos del kilogramo también deben ser representados como patrones conectados con uno o más kilogramo patrón.

Para considerar los múltiplos y submúltiplos en función de su variabilidad, se agrupan en décadas que contengan por lo menos 4 patrones; la representación más usual es 1 2 2 5, así la masa de un kilogramo m_{1kg} puede ser representada por:

$$m_{100} + m_{200} + m_{200} + m_{500}$$

donde:

m_{100} = masa del patrón de 100 gramos.

m_{200} = masa del patrón de 200 gramos (Nº 1).

m_{200} = masa del patrón de 200 gramos (Nº 2).

m_{500} = masa del patrón de 500 gramos.

Es claro que una balanza analítica de laboratorio no requiere del mismo grado de exactitud que una balanza controladora de vehículos de carga. La exactitud de los patrones de masa puede definirse conforme a las categorías E_I , F_I , M_I con valores que van usualmente de un miligramo a 50 kilogramos. A las masas con alta exactitud les corresponde la categoría E_I , a las masas de exactitud fina les corresponde la categoría F_I y a las de exactitud media les corresponde la categoría M_I . Al estudiar la exactitud de m_{1kg} la primera composición para estimar la variabilidad es la siguiente:

$$m_{1kg} - (m_{100} + m_{200} + m_{200} + m_{500}) = x$$

donde:



Metrología básica de masa

m1kg es el patrón de la masa de un kilogramo y el valor de x podría pertenecer a cualquiera de las categorías E, F o M.

En la recomendación OIML R111 (41) pueden encontrarse los diferentes límites de tolerancia para la exactitud de distintas masas patrón en las categorías E₁, F₁, M₁. La calidad de la medición está caracterizada por la incertidumbre de la misma.

Aquí se aplica la "Teoría de Errores" con ello, se pretende que se sepa reconocer los factores que influyen en el error, así como el cálculo del mismo. Además, se ofrecen algunas nociones sobre tratamiento de datos que incluye el ajuste de rectas mediante el método de mínimos cuadrados.

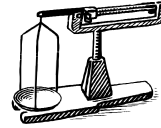
En metrología, la exactitud es el grado de concordancia entre el valor verdadero y el experimental. Un aparato es exacto si las medidas realizadas con él son todas muy próximas al valor "verdadero" de la magnitud medida.

La precisión es el grado de concordancia entre una medida y otras de la misma magnitud realizadas en condiciones sensiblemente iguales. Un aparato es preciso cuando la diferencia entre diferentes medidas de una misma magnitud sea muy pequeña.

Clase de exactitud de las pesas:

Clasificación de las pesas de acuerdo a ciertos requisitos metrologicos, características físicas y límites de tolerancia expuestos en Recomendaciones Internacionales.

La Recomendación Internacional OIML R 111 clasifica las pesas en las siguientes clases de exactitud: E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃.



Capítulo 5. METODOS DE MEDICIÓN DE MASA

- **Medición simple de masa:**

Comparación directa: la cantidad de magnitud a medir se compara con una cantidad de la misma magnitud, de valor conocido.

Sustitución: la cantidad de magnitud a medir se sustituye por una cantidad de la misma magnitud con valor conocido.

Transposición: la cantidad de magnitud a medir se compensa con una cantidad de la misma magnitud con valor conocido, luego se intercambian posiciones y se compensan nuevamente, finalmente se determina el valor buscado según los dos valores conocidos de las cantidades necesarias para la compensación.

De cero: Método en que el efecto de la cantidad de magnitud que se mide se compensa por el efecto de una cantidad de magnitud de valor conocido llevándolo a cero.

De coincidencia: el valor de la cantidad de magnitud a medir se determina mediante la coincidencia de trazos de escala o de señales periódicas.

Diferencial: con la ayuda 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, luego se hace la corrección que corresponda para hallar el valor de la cantidad de magnitud que se mide.

- **Errores de la medición de masa**

En metrología, el error se define como la diferencia entre el valor verdadero y el obtenido experimentalmente. Los errores no siguen una ley determinada y su origen está en múltiples causas. Atendiendo a las causas que los producen, los errores se pueden clasificar en dos grandes grupos: errores sistemáticos y errores accidentales estos últimos también conocidos como aleatorios.

Los errores sistemáticos son aquellos que permanecen constantes a lo largo de todo el proceso de medida y, por tanto, afectan a todas



las mediciones de un modo definido y es el mismo para todas ellas.

Los errores accidentales o aleatorios son aquellos que se producen en las variaciones que pueden darse entre observaciones sucesivas realizadas por un mismo operador. Estas variaciones no son reproducibles de una medición a otra y su valor es diferente para cada medida.

Error absoluto y error relativo:

En metrología, el error absoluto en una medida x de determinada magnitud es la diferencia entre dicho valor y el valor verdadero de la medida; se notará por Δx y, por tanto, su expresión es:

$$\Delta x = X - X_0$$

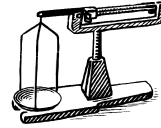
donde x_0 representa el valor verdadero de la medida. El error absoluto cuantifica la desviación en términos absolutos respecto al valor verdadero. No obstante, en ocasiones es más interesante resaltar la importancia relativa de esa desviación. Por ello, se define el error relativo como el cociente entre el error absoluto y el valor verdadero; notándolo por ε su expresión es:

$$\varepsilon = \Delta x / X_0 \text{ y se multiplica por } 100$$

Expresión del error:

En metrología, presentar una medida efectuada, significa expresar el valor de dicha cantidad y expresar cual es su error; no tiene sentido establecer un determinado valor si no se acota debidamente el mismo. Así, la expresión correcta de una medida debe ser: $x \pm \Delta x$

Dado que existe imprecisión, este se escribe siempre con una única cifra significativa, es decir con el primer dígito comenzando por la izquierda distinto de cero; este número ser redondeado por exceso en una unidad si la segunda cifra significativa es 5 o mayor de 5. Este convenio de expresión del error encuentra dos excepciones: que la primera cifra significativa sea un 1 o que siendo la primera un 2, la segunda no llega 5; en estos casos, el error vendrá dado por las dos primeras cifras significativas, procediéndose al redondeo de la segunda en el mismo sentido que ya se ha explicado.



Se acepta como criterio que si el valor de una medida es leído de una tabla u otro lugar, sin indicación de su error, se tomará como error una unidad del orden de la última cifra con que se expresa; por ejemplo, si en una tabla aparece que el valor de una medida es de 0.056 sin ninguna indicación de error, se conviene en que el mismo es de ± 0.001 .

Determinación de errores en medidas directas:

Como ya se ha explicado, cuando se realice la medida de cualquier magnitud hay que indicar el error asociado a la misma. Dado que no conocemos el valor verdadero de la magnitud que deseamos medir, se siguen ciertos procedimientos para hacer una estimación del mismo y de su cota de error.

Determinación de errores en medidas indirectas:

Como ya se ha indicado, la medida indirecta de una magnitud se alcanza por aplicación de una fórmula a un conjunto de medidas directas, (variables independientes o datos), que las relacionan con la magnitud problema. Mediante dicha fórmula se obtiene también el error de la medida. Debe tenerse muy presente que si en la expresión matemática que relaciona las magnitudes aparecen números irracionales (tales como π o e) se deben elegir con un número de cifras significativas que no afecten a la magnitud del error absoluto de la magnitud que queremos determinar. En cualquier caso, esta elección determinará el valor del error asignado a dicha constante; en muchas ocasiones, sobre todo cuando se trabaja con calculadora u ordenador, lo más conveniente es tomar todos los decimales que aparecen para el número en cuestión: de esta manera, su error es muy pequeño y puede despreciarse frente a los del resto de las magnitudes que intervengan.

El procedimiento para determinar el error de la medida hecha de manera indirecta es el siguiente. Supongamos que la magnitud F es función de otras magnitudes físicas, estando relacionadas con ellas por la expresión genérica: $(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad F = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$



Supongamos, además, que se han realizado medidas de las variables, x_i , y se han determinado su valor y su error. Se obtiene la diferencial total de F en función de las diferenciales de las variables x_i y se hace la sumatoria de cada una de la derivadas parciales, finalmente después de pocos cálculos podemos llegar a obtener que él es la sumatorio de una constante multiplicado por el error relativo.

- **Métodos de eliminación de algunos errores sistemáticos:**

Otras veces es posible eliminar la causa que origina este error, no por un tratamiento matemático sino mediante un artificio que logre que esta perturbación se "auto elimine" y por lo tanto no quede incluida en el resultado final de la medición.

Se considera que este procedimiento es más adecuado que la eliminación del error mediante la "corrección" antes mencionada.

Finalmente puede existir una causa de origen sistemático que el observador por su poca experiencia, estudio u otra circunstancia, no lo descubra en el análisis previo a la medición y por lo tanto el mismo quedará incluido en el resultado final.

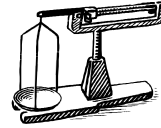
Ante la duda es preferible buscar otro método de medida.

En virtud de las distintas causas que involucra este tipo de error, es conveniente para su estudio efectuar una subdivisión del mismo comprendiendo:

1. Errores en los instrumentos o aparatos (errores de aparatos).
2. Errores debidos al método de medida (errores de método).
3. Errores debidos a las condiciones externas o del medio ambiente.
4. Errores debidos al observador (ecuación personal).

En general la magnitud de los efectos. Sistemáticos (orden de grandor) frente a los restantes y en particular a los que corresponden a los instrumentos indicadores, justifica en cierto modo su inclusión en este capítulo.

Los errores sistemáticos en estos instrumentos son consecuencia de la falta de ajuste e imperfección en la calibración



Metrología básica de masa

de los mismos, mientras que los restantes, denominados accidentales son debidos a las variaciones en el tiempo de la magnitud calibrada (inestabilidad), a su diseño constructivo, a los errores cometidos en el propio contraste y a los patrones utilizados. Para un estudio racional del problema es interesante efectuar una subdivisión de los instrumentos que constituyen este capítulo, dada sus propias características, diseño y sistema de lectura, en dos categorías, definidas: los primeros se han de referir a mediciones efectuadas mediante la posición de un índice en su escala -sistema de deflexión o instrumento indicador- los segundos son aquellos en que la medición es realizada, en el preciso momento de un equilibrio, como son los denominados métodos de cero, -tales como los potenciómetros, puentes, etc., con sus correspondientes partes componentes; resistencias, inductancias, capacidades, divisores de tensión, etcétera.

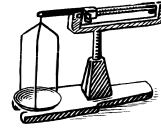
Con respecto a estos instrumentos de uso tan extendido en la técnica, es interesante proceder a efectuar un análisis exhaustivo de las causas concurrentes para la formación del límite, de error de indicación, en razón de que se estima que no está debidamente aclarado, en las normas respectivas, como se ha de establecer el mismo.

Como ya hemos dicho, en estos instrumentos y en particular en los indicadores, gran parte de los errores cometidos son por causas sistemáticas, pero también se superponen a estas, otras de carácter accidental que perturban la posición del índice, por lo que también han de ser tomadas en cuenta al establecer el error total que comete el instrumento indicador.

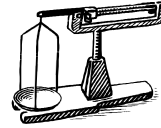
En consecuencia, es conveniente separar estas fuentes de error por que corresponden a efectos secundarios distintos a saber.

a) Los errores sistemáticos son causados por:

1. Imperfección en el trazado de la escala.



2. Modificación de los parámetros que contribuyen a la, formación del par motor y del antagonico (instrumentos de rotación pura.
3. Efectos, secundarios exteriores cuya ley causal es conocida, (estos han de ser estudiados en tema aparte.
 - b) los errores de característica accidental, cuya ley de variación es desconocida, causan efectos de incertidumbre en la posición, del índice, como consecuencia principalmente de los rozamientos, en los apoyos de su sistema móvil (sistema mecánico de pivotes); de la histéresis elástica de la suspensión, etc. y han de caracterizar 'la no repetibilidad de las lecturas, es decir que bajo la misma excitación (constancia de par motor), las indicaciones del instrumento no serán iguales; esto afectaran la llamada "precisión".



Capítulo 6. BALANZA

La balanza es el instrumento más antiguamente conocido que se utiliza para medir la masa. Mientras no se cambie la definición del kilogramo sólo podemos comparar masa y no podremos medirla en forma directa. La técnica contemporánea permite la construcción de innumerables tipos y capacidades del artefacto, adecuados para los usos específicos que se desee, ya sea en laboratorios, industrias, comercios, agencias estatales, etcétera. Los requerimientos básicos de las balanzas son que sean estables, exactas, sensibles y que puedan ser calibradas.

En metrología de masa de alta exactitud, se determina la masa en balanzas llamadas comparadoras. La balanza comparadora para un patrón nacional debe ser de intervalo limitado y con buena sensibilidad (por ejemplo, de un microgramo).

Antes se hablaba de balanzas simples, de brazos iguales o desiguales, con o sin peso deslizante, las de combinación incluyendo las básculas, las romanas y las automáticas con múltiples posiciones de equilibrio; actualmente se emplean también celdas de carga que envían señales eléctricas para determinar el peso. En vista de todas las posibles combinaciones que se dan, la tendencia actual es a hablar de instrumentos para pesar sin entrar en distinciones entre, por ejemplo, balanzas y básculas.



Capítulo 6. MEDIDAS DE MASA

La masa de un cuerpo se manifiesta de dos maneras; una es en el cambio de estado de movimiento (inercia) y la otra es en la atracción entre los cuerpos.

Supongamos un túnel al vacío, con un plano que sirva de pista, con la cara superior perfectamente lubricada de forma que, al colocar un objeto sobre esa superficie y al desplazarlo, no exista fricción entre la superficie y el objeto. Entonces, si el objeto está en reposo y lo ponemos en movimiento, el esfuerzo necesario para moverlo sería una manifestación de la masa del objeto. En el mismo túnel y en las mismas condiciones, si retiramos la pista, el objeto cae atraído por el planeta Tierra y ésta sería la otra manifestación de la masa del objeto. En ambos casos, tanto la medida del esfuerzo para mover el objeto como la medida de la caída serían la medida de la masa del objeto.

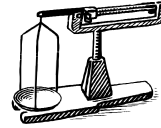
Dicho de otra forma, la masa es la cantidad de materia contenida en un volumen determinado mientras que el peso es el resultado de la atracción de la Tierra sobre esa masa.

- **Designación y clasificación de las medidas de masa:**

La unidad de masa, el kilogramo, se definió originalmente como la masa de un litro de agua a 4°C. Se modificó esta definición en vista de las dificultades prácticas de obtener agua pura y por el hecho de que la definición involucraba otra magnitud, a saber la temperatura.

Podría argumentarse que el kilogramo es un múltiplo del gramo y que por lo tanto es éste el que debe constituir la unidad. En efecto esto ha sido analizado por los metrologos pero por razones prácticas se acordó seguir considerando el kilogramo como la unidad de masa.

Como, con los actuales conocimientos científicos, no se ha podido definir aún la unidad de masa en función de las constantes universales, actualmente se define ésta con base en un artefacto o prototipo, por acuerdo de las 1ª y 3ª Conferencia General de Pesas y Medidas, de 1889 y 1901 respectivamente. Sin embargo, la 21ª



Conferencia General de Pesas y Medidas, en octubre de 1999(13), acordó “recomendar que los laboratorios nacionales continúen sus esfuerzos para refinar experimentos que vinculen la unidad de masa a constantes fundamentales atómicas con miras a una futura redefinición del kilogramo.”

- **Esquema de transmisión de la unidad de medida de masa**

Considerando las limitaciones de las comparaciones, se ha estructurado una jerarquía de patrones, con las siguientes características obligadas, que se expone a continuación:

PROTOTIPO INTERNACIONAL DEL KILOGRAMO

Material: Platino-Iridio; Densidad: 21,5 g cm⁻³

PATRONES DE REFERENCIA DEL BIPM

Material: Platino-Iridio.

PROTOTIPOS NACIONALES

Material: Platino-Iridio.

PATRONES PRIMARIOS NACIONALES

Material: Acero (Latón)

Densidad: 8,0 g cm⁻³ (8,4 g cm⁻³)

PATRONES SECUNDARIOS NACIONALES

Material: Acero (Latón)

PATRONES DE REFERENCIA

PATRONES DE TRABAJO

- **Medidas de masa de uso general:**

El kilogramo (símbolo kg) es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.

- **Medidas de masa patrones:**

El prototipo internacional es un cilindro de treinta y nueve milímetros de altura y treinta y nueve milímetros de diámetro, hecho de una aleación con noventa por ciento de platino y diez por ciento de iridio. Tiene una densidad aproximada de veintiún gramos y medio por



Metrología básica de masa

centímetro cúbico. Se considera como el único patrón primario de masa. El prototipo original –kilogramme des Archives, fabricado en la misma época que el mètre des Archives, se considera patrón histórico.

En 1889, de una misma colada, se prepararon: el kilogramo internacional, cuatro testigos y patrones nacionales (originalmente 40 de ellos para llenar las necesidades de los países signatarios de la Convención del Metro). Estos, y los fabricados subsecuentemente por el BIPM, son a veces conocidos como “kilogramo Nox”, donde “x” es el número de identificación de uno de esos patrones.

Debido a que la definición y construcción de la unidad se basan en un artefacto, la unidad nunca podrá ser transferida con mayor exactitud que la que permita la comparación de masas con el prototipo internacional de masa.

- **Verificación de las medidas de masa:**

Se conoce como verificación o calibración al conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

La verificación es la confirmación objetiva del cumplimiento de requisitos conforme a Normas.

La diferencia que existe entre calibración y verificación en instrumentos para pesar consiste básicamente en que la calibración es muchas veces voluntaria y el resultado (Certificado de Calibración o Informe de Calibración) establece valores de las pruebas de excentricidad, repetibilidad y linealidad, esta última correcciones aplicables a la linealidad del instrumento y las incertidumbres asociadas a estas correcciones. No necesariamente se tienen que referir las pruebas a una norma, por lo que no se emite un veredicto acerca del estado del funcionamiento de éste. Por tal motivo el usuario es el responsable de aplicar las correcciones necesarias para el uso adecuado del instrumento.



La verificación es obligatoria generalmente para los instrumentos usados en las transacciones comerciales y se aplican las pruebas de manera similar que en la calibración; el resultado de la verificación es un veredicto de “Pasa” o “No Pasa”, acompañado de una calcomanía con la leyenda “Instrumento apto para transacciones comerciales” o “Instrumento No apto para transacciones comerciales” y en este caso se coloca cuando no se puede ajustar, por lo que se inmoviliza el instrumento por no cumplir los errores máximos tolerados para la clase de exactitud correspondientes (NOM-010-SCFI). En la verificación no necesariamente se entrega al usuario un informe con los resultados de las pruebas.

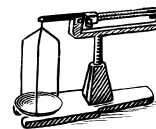
La calibración de los instrumentos para pesar actualmente los ofrecen los Laboratorios Secundarios y la verificación la ofrecen las Unidades de Verificación, organismos acreditados por la Dirección General de Normas, dependencia de SECOFI.

Las pruebas se pueden aplicar a ambos casos verificación y calibración, la diferencia estriba básicamente en la forma en que se proporcionan los resultados de una y otra, un certificado de calibración o una aprobación o desaprobación de funcionamiento.

- **Método de doble pesada o método de Gauss:**

Se hace oscilar la balanza con los platillos descargados, leyendo nueve elongaciones máximas sucesivas del fiel, y se determina la posición de equilibrio con cada conjunto de tres lecturas:

Si los tres valores resultan concordantes, se realiza un promedio de ellos. Luego, colocando el cuerpo en el platillo de la izquierda, se coloca en el otro platillo un valor P' de pesas hasta equilibrar aproximadamente la balanza de manera que el fiel oscile manteniéndose dentro de la escala. En estas condiciones, se realizan nueve lecturas sucesivas, determinando la posición de equilibrio correspondiente a a_1 . Colocando la sobrecarga p y se busca la posición de equilibrio correspondiente a a_1 .



- **Método de pesada en un brazo o método de borda:**

Se coloca el mismo cuerpo en el platillo derecho y se equilibra con municiones u otra tara cualquiera, y haciendo oscilar el fiel de la balanza se determina la posición de equilibrio $\alpha^{\circ}1$. Se retira el cuerpo y en su lugar se colocan pesas hasta equilibrar la balanza, determinándose en esas condiciones la posición $\alpha^{\circ}2$.

Con el valor conocido de S, se calcula la diferencia entre el peso del cuerpo y las pesas P', mediante $d = S \alpha^{\circ}1 - \alpha^{\circ}2$.

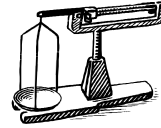
El peso verdadero del cuerpo resulta de sumar, con su correspondiente signo, esta diferencia al valor de las pesas $P = P' + d$.

- **Método de Mendeleev:**

El método de carga constante (Mendeleev), consiste en colocar el cuerpo en un platillo junto con las pesas necesarias para equilibrar un peso mayor que se coloca en el otro platillo; se quita el cuerpo y las pesas que se necesitan añadir para restablecer el equilibrio nos darán el peso del cuerpo. La ventaja de este procedimiento es que al trabajar con carga constante (tara), se puede conocer la sensibilidad de la balanza.

Entre la gente que se dedica a la "metrología", se ha ido colando alguno que otro químico, aunque algunos físicos e ingenieros pensaran que los químicos no hacían otra cosa más que utilizar termómetros y balanzas, que en última instancia eran los instrumentos clásicos de medir. Tampoco faltó entre los padres de la química quien se interesara profunda y respetuosamente por la metrología. Así por ejemplo el ruso Dimitri Mendeleev, a quien todos conocemos por su Tabla de los Elementos Químicos, llegó a ser miembro del Comité Internacional de Pesas y Medidas, al igual que Karl M. Siegbahn y su hijo Kai M. Siegbahn, merecedores del Premio Nobel de Física en 1924 el padre y en 1981 el hijo, por sus trabajos de espectroscopia, que permitieron analizar las ondas emitidas por los elementos químicos y las moléculas.

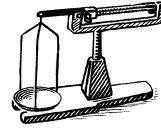
Esa simbiosis entre la física, la química y la tecnología hoy



Metrología básica de masa

impacta fuertemente en la metrología. En los últimos cinco años los principios de la metrología han ido penetrando en todos los campos de la química, en los ensayos de alimentos, en los análisis relacionados con la salud, en el monitoreo de la polución ambiental y el cambio climático, en biología y biotecnología. Muy pronto el ciudadano común llegará a percibirlo en cuestiones más tangibles. Casi todos hemos tenido que pasar alguna vez por un laboratorio de análisis clínicos por orden del médico. De los resultados de ese análisis sabremos si tenemos que cuidarnos para que baje, por ejemplo, nuestro índice de colesterol. Cuando se superen ciertos límites, el médico deberá decirnos que ha llegado la hora de tomar medicamentos, generalmente muy costosos, y en forma prolongada. Pero si observamos bien el informe del análisis veremos que solamente figuran números como resultado, sin indicación del error típico de ese análisis. Dirá por ejemplo que tenemos 210 mg/dl de colesterol y que el máximo aceptable es 200 mg/dl. ¿Puede ser que el análisis sea incierto? La respuesta es rotundamente sí, no podría ser de otra manera. Toda medición conlleva cierto grado de error. No nos referimos aquí a una equivocación, que también es posible, sino a la incertidumbre propia de cualquier medición, debida a los instrumentos utilizados.

Todos los equipos miden con una cierta cantidad de cifras y no más. Hasta allí llega la capacidad de medición. Además, los equipos pueden no estar calibrados o haberse descalibrado. Para verificar esto se precisan patrones. En química también. No solamente termómetros patrones, sino sustancias patrones, materiales de referencia.



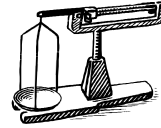
Capítulo 7. ¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE LA METROLOGÍA PARA LA SOCIEDAD?

Las mediciones juegan un importante papel en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica.

La metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa, las propiedades físicas y químicas de los objetos.

El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición. Las mediciones son un medio para describir los fenómenos naturales en forma cuantitativa. Como dijo Mendeleev, "la Ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones".

Ya sea café, planchas de madera, agua, electricidad o calor, todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a nuestras economías privadas. Los radares (cinemómetros) de las fuerzas de seguridad, con sus consecuencias económicas y penales, también son objeto de medición. Horas de sol, tallas de ropa, porcentaje de alcohol, peso de las cartas, temperatura de locales, presión de neumáticos, etc. Es prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a la metrología. El comercio, el mercado y las leyes que los regulan dependen de la metrología y del empleo de unidades comunes.



Metrología básica de masa

BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.bipm.fr>
- <http://www.cenam.mx>
- <http://www.euromet.org>
- <http://www.ibpinet.com.br/sim>
- <http://www.lcie.fr>
- <http://www.nist.gov>
- <http://www.oiml.org>
- <http://www.ptb.de>
- CASTRO, José. **Sistema internacional de unidades de medida.** 1999. INDECOPI. Perú.
- GARCIA, Carlos. **La candela, principios y usos.** 1999. CENAM. Mexico.
- MEDEIROS, Alvaro. **Fundamentos da metrología industrial.** 1997. Porto Alegre.