



**Uptc**

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia



# **METROLOGÍA INDUSTRIAL, SISTEMAS DE MEDICIÓN Y ASEGURAMIENTO METROLÓGICO**

Normalización y Metroología

Este material de autoestudio fue creado en el año 2007 para la asignatura Normalización y Metroología del programa Ingeniería Electromecánica y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.



Luis Alfonso Jiménez Rodríguez - aljiro5@yahoo.es

# **METROLOGIA INDUSTRIAL, SISTEMAS DE MEDICION Y ASEGURAMIENTO METROLOGICO.**

## **CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

### **1. HISTORIA Y EVOLUCION DE LA METROLOGIA**

#### **1.1 DEFINICION DE METROLOGIA**

Son innumerables las definiciones que existen alrededor la palabra Metrología. Sin embargo, se recogerán algunas de las más importantes, expresadas por influyentes entidades y personas que se ocupan de éste apasionado campo.

Según el **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION , ICONTEC**, en su norma NTC 2194, metrología es : Ciencia de la Medición.

Del documento intitulado : **FUNDAMENTOS DE METROLOGIA I PARTE** y editado por el mismo **ICONTEC** en junio de 1987, la Metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de medida.

De la Revista **CARTA METROLOGICA No. 6 - 1984 -** y publicada por el **SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA**, el Doctor John A. Simpson de la National Bureau of Standards, en su artículo “**LOS FUNDAMENTOS DE LA METROLOGIA**” , define la metrología como la ciencia de la medición y explica que usualmente se emplea el término con sentido más restringido, para señalar aquella parte de la ciencia de la medición que sirve para proveer, mantener y diseminar un conjunto consistente de unidades, o para dar una base sobre la cual se podrá fundamentar la obligación del cumplimiento o de las normas de equidad en el comercio expresadas por las leyes de pesas y medidas, o para suministrar los datos necesarios para el control de la calidad en la industria.

#### **1.2 HISTORIA Y EVOLUCION DE LA METROLOGIA**

Los historiadores coinciden en señalar que las primeras medidas que el hombre concibió fueron las de la **LONGITUD Y MASA** siendo las medidas de longitud las que precedieron a todas las otras. Lo anterior se puede explicar debido a que por ejemplo, el tiempo es una cantidad abstracta y el peso sólo adquiriría sentido hasta que más tarde se desarrollara algún tipo de referencia para comparar la cantidad de masa mediante la utilización de guijarros, granos, conchas, etc.

Sin embargo, tal parece que el **PRIMER PERIODO EVOLUTIVO DE LA METROLOGIA**, si se considera desde el punto de vista evolucionista, fue el **ANTROPOMETRICO**, en el que las unidades básicas de las medidas son partes del cuerpo humano. Aún hoy persisten dichas medidas que se emplean muy domésticamente para solucionar pequeños inconvenientes o como unidades de medición en sofisticados instrumentos de medida.

El hombre primitivo mide el mundo con su propio cuerpo. Es decir, el hombre mide el mundo consigo mismo. Se puede traer a colación la famosa frase de PROTAGORAS : “**HOMBRE, MEDIDA DEL UNIVERSO**”.

Mientras que sólo se trataban de medidas aproximadas, el ser humano empleó el **CODO** ; como la longitud del antebrazo desde el codo hasta la punta de los dedos, siendo el antebrazo el jeroglífico egipcio con el que se representaba ésta medida. **EL PALMO**, desde la punta del dedo meñique hasta la punta del dedo pulgar cuando la mano está totalmente extendida, siendo aproximadamente igual al codo. **LA LONGITUD DEL PIE**, una medida sumamente cómoda que era equivalente a unos dos tercios de un codo. Los hombres además emplearon **Su propia estatura** como aproximadamente igual a la distancia desde las puntas de los dedos de una mano hasta las puntas de los dedos de la otra mano cuando los brazos están totalmente extendidos horizontalmente ; esta equivalía a cuatro codos o a una **BRAZA** definida como la longitud de los dos brazos extendidos de un vikingo, existe un Relieve Griego que data del año 460-450 a.C. en donde una figura humana representa la braza, y está acompañada de un pie. ( Ver Figura 1 ).

Es de destacar, que desde el punto de vista del intelecto humano es loable la transición de las imágenes concretas personales desde el punto de vista de cada individuo mi braza, mi pie, tu braza, tu pie, etc., a “el dedo”, “la braza” etc. como un concepto general.

Suele suceder sin embargo, por ejemplo, que “el dedo” como un concepto abstracto, - medida antropométrica - sea definido por elementos no antropométricos. Por ejemplo, La **Definición Musulmana Medieval** de “el dedo”, lo considera como la **longitud de seis Granos de Avena yuxtapuestos**, mientras que cada uno de los granos tiene un ancho equivalente a **seis pelos de una cola de mula**.

Lo escrito arriba, se verá mejor cuando se analice el siguiente periodo metrológico que sucedió al periodo antropométrico.

Todo lo anterior conlleva a pensar que el sistema antropométrico de medidas era muy cómodo. Las medidas eran comprendidas universalmente. Todas las personas podían portarlas siempre a cualquier parte y las pequeñas diferencias individuales - debido a la diversidad en longitudes de pies, palmos, codos, etc. - no revestían mayor importancia ; no se necesitaba mayor grado de exactitud y las diferencias se podían arreglar con algunas concesiones beneficiosas para las partes. Otra peculiaridad de las medidas antropométricas se puede encontrar en el carácter significativo de las mismas como consecuencia del uso de diferentes medidas para objetos diversos. El Historiador K. Moszyński en su libro : Cultura Folclórica De Los Eslavos, tomo II, 1a. Parte, Cracovia 1934, p. 118, hablando de las medidas eslavas, dice : “Cada medida servía para cada cosa. **El pie** para distanciar las plantas de patatas, **el paso** para la longitud (pero en distancias cortas), **el codo** para los géneros, jamás para maderas, que se medían en **varas**.

El campesino pescador, al hablar de su red, dice que tiene 30 varas de largo por 20 codos de ancho”.

El **SEGUNDO PERIODO EVOLUTIVO DE LA METROLOGIA** busca sus unidades de medición en Personajes importantes, condiciones, objetos y resultados de la labor humana. En muchos casos, el desarrollo de sistemas metrológicos estuvo regido por las condiciones de vida y de trabajo como sucedió con las medidas agrarias. La razón era que las medidas antropométricas variaban de un individuo a otro dando como comienzo a discrepancias entre individuos hasta tal punto que ese pie, esa palma, ese dedo, debían corresponder al Jefe de la Tribu, al Príncipe o al Rey o algunos objetos que se establecían como patrones o referencias. ( Ver Figura 2 ).

Casos de lo anteriormente expuesto se encuentran en la sociedad egipcia con el **Cubit Real Egipcio**, (ver más adelante) y la **Yarda** (Definida la distancia entre la Nariz y el Pulgar con el brazo extendido del Rey Enrique I).

Mediante unos ejemplos, se puede ilustrar lo anteriormente escrito :

Los nómadas del Sahara donde la exacta apreciación de la distancia entre un pozo de agua y el siguiente tiene una importancia de vida o muerte, poseen una terminología muy rica en cuanto a las medidas de longitud.

Allí **el camino se mide** en Tiros de Bastón, Tiros de Arco, Alcance de la Voz, Alcance la Vista desde la Grupa de un Camello, por la marcha desde el amanecer hasta el ocaso, desde la primera hora de la mañana, media mañana, medio día, por la marcha de un hombre cargado y uno sin carga, por la marcha de un asno o un buey cargado, por la marcha en terreno fácil o difícil, etc. Estas unidades tienen una existencia de por lo menos mil años.

Es maravillosos el mundo de las medidas utilizando referencias ajenas al propio cuerpo y de ahí que se explique su extraordinaria diversidad sino, por ejemplo, veamos más de ellas :

Las antiguas recetas etíopes dan como **medida de la Sal** : la cantidad necesaria para cocinar una gallina. Universalmente se encuentra la distancia correspondiente al recorrido de una flecha como **medida de distancias**. Más **insólita esta forma de medir distancias utilizada en** recorrido de un hacha lanzada hacia atrás por un hombre sentado. En Eslovaquia se utiliza para **medir distancias** el tiro de piedra, mientras que en Letonia se utilizaba en pleno siglo XIX el tiro de piedra y el tiro de arco como también el relincho del caballo o el mugido del toro -(“a dos mugidos de toro del camino”) comprobado esto último por una expedición realizada en tal región en el año 1947.

Otras formas de medición que utilizan referencias extracorporales se pueden encontrar en la alta edad media en Europa en donde se utilizan dos clases de medidas para las superficies agrarias como son : **El tiempo de trabajo** (como por ejemplo la unidad que los franceses denominan **arpent** y los naturales de Borgoña, champaña y otras provincias **Journau** y que está definida como la superficie que dos bueyes o caballos pueden arar en un día) y por **la cantidad de granos sembrados** ( durante la siembra en forma manual la cantidad de pasos equivalen a la cantidad de puñados lanzados, utilizada en la antigua Polonia).

Continuando con la historia de la metrología, se ha reconocido como la unidad patrón de longitud que tiene más antigüedad el **Cubit Real Egipcio** que era igual a la longitud del brazo con la mano extendida del Faraón que reinara en el momento. Se sabe que 3000 años a. C. esta medida fue reemplazada por unidades normalizadas divididas en partes iguales y construidas en granito negro que sirvieron como patrón.

El pueblo Egipcio se caracterizó por ser una sociedad avanzada en lo Científico y Comercial y es así que dentro del terreno de las mediciones, legaron a la humanidad maneras de determinar el peso de objetos o sustancias utilizando para ello sofisticadas balanzas cargadas de significado místico y religioso, como de práctico y que eran complementadas por pesas en forma de animales domésticos y pájaros como se muestra en sus pictogramas.

También emplearon la balanza los Romanos quienes la desarrollaron con una variante, en la que el objeto que se quiere pesar no es equilibrado variando el peso en el otro extremo de un brazo de longitud fija, como la egipcia, sino moviendo un peso fijo a lo largo del brazo , en forma tal , que graduando apropiadamente éste, se puede leer directamente el peso del objeto o sustancia. Dicha balanza se denominó Romana y data aproximadamente del año 79 después de Cristo.

La balanza de paso posteriormente, en la época medieval al surgimiento de medidas de volumen cuyo destino era la determinación de cantidades tanto de áridos (especialmente granos) como de líquidos. Dichas medidas se efectuaban por medio de un patrón que consistía en un recipiente que tenía forma de tonel y que era fabricado en cobre o por medio de un recipiente cilíndrico excavado en madera. Estos se extendieron con el nombre de **KORZEC o Boisseau**. Este sencillo artefacto,

sin embargo, no era de fácil manufactura y se prestaba a su alterabilidad por lo que tuvo que ser reglamentado en las diversas regiones de la Europa del Medioevo.

Tratando de resumir hasta aquí el hombre estableció medidas que primeramente estuvieron relacionadas con la longitud, peso y tiempo, para posteriormente agregar el volumen y ángulo fruto de la necesidad de erigir las construcciones (Pirámides, Palacios, Vías de comunicación, Canales de riego, etc.).

Para todas estas necesidades de medir, llegó a establecer unidades y patrones. En el caso del tiempo, el hombre primitivo sólo se interesó por la actividad diaria que comenzaba al amanecer y acababa con el crepúsculo. Más bien, era importante para él la sucesión de las estaciones en relación con la maduración de los frutos y granos y las migraciones estacionales de buena parte de la vida animal, y en cuanto se establecieron asentamientos permanentes, el ciclo de las estaciones determinó las épocas para las diversas operaciones del periodo agrícola.

Del anterior modo, los egipcios primitivos reconocían tres estaciones - la de la crecida del Nilo, la de la siembra y la de la cosecha - que duraban cada una cuatro meses lunares, y contaban cada año desde el momento en que el orto helíaco de Sirio, la estrella más brillante, advertía la inminencia de la inundación anual.

Sin embargo, el mes lunar es de  $20\frac{1}{2}$  días aproximadamente, mientras que el año - el periodo de revolución de la tierra alrededor del sol - es de  $365\frac{1}{4}$  días aproximadamente. Por lo tanto, un año de doce meses lunares queda desfasado de las estaciones aproximadamente once días al año. Esta discrepancia fue subsanada por los egipcios, introduciendo un mes extra cada tres años, o a veces cada dos años. Para evitar ésta diferencia se introdujo un calendario civil en algún momento a comienzos del tercer milenio A.C. basado en un año civil de 365 días, que los sabios en su tiempo , diseñaron y aplicaron

Figura 1. Medidas antropométricas

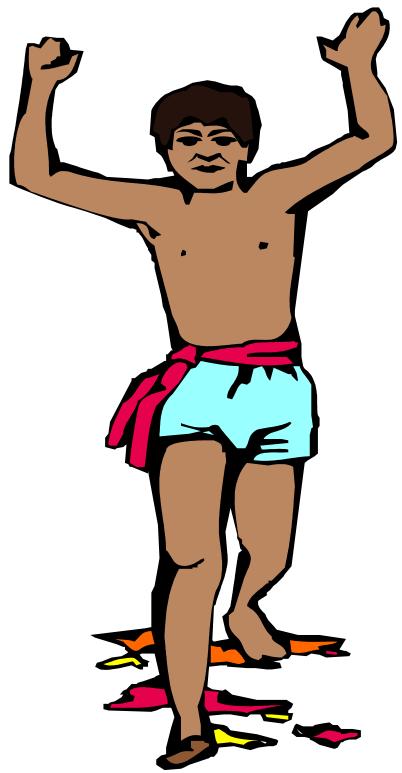


Figura 2. Segundo período evolutivo de la metrología



fundamentados en observaciones astronómicas, dividido en doce meses de treinta días cada uno : los cinco días sobrantes se introducían como un período especial al comenzar el año. Este año civil era utilizado para asuntos profanos ; el calendario lunar era utilizado por los sacerdotes. Se hizo necesaria otra revisión del calendario, a pesar de todo, cuando se hicieron patentes los efectos de las seis horas en la que el año sideral excede los 365 días. Esto se efectuó introduciendo, alrededor del año 2500 a.C. un calendario Lunar especial de trece meses que estaba de acuerdo con el calendario civil.

Hacia el año 357 A. de C., se introdujo un calendario lunar revisado, basado en un ciclo de veinticinco años. Ya en el año 239 a. de C., los egipcios se dieron cuenta de que el adelanto en el calendario civil de un día cada cuatro años podría ser impedido introduciendo simplemente lo que ahora se llama un año bisiesto.

Los Babilonios, los Griegos y los Judíos se encontraron con las mismas dificultades sobre la conciliación del año solar con el lunar, y lo resolvieron de forma similar, introduciendo varios períodos intercalados que tendrían en conjunto hacer un año de 365  $\frac{1}{4}$  días. Nuestro moderno calendario a pesar de todo, tiene su principio en el calendario local de la ciudad de Roma, que aparentemente fue introducido por los reyes etruscos, igual que otros calendarios primitivos, difería de las estaciones y cuando la diferencia se hubo ampliado hasta ochenta días, Julio Cesar que buscó el consejo del astrónomo Sosígenes de Alejandría, decidió una reforma fundamental. El nuevo calendario nacido de esta reforma, estaba basado también en la representación del año solar de 365  $\frac{1}{4}$  días, con tres años de 365 días, seguidos por uno de 366.

El calendario Juliano se mantuvo en uso desde el año 45 a.C. hasta la famosa reforma Gregoriana en 1582 d.C., que surgió a causa de la incertidumbre del día adecuado para la celebración de la pascua de Resurrección. La fecha de está pascua que proviene de la pascua Judía, es determinada por la fecha de la primera luna llena después del paso del equinoccio vernal, que tenía lugar en 325 d. C., el 21 de marzo, según el calendario Juliano. Después de 1250 años, sin embargo, el equinoccio vernal se había retrasado unos diez días y en consecuencia la fecha correcta de la pascua de resurrección - de inmensa importancia en todo el mundo cristiano - era insegura. Esta otra variación surgió porque la suposición de que el año solar es de 365  $\frac{1}{4}$  días, no es del todo cierta ; la diferencia anual es de unos 11 minutos. La Bula Papal ordenó en 1582 que, en vez de haber un año bisiesto cada cuatro años, debería haber 97 años bisiestos en 400 años : para eliminar el error acumulado, el 5 de octubre de 1582 se convirtió en el 15 de octubre de ese mismo año. La mayor parte de los países continentales adoptaron rápidamente la reforma, pero pasaron muchos años hasta que Gran Bretaña y algunos otros países no católicos hicieron lo mismo. Gran Bretaña no realizó el cambio hasta 1752 ; Rusia no lo hizo hasta 1918 y Turquía en 1927.

El establecimiento de un calendario satisfactorio, es históricamente de primera importancia. Mientras la agricultura fue la principal actividad de las naciones civilizadas, el calendario confería la gran ventaja de posibilitar la planificación del trabajo estacional sin referencia a las fases de la luna, y su valor para el comerciante, el sacerdote, el cobrador de impuestos y el historiador, no necesita ser subrayado. A partir de éste momento empezaría la historia del Reloj como instrumento para medir el transcurso del tiempo que empezaría con el reloj de sombra del año 1450 A.C.aproximadamente, encontrado en Egipto.

Un **TERCER PERIODO EVOLUTIVO DE LA METROLOGIA**, lo constituye (sin ser muy estricto en ésto de los períodos que sólo se emplean aquí como un modo de ordenar ésta cronología), las tendencias unificadoras que, a lo largo de la historia , han sido influídas por dos grandes factores de peso: la comercialización y la voluntad de los estados por ingerencia de sus reyes ,originando como consecuencia, la tendencia a la mutabilidad y la inercia. ( Ver Figura 3).

Figura 3. Los Reyes como promotores de tendencias unificadoras.



En el siglo VI d. C., los romanos establecieron un sistema rudimentario de mediciones y Carlomagno en el año 789 realizó esfuerzos para unificar las unidades de medición en el territorio por él gobernado siendo entorpecida esta labor por los señores feudales que querían implantar su propio sistema de medición. Cabe destacar que Carlomagno restableció el denominado Pie Real Carolingio y le infringió garantía estatal para difundirlo territorialmente permaneciendo prácticamente inmutable hasta la gran Revolución Francesa. El tamaño del Pie se encontró en el muro de uno de los castillos normandos en 1589 acorde con las dimensiones en vigencia después de una aparente transformación en 1667.

Eduardo I de Inglaterra en 1239 ordenó por primera vez la confección de una barra de hierro para ser utilizada como patrón en todos sus dominios y **estableció que 1 pie = 1/3 yarda** definida como la distancia entre la nariz y el pulgar con el brazo extendido del rey Enrique V.

La primera yarda que todavía existe fue establecida por Enrique VII en 1497 y luego viene la yarda de Elizabeth I en 1558.

Una nueva yarda de Bronce fue fabricada por John Bird en 1760. Se utilizan dos puntos finos con tapas de oro colocadas dentro de 2 agujeros de la barra de bronce. Se legalizó en 1824 con el nombre de Imperial Standard Yard.

En el siglo XVII en Francia se inventó la TOESA equivalente a 1 m. 904 mm de longitud. Según B.A. Rybakov, tras analizar textos relativos a la medición Antropológica por una parte, y efectuar mediciones antropométricas de varios hombres de 170 cm. de altura, demostró la existencia de diversos métodos para establecer cada una de las medidas antropométricas de longitud que para el caso de la TOESA sería equivalente a la longitud entre las puntas de ambos dedos de en medio con los brazos abiertos, o entre ambas muñecas, o desde la punta del dedo de en medio del brazo levantado hasta el suelo ; todo dependía de región geográfica. Esta toesa se materializó en una barra de hierro que se fijó en uno de los muros del palacio de Chatelet.

La antigüedad nos ha legado leyendas sobre las leyes unificadoras : una , la de **FILIPO de Macedonia** , y otra , la de **Alejandro Magno, sobre la medida capitolina** de acuerdo con la reforma Unificadora de Justiniano.

A partir del ocaso de la antigüedad, se conocen en Europa tres grandes fases de actividad unificadora en la esfera metrológica : **La Carolingia, La Renacentista (absolutismo) y la de la Ilustración (Absolutismo Ilustrado)**. El mayor impulso unificador se producirá en los principios del Capitalismo, bajo la forma de la **Revolucionaria Reforma Métrica de la Francia Republicana en 1799**. Desde aquel día el sistema métrico partió a la conquista del mundo.

El 14 de septiembre de 1918 fue adoptado en la URSS por un decreto del consejo de los comisarios del pueblo. En 1958 comenzó a aplicarse en Japón.

Actualmente, dentro de los países más importantes, únicamente los Anglosajones no lo utilizan, pero han logrado dentro de sus fronteras una homogeneidad metrológica avanzada.

En **Inglaterra**, que constituía en la Edad Media un reino relativamente bien administrado, las **reformas metrológicas medievales** tal vez fueron más eficaces, sin excluir la posibilidad de que su eficiencia fuese resultado de un compromiso : la monarquía ordena la unificación pero respeta las medidas señoriales.

**En los estados de la Orden Teutónica**, eficazmente administrados, la reforma unificadora es promovida por Ulrich von Jungingen. Se trata de una reforma parcial, ya que unifica sólo las unidades de superficie agraria para lograr la unificación de los tributos de los vasallos.

Otakar Premysl intenta aplicar una reforma unificadora en **1268 en Checoslovaquia**.

**En España Medieval** se conocen por lo menos cinco grandes tentativas de unificación : la de Alfonso X en 1261, Alfonso XI en 1348, Juan II en 1345, Fernando e Isabel en 1448 y finalmente, la de Felipe II en el año 1568 con una eficacia mayor, aunque también limitada.

La segunda fase unificadora **La Renacentista** se dio en España con Felipe II ; en Francia bajo Francisco I. Paralelamente en Rusia, intentos análogos fueron realizados por Ivan el Terrible (una Fe, un peso, una medida).

Finalmente la tercera fase unificadora, la de la **Ilustración**, llega en el siglo XVIII con la neta supremacía de Europa Central y Oriental Austria, Rusia y Prusia. El despotismo ilustrado de esos países desarrollando y organizando su inmensa administración y burocracia, se encontraba a cada paso con las dificultades provocadas por la diversidad de las medidas utilizadas en las diferentes regiones del país.

Las unificaciones premétricas del siglo XVIII no tienen objetivos universales ; al contrario, las medidas deben ser atributo del soberano y tener un alcance igual a la extensión de su poder, tal como venía considerándose desde los tiempos carolingios.

**Esta tendencia del poder estatal corre pareja con los resultados de los razonamientos de los científicos.** Los progresos de la matemática en el siglo anterior y de las ciencias naturales en el siglo XVII condujeron a muchos eruditos a considerar la posibilidad de una **medida estable, inmutable y precisa.**

La reforma, en éste sentido, más antigua en 1705, fue emprendida por Austria con grandes problemas pues los **señores Feudales** se encargaron de sabotearla.

Al fin se puede llegar a Francia, esto es en la época de la Revolución Francesa año 1789. El monopolio señorial de las pesas y las medidas se derrumbó conjuntamente con el feudalismo y según un informe sobre ésta cuestión presentado por el **Obispo de Autun, Tayllerand** se conoce su proposición de rechazar la idea de aplicar las medidas parisienses en toda Francia y propone fijar un nuevo prototipo que este "tomado de la naturaleza", y, en consecuencia sea aceptable por todas las naciones. Además propone que los trabajos de presentación se lleven a cabo desde un principio por la Asamblea Nacional y la Academia francesa conjuntamente con la afamada Royal Society y el Parlamento Inglés.

El 8 de mayo de 1790 éstas bases fueron aprobadas por la Asamblea Nacional, que encargó la ejecución de la reforma a la Academia de Ciencias, ordenando simultáneamente que en dicha Academia se reunieran todas las medidas utilizadas en las provincias. Aparentemente, se creyó que era una tarea fácil y se previó que a los seis meses del envío de los nuevos patrones a los diferentes municipios, se procedería a la abolición de las medidas viejas y a su sustitución por las nuevas.

Sin embargo, hasta el 26 de marzo de 1791 no aceptó la Asamblea Constituyente el principio de tomar como fundamento para el nuevo sistema de pesas y medidas, la longitud del meridiano medida sobre el segmento que une Dunkerque con Barcelona, propuesta por Condorcet a quien se le había encomendado la tarea de unificación y quien era secretario de la Academia de Ciencias.

A lo anterior, se debe complementar que la Revolución Francesa desencadenó en Francia una ola de quejas contra las **Estafas Metrológicas**. Aunque de tiempo atrás ya venían presentándose éstas anomalías, el derrumbamiento de las instituciones francesas propició la oportunidad para expresar las quejas por parte de los campesinos en contra de los señores, ante los tribunales de las asambleas revolucionarias.

Se recordará en la historia, que la colaboración francoinglesa resultó ser un fracaso rotundo, pero **Condorcet seguía considerando como principal objetivo de la reforma su universalidad :** según él no debía poseer ninguna de las características particulares, nacionales, específicamente francesas, a fin de que pudiera ser aceptable para todas las naciones. Por ésta razón debía basarse en la naturaleza, porque la naturaleza, en particular para los **filósofos de la Ilustración, era común para todos los pueblos y constituía el lazo que los unía entre sí.**

Un **CUARTO PERIODO EVOLUTIVO DE LA METROLOGIA** lo constituye la historia, de la unificación por excelencia que son : **EL SISTEMA METRICO DECIMAL Y EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (S.I.).**

Un fenómeno sólo se conoce bien a partir del momento en que pueda expresársele por medio de números, es decir, medirlo.

Este principio enunciado ya por Platón y precisado por Kelvin a fines del siglo XIX domina toda la vida moderna. En nuestra época hay que traducirlo todo en cifras, es decir, hay que medirlo todo.

Pero para medir bien es necesario tener unidades fáciles y definidas con precisión.

El Sistema Internacional de Unidades,(S.I.) viene a satisfacer ésta necesidad.

Cómo fue está establecido ?

Mucho antes de ser internacional, éste problema fue sacado a relucir, como se anotó antes, por la Revolución Francesa en 1789. Los hombres de aquella época pensaron que el sistema por crear debería poder convertirse en internacional, idea que los llevó a dos conclusiones : La primera, que había que utilizar la numeración decimal, ya que ésta se empleaba en todos los países del continente europeo. La segunda, que las unidades a crear no deberían tener relación alguna con ningún país. Había pues que partir de **fenómenos físicos universales** que después de ser discutidos, fueron : **El Meridiano Terrestre** para la longitud y **El Agua** para la masa.

Para traducir en escala humana, se tomó la diezmilónésima parte del cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París, que se llamó **Métró** (del griego : Metrón).

Distintos sabios, matemáticos, físicos, astrónomos, etc., se encargaron de las operaciones técnicas y materiales. Se solicitó la colaboración de otros países y algunos delegados extranjeros participaron en el trabajo, especialmente un Holandés, **Van Swinder** y un Suizo **Tralles**.

Las necesidades industriales eran muy reducidas, y bastaba con tener unidades de longitud, Superficie, Volumen y Masa (que entonces se llamaba paso). Tomando como base el Metro, las unidades de superficie y volumen fueron el cuadrado y el cubo, construidos sobre la unidad de longitud.

Para la masa, se tomó el Agua (cuerpo Universal) contenida en un cubo de 1/10 de metro de lado, que daba una unidad de valor adecuada : El Kilogramo.

Quedaba por solucionar una última cuestión importante, la de los múltiplos.

El principio de numeración decimal dio la respuesta : Todos deberían ser decimales y se crearon los **Prefijos** que añadidos al nombre de la unidad base, servían para designar 10, 100, 1000, la unidad, 0, 1/10, 1/100, 1/1000 de la unidad (deca, hecto, kilo, deci, centi, mili), aunque sin embargo, se crearon algunos nombres especiales para usos particulares e importantes : el Área, para medidas agrarias, por ejemplo.

No se decidieron ir más lejos decimalizando también las Unidades de Tiempo y Angulo, relacionadas con los fenómenos astronómicos.

Después de diez años de trabajos (1799), los **patrones definitivos** del metro y del Kilogramo sólo aparecieron en los **Archivos Nacionales**.

El primero era un modelo de los llamados bordes, es decir que el metro era la distancia entre las dos caras terminales, bien planas y paralelas de una regla de sección rectangular.

El Kilogramo era un cilindro de una altura sensiblemente igual al diámetro.

La exactitud del metro con relación a la definición teórica fue evaluada en 2 ó 3/100000 mientras que la del Kilogramo, no fue expresamente precisada. Con ésta oportunidad se inscribió una medalla que sobre uno de sus lados llevaba la audaz divisa de : **Para todos los tiempos para todos los pueblos.**

Las bases del sistema métrico decimal estaban sentadas y con un espíritu internacional. ¿Seguirá pues éste camino ?

El conocimiento del sistema se extendía por el mundo. En 1840 se construyó una Treintena de series de Patrones que se enviaron a diferentes países de Europa y América.

Las exposiciones universales que se celebraron en París en 1851 y 1855 y sobre todo en 1857, llevaron la cuestión a un plano internacional.

Siguiendo una petición de la Academia de Ciencias de San Petersburgo (Leningrado), se propuso en 1869, la reunión de una comisión internacional del metro. Veinticuatro estados designaron delegados que se reunieron en París en agosto de 1870 y nombraron los miembros de un comité de investigaciones preparatorio que (debido a la guerra de 1870-71), sol se pudieron reunir en París en 1872.

Finalmente, 51 delegados en representación de 30 países entre los cuales se encontraba Inglaterra U.S.A. y ocho países de América Latina, se reunieron desde el 24 de septiembre hasta el **12 de octubre de 1872 constituyendo la Convención Internacional del Metro** y celebraron once sesiones para adoptar 33 resoluciones que creaban las bases para un **SISTEMA DE UNIDADES INTERNACIONALES**. Se constituyó un comité permanente cuyo presidente fue el español IBAÑEZ y secretario un holandés, M. Bosscha que llegó rápidamente a conclusiones técnicas y en 1875 sometió el conjunto de la cuestión a la Conferencia Diplomática llamada del metro. Esta llegó a crear la Organización Internacional tanto desde el punto de vista técnico como diplomático.

Después de discusiones difíciles, se crearon los siguientes organismos :

- Una Conferencia General de Pesas y Medidas, compuesta por los delegados plenipotenciarios y científicos de los estados que se reunirían cada seis años y que fuera encargada de tomar todas las decisiones de principio.
- Un comité Internacional de Pesas y Medidas, cuyos miembros los designa la Conferencia General y que se encarga de las decisiones de la conferencia general y que se reúne como mínimo cada dos años.
- Un Buró Internacional de Pesas y Medidas encargado de ejecutar todos los trabajos metodológicos decididos por la conferencia y el Comité.

Este organismo permanente se instaló en el Pabellón de Breteuil en Sevres cerca de París, en un terreno que goza de la cláusula de Exterritorialidad.

A partir de éste momento (1875), el Sistema métrico de hecho y derecho se convirtió en internacional.

¿Cuál fue entonces su evolución ?

El Buró Internacional de Pesas y Medidas había sido encargado de elaborar nuevos patrones del metro y el kilogramo, asegurar su conversación y proporcionar a los estados, **Patrones Nacionales**, comparar las antiguas medidas nacionales con los patrones métricos internacionales y efectuar todos los trabajos de alta precisión.

En ésta época las necesidades en todos los campos : Científico, Industrial, Comercial e incluso Agrícola, etc., habían cambiado mucho con el desarrollo de todas las técnicas.

Los patrones anteriores se hicieron insuficientes y era necesario mejorar su precisión y su invariabilidad. Se decidió abandonar las definiciones teóricas anteriores y realizar en las condiciones de precisión e invariabilidad lo mejor posible, nuevos patrones del metro y del kilogramo, idénticos al metro y el kilogramo de los archivados tomados en el estado en que se encontraban.

La materia seleccionada para uno y otro fue la aleación de Platino-Iridio en una proporción de 90-10%.

En lugar de un metro de "Bordes" se escogió un metro trazado sobre la Pared Axial (llamada fibra Neutra). De una regla de sección X, perfectamente rígida. La distancia es la comprendida entre los ejes de los trazos transversales tomados a micrómetro y limitados por dos trazos longitudinales separados 0.1 mm. que definen el eje de la regla.

**Un lingote platino excepcionalmente grueso, fundido por la firma inglesa Johnson Mathais y Cía.,** sirvió para elaborar 40 cilindros de un Kg. Y 30 metros. Entre éstos se escogió como **Prototipos internacionales** el metro y el kilogramo respectivamente que fueron los más próximos a los patrones de archivo.

Su exactitud de definición puede ser estimada aproximadamente en 0.1 - 0.2 micras para la longitud y 0,01 mg para la masa, es decir 0.00000001 g.

En ésta oportunidad se decidió definitivamente entre la unidad fundamental de fuerza o de masa : se adoptó la segunda.

En 1889 la primera Conferencia General de Pesas y Medidas sancionó esos resultados y distribuyó, sacándoles a suerte, los otros patrones entre los diferentes estados.

**Para comparar las masas,** se utilizaron Balanzas de Brazos iguales, construidas con la mayor precisión posible, manipuladas a distancia y colocadas en un recinto a temperaturas constantes, con un grado higrométrico conocido etc.

**Para las longitudes de bordes** se hicieron varios comparadores de contactos cada vez más perfeccionados y para los metros de trazos, comparadores microscópicos provistos de micrómetros que aseguran la décima de micra.

También comenzó a utilizarse el **método interferencial** que permite percibir con seguridad la centésima de micra y que 70 años más tarde debía llevar a una nueva definición del metro. Durante éste periodo las atribuciones del Buró internacional se extendieron a las magnitudes de otra naturaleza y al estudio de los fenómenos que influyen sobre las mediciones, para mejorar la precisión de los patrones y los métodos operativos.

Se puede citar en particular :

- la Intensidad Normal de la aceleración de la gravedad definida en 9.80665 metros por segundo al cuadrado;
- la Temperatura acordada para adopción de la escala internacional;
- la dilatación de sólidos y líquidos utilizada en las mediciones fundamentales;
- estudio de Aleaciones de dilatación débil, útiles en Metrología;
- la determinación del volumen del Kg de agua fijada en 1000,028 decímetros cúbicos, lo que confirma la excelencia de las operaciones en 1792;
- las mediciones Geodésicas útiles para la Cartografía Nacional e Internacional;
- los fenómenos interferenciales;
- los patrones Eléctricos (1927);
- los patrones fotométricos (1933);

Ante el desarrollo de la ciencia y de la tecnología en alguno de esos campos, el Comité Internacional ha organizado la colaboración con los organismos nacionales especializados, creando comités consultivos destinados a informar sobre ciertas cuestiones. Son las siguientes :

- el comité consultivo de la Electricidad. 1927;
- el comité consultivo de Fotometría. 1933;
- el comité consultivo de Termometría. 1937;
- el comité consultivo para la definición del metro 1952;
- el comité consultivo para la definición del segundo 1956;
- el comité consultivo para los patrones de medir radiaciones ionizantes;

El comité consultivo para la definición del metro, tiene una importancia particular que se puede explicar como sigue.

Reuniendo los trabajos de más de medio siglo sobre las interferencias luminosas, ha podido llegar a una **nueva definición del metro**, basada sobre un fenómeno físico perfectamente estable y reproducible, como deseaban los creadores del sistema métrico. Esta longitud es la **Radiación Luminosa** emitida en el vacío por una lámpara de Criptón de unas determinadas características.

Después de Octubre de 1960 el metro es la longitud igual a 1650763,73 longitudes de onda del criptón 86 y modernamente, es decir, **en la actualidad**, el metro se ha definido en términos de velocidad de la luz (C) y del tiempo empleado por ella para recorrer un metro. A ésta definición se le denomina **PATRON LUMINOSO**.

El instrumental necesario para ésta operación es extremadamente complejo ( para la definición de octubre de 1960), pero permite obtener una exactitud de 0.001 micras , es decir, 100 veces mayor que con el patrón de platino y el comparador de microscopio.

Sin embargo, la recomendación de la XI Conferencia General (1960), dijo : el Prototipo Internacional de 1889 serás conservado y de hecho todavía se utilizan los antiguos métodos de medición óptica.

El **Segundo de Tiempo** ya no va relacionado con el movimiento de rotación de la tierra que se creía regular pero cuyas irregularidades han podido constatarse. Este ha sido definido como una fracción de 12 cifras de denominador del año tropical de 1860 e incluso se orienta hacia la **resonancia de un átomo de Cesio**. Por el momento solamente el kilogramo se mantiene fuera de ésta evolución hacia patrones atómicos.

El Buró internacional de Pesas y Medidas ha extendido su actividad a otras magnitudes : Temperatura, Electricidad y Luz.

Así pues en esos campos se utilizaron unidades variadas : Grado Centígrado, Fahrenheit, Reaumur, etc. la situación más confusa se daba en el campo de la Electricidad. A proposición de la British Asociation en 1873, el Congreso Internacional y su comisión del sistema de unidades, completan el sistema enumerando las **Unidades Secundarias** derivadas que parecían oportunas de acuerdo a toda clase de utilización a nivel científico e industrial o comercial.

Se efectuó una encuesta en los países firmantes de la convención del metro y fue así como en **1960 la XI Conferencia General adoptó una resolución (la No. 12) que tomaba de nuevo las seis unidades básicas, precisaba el nombre de SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES**

**S.I.** y enumeraba las unidades complementarias : Angulo Plano y Angulo Sólido y 27 unidades derivadas “sin perjuicio de otras unidades que pudieran añadirse en el futuro”.

Esas 27 unidades fueron seleccionadas por su importancia práctica y abarcan medidas geométricas, mecánicas, la presión, la viscosidad, la energía y el calor, la electricidad (10 unidades) y por último la luz.

El SI pone fin pues, a éste largo periodo de ambigüedad. Al precio de un esfuerzo de adaptación de todos, permite tener un lenguaje en todos los campos y en todos los niveles de la ciencia y de la técnica y el cuadro así creado podrá en el futuro recibir todos los complementos que parezcan útiles. El SI es el resultado actual de un trabajo largo comenzado en Francia pero continuado durante 90 años en un marco internacional para poner a disposición de todos los hombres un conjunto de unidades cómodas, necesarias en el desarrollo de la ciencia y de la técnica.

**OBSERVACION :** Para el año 1987 se cuenta con una unidad más que es la **Cantidad de sustancia constituyendo un cuadro de siete unidades básicas**.

**Las siete unidades básicas del S.I.** son : ( Ver Tabla 1 ).

Tabla 1. Magnitudes y unidades básicas del sistema S.I.

MAGNITUD BASICA	NOMBRE	SIMBOLO
LONGITUD	metro	m
MASA	kilogramo	kg
TIEMPO	segundo	s
INTENSIDAD ELECTRICA	ampere	A
TEMPERATURA TERMODINAMICA	kelvin	K
CANTIDAD DE SUBSTANCIA	mole	mol
INTENSIDAD LUMINOSA	candela	cd

FUENTE : Norma Técnica Colombiana ICONTEC 1000.

Los nombres de los múltiplos y submúltiplos de las unidades, se forman por medio de prefijos :

<i>tera</i>	<i>T</i>	$10^{12}$	<i>kilo</i>	<i>k</i>	$10^3$
<i>giga</i>	<i>G</i>	$10^9$	<i>hecto</i>	<i>h</i>	$10^2$
<i>mega</i>	<i>M</i>	$10^6$	<i>deca</i>	<i>da</i>	10
<i>deci</i>	<i>d</i>	$10^{-1}$	<i>mili</i>	<i>m</i>	$10^{-3}$
<i>centi</i>	<i>c</i>	$10^{-2}$	<i>micro</i>	$\mu$	$10^{-6}$
<i>nano</i>	<i>n</i>	$10^{-9}$	<i>pico</i>	<i>p</i>	$10^{-12}$
<i>femto</i>	<i>f</i>	$10^{-15}$	<i>atto</i>	<i>a</i>	$10^{-18}$

Las anteriores acepciones están contenidas en la norma ICONTEC 1000.

Las unidades suplementarias, de otra parte, son : ( Ver Tabla 2 ).

Tabla 2. Unidades suplementarias

MAGNITUD BASICA	NOMBRE	SIMBOLO
ángulo plano	radián	rad
ángulo sólido	estéreo-radián	sr

FUENTE : Norma Técnica Colombiana ICONTEC 1000

Y así con todos los planteamientos anteriores, se ha logrado sintetizar una historia de la Metroología que es muy abundante en datos, anécdotas y fuentes de información, que aportan un claro panorama de cómo el hombre se las ha ingeniado para conocer más del mundo que lo rodea.

### 1.3 CLASES GENERALES DE MEDICIONES

Las mediciones se pueden clasificar en forma general de acuerdo a los grandes campos de su aplicación , como sigue en la siguientes definiciones que se suministran .

#### 1.3.1 Mediciones técnicas .

Esta clase incluye las mediciones realizadas para asegurar la compatibilidad dimensional, la conformidad con especificaciones de diseño necesarias para el funcionamiento correcto, o en general, todas las mediciones que se realizan para asegurar la adecuación de algún objeto con respecto al uso previo.

#### 1.3.2 Mediciones legales.

Aquí se incluyen las mediciones hechas para asegurar el cumplimiento de una ley o reglamentación. Esta clase cae en la esfera de acción de las organizaciones de Pesas y Medidas.

Estas organizaciones se manifiestan en forma de entidades estatales , gubernamentales o municipales , que reglamentan las actividades comerciales en el campo metrológico. Ej : sanciones por adulteración de balanzas , metros etc.

### 1.3.3 Mediciones Científicas.

Son aquellas realizadas para convalidar teorías sobre la naturaleza del universo, o para sugerir nuevas teorías. Estas mediciones, que pueden constituir lo que se podría llamar Metroología Científica, es propiamente el dominio de la FISICA EXPERIMENTAL y tal vez sea la metrología más complicada y que presenta un estado altamente evolucionado si se tienen en cuenta revolucionarios aparatos de medición y sistemas sofisticados y por computador para el tratamiento de datos. Muchos de los aparatos de medición que nacen de la física experimental, se convierten a la postre en elementos de uso rutinario dentro de la metrología técnica.

## 1.4 DEFINICIONES BASICAS DE METROLOGIA

**Magnitud mensurable.** Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que se puede distinguir en forma cualitativa y determinar en forma cuantitativa.

Existen Magnitudes en sentido general y Magnitudes en sentido particular.

Como magnitudes en sentido general, se pueden mencionar : masa, resistencia eléctrica, temperatura, humedad, etc.

Como magnitudes en sentido particular se pueden citar por ejemplo : la Temperatura de ebullición del aceite, la longitud de un tramo de carretera, la temperatura de un horno para la preparación de un alimento, el tiempo en que un objeto colisiona con otro,la densidad de un Plástico determinado,la duración de un viaje desde Bogotá a Chía, etc.

**Magnitud básica .** Cada una de las magnitudes que en un sistema de magnitudes se acepta por convención como funcionalmente independiente respecto a otras. Ejemplo : El sistema S.I.

**Magnitud derivada.** En cada una de las magnitudes que correspondiendo a un sistema de magnitudes, se puede definir en función de magnitudes básicas de ese sistema. Ejemplo : la velocidad de un móvil cuya unidad es : m/s, es decir, compuesta por dos magnitudes básicas como son el metro (m) y el segundo (s).

**Magnitud de Influencia.** Magnitud que no es la que se debe medir, pero que incide en el resultado de la medición.

Ejemplo : La humedad relativa de una sala de metrología o la temperatura de la misma.

**Valor verdadero convencional (de una magnitud).** Valor atribuido a determinada magnitud y aceptado, a veces por convención, como poseedor de una incertidumbre adecuada para un propósito dado.

Ejemplo : Cuando un medidor de velocidad angular cuyos márgenes de error son tolerados dentro del intervalo + o - del 5%, es verificado con ayuda de un medidor de velocidad angular patrón cuyo error de indicación es del 1,5% + o - , las lecturas del medidor patrón se tomarán como los valores verdaderos convencionales para los fines propuestos.

**Dimensión de una magnitud.** Expresión que representa una magnitud de un sistema de magnitudes como el producto de potencias de los factores que representan las magnitudes básicas del sistema.

Ejemplo : En un sistema que tenga las magnitudes básicas de longitud y tiempo, cuyas dimensiones se indiquen mediante L y T respectivamente,  $LT^{-2}$  es la dimensión de aceleración.

**Símbolo de una unidad de medida.** Signo convencional que representa una unidad de medida.

Ejemplo : s : es el símbolo para el segundo.

K : es el símbolo para la temperatura termodinámica Kelvin.

**Sistema de Unidades (De medida).** Conjunto de unidades básicas, junto con las unidades derivadas, definidas de acuerdo con reglas dadas, para un sistema de magnitudes dado.

Ejemplo : Sistema Inglés de Unidades.

Sistema Métrico Gravitacional de unidades.

Sistema M.K.S.

Sistema c.g.s.

**Unidad de medida coherente.** Unidad de medida derivada que se puede expresar como un producto de potencias de unidades básicas con un factor de proporcionalidad igual a uno. Es de notar que una unidad puede ser coherente respecto de un sistema de unidades pero no respecto a otro.

### **Sistema Coherente de Unidades de Medida.**

Sistema de unidades de medida en el cual todas las unidades derivadas son coherentes.

Ejemplo : Las unidades que a continuación se presentan (expresadas mediante sus símbolos) forman parte del sistema coherente de unidades en mecánica dentro del Sistema internacional de Unidades, SI.

$$\text{Rad.s}^{-2} \text{ (aceleración angular)} ; \quad N = \frac{Kg \ m}{s^2} \quad \text{(fuerza).}$$

**Unidad de medida básica.** Unidad de medida de una magnitud básica en un sistema dado de unidades

**Unidad de medida derivada.** Unidad de medida de una magnitud derivada de un sistema de unidades dado.

Ejemplo : La magnitud - presión - posee el nombre de Pascal en unidad SI derivada y equivale a  $N/m^2$  (Newton sobre metro cuadrado).

**Unidad de medida fuera del sistema.** Unidad de medida que no pertenece a un sistema de unidades dado.

Ejemplo : Grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) ; tonelada ( $t$ ) ; grado ; minuto ; segundo ( $^{\circ}$  ; ‘ ; “ ).

**Valor de una magnitud.** Cantidad de una magnitud en particular que generalmente se expresa como una unidad de medida multiplicada por un número.

Ejemplo : Temperatura de un cuerpo (  $575^{\circ} K$  ) ; intensidad de corriente a través de un conductor ( 35 A ).

**Medición.** Conjunto de operaciones cuyo objeto es determinar un valor de una magnitud.

**Principio de medición.** Base científica de una medición o fenómeno físico en que se basa una medición.

**Método de medición.** Secuencia de operaciones, descritas en forma genérica que se utilizan al efectuar mediciones.

A continuación se presenta una explicación detallada de los anteriores métodos de medición

**Método de medición directa.** Es el método más utilizado en la técnica y permite obtener directamente el valor de la medida, tal como la presión por medio de un manómetro o la intensidad de corriente eléctrica con un amperímetro. ( Ver Figura 4 ).

**Método de medición diferencial.** Consiste en determinar la diferencia entre la magnitud buscada y una conocida, propia para medidas con error muy pequeño, como el de la comprobación de un metro patrón con otro de categoría más alta.

**Método de medición por cero.** Consiste en buscar el equilibrio entre la cantidad de magnitud desconocida y otra conocida, de tal forma que su acción respecto de algún fenómeno se reduce a cero, como es la determinación de la masa mediante una balanza de brazos iguales. Cuando el equilibrio no puede realizarse perfectamente, este método se transforma en el método diferencial antes indicado. ( Ver Figura 4 ).

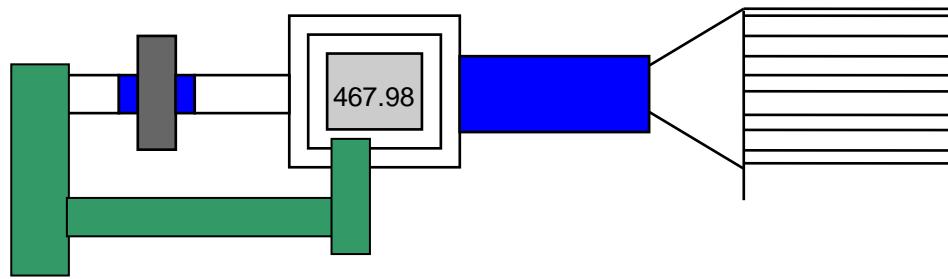
**Método de medición por sustitución.** Consiste en reemplazar la cantidad de magnitud que se va a medir en un instrumento de medición por otra medida conocida, de forma tal que no se produzca modificación alguna en la indicación del instrumento, como es la medición de una resistencia eléctrica en un puente, en el cual una vez establecido el equilibrio se sustituye la resistencia que se mide por una resistencia conocida, manteniendo la misma desviación en el instrumento indicador, que es un galvanómetro.

**Método de medición por comparación.** Consiste en sustituir en el instrumento de medición una magnitud conocida por la cantidad que se ha de medir, comparando ambas indicaciones. Este método se aplica en la medición de longitudes o también en la medición de la resistencia eléctrica con el potenciómetro, el galvanómetro o el voltímetro y consiste en hacer pasar la misma corriente a través de la resistencia desconocida y la resistencia conocida ; midiendo la caída de potencial eléctrico en ambas resistencias se calcula la medida desconocida. ( Ver Figura 4 ).

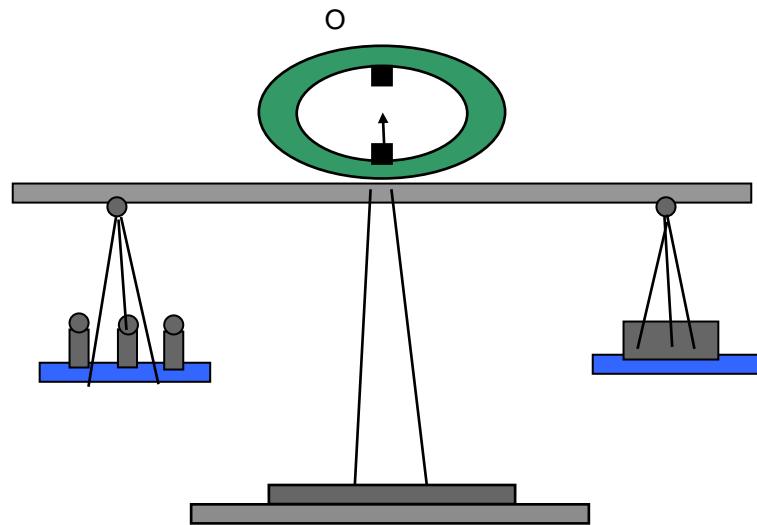
**Método de medición indirecto.** Es aquel en que la magnitud se obtiene mediante la medición de otras cantidades relacionadas matemáticamente, por ejemplo, para medir el 'área de un círculo se mide el diámetro y por cálculo, se determina el área.

**Medición de medición por coincidencia.** Consiste en comparar una serie de graduaciones o señales uniformes con otra serie de graduaciones o señales uniformes cuya coincidencia determina la medida. Por ejemplo, la medición de una longitud por medio de un calibrador pie de rey o con un micrómetro con vernier. ( Ver Figura 4 ).

Figura 4. Métodos de medición.



Método de Medición Directo.



Método de Medición por Cero.

**Procedimiento de medición.** Conjunto de operaciones, descritas en forma específica que se utilizan al efectuar mediciones particulares según un método dado.

Generalmente un procedimiento de medición se registra en un documento que a veces se llama “procedimiento de medición” (o método de medición), y cuyo grado de detalle suele ser suficiente para que un operador pueda efectuar una medición sin información adicional.

**Resultado de una medición.** Valor atribuido a una magnitud por medir, obtenido mediante un método de medición.

Cuando se da un resultado de una medición, se debe aclarar si se refiere a :

- La indicación del aparato de medida.
- El resultado no corregido, es decir, el resultado de una medición antes de la

- corrección del error sistemático.
- El resultado corregido.
- El promedio de un cierto número de valores leídos.

De otra parte, un informe completo del resultado de una medición incluye información acerca de la incertidumbre de la medición.

## 1.5 CURIOSIDADES METROLOGICAS

Como epílogo a éste capítulo y para enriquecer más los conocimientos acerca de la metrología, se presentarán algunos sucesos de interés en donde esta ciencia ha logrado manifestar su importante grado de influencia.

Entre los checos, a finales del siglo XVIII, reinaba la creencia de que los niños menores de seis años dejaban de crecer, convirtiéndose en enanos llamados MIERZYNY (de miara : medida), tan sólo a consecuencia de medir el paño destinado a sus camisas vestidos.

Las dimensiones de una persona, o las de cualquier parte de su cuerpo, son simbolizadas con la consecuente ambivalencia. Un hilo o una cinta del largo de la circunferencia docefálica puede ser ofrendada como un voto por la salud de un enfermo ; o utilizada en magia negra para perjudicarlo ; o - tratándose de un muerto - colgada ante el altar para impedir su tan indeseable retorno, según H. Bächtold Stäubli en "Manual de creencias Alemanas", Berlín, 1932-1933, p.1852, tomo V.

En la Polonia Medieval era conocida una enfermedad llamada *myera*, la que se curaba midiendo al enfermo.

Los griegos cretenses veían en el escarabajo pelotero el alma del panadero que usaba pesas falsas para su pan. En castigo fue condenado a amasar eternamente sus panes de estiércol.

Según la tradición griega, las medidas fueron inventadas por el sabio de Argos, venerado por ello. Según los romanos, los fundamentos de la medición de tierras fueron dados por la ninfa Vegoia, aparecida al etrusco Aruns Veltimus. Aquí se puede observar la procedencia casi divina de las medidas.

Entrando por último con el tema de la falsedad o alteración de pesas y medidas, he aquí algunos ejemplos interesantes en los que se refleja la gravedad y punibilidad del hecho.

En los libros de Moisés, que constituyen un código social con sanción sacra, las normas relativas a las medidas aún tienen carácter textual. Allí se puede leer :

"No hagáis injusticia, ni en los juicios, ni en las medidas de longitud, ni en los pesos, ni en las medidas de capacidad. Tened balanzas justas, pesos justos, un efá justo, un *hin* justo".

O : "No tendrás en tu bolso pesa grande y pesa chica. No tendrás en tu casa dos efás, uno grande y otro chico. Tendrás pesas cabales y justas, y efás cabales y justos, para que se larguen tus días sobre la tierra que Yavé tu Dios, te da". (Dt., XXV, 13-15).

Del nuevo testamento se pueden extraer las palabras de Cristo, que en forma metafórica, sentencian :

"Con la medida con que midiereis se os medirá y se os añadirá, "o de una manera más bella" Dad y se os dará ; una medida buena, apretada, colmada, rebosante será derramada en vuestro seno. La medida que con otros usaréis, esa será usada con vosotros". (Lc. VI, 38).

De el CORAN, se puede extraer de la SURA 83 :

Sura 83. De los estafadores.

En nombre de Alá, misericordioso y compasivo.

1. Desgracia a los que falsean el peso y la medida.
2. A quienes cuando miden a favor de sí, colman la medida.
3. Pero cuando miden para otros, la disminuyen.
4. ¿Acaso no piensan que serán levantados de entre los muerto
5. En el día poderoso
6. En el día en que los hombres responderán ante el Señor del Mundo?

La plenitud de la relación simbólica con la medición está representada por la idea universal, arraigada en muchas civilizaciones, de lo que Mahoma llama el “día poderoso” o “día terrible”, el juicio final. Las acciones de los antiguos egipcios eran pesadas por Amón, y las de los cristianos por el arcángel Miguel. Aparece en incontables tímpanos de catedrales románicas y góticas que representan el juicio final, al lado de Cristo Juez, con la balanza en la mano. El Arcángel Miguel pesará todas las acciones de los que acuden al Juicio Final (reyes, príncipes, obispos, abades, caballeros, damas, artesanos o campesinos), de los que no pocos eran falsificadores o víctimas de medidas falsas, con pesa justa y las pagará por ello en justa medida.

Crean en ello las tres religiones monoteístas oriundas del Cercano Oriente : El mosaismo, el cristianismo y el islamismo.

## **2. INSTRUMENTOS DE MEDICION**

En éste capítulo se estudiarán las características de los aparatos de medida desde el punto de vista de su constitución como de sus parámetros cualitativos y cuantitativos, que los definen y los sintetizan como medios de captación de información del medio que los rodea.

Es de aclarar que las definiciones que se suministran a continuación están contenidas en la norma técnica Colombiana **ICONTEC - NTC 2194 PRIMERA REVISION DE 1994 -07-27.**

### **2.1 INSTRUMENTO DE MEDICION**

Medios técnicos con los cuales se efectúan las mediciones, y que comprenden : **Las medidas materializadas y los aparatos medidores.**

Los instrumentos y en particular los instrumentos científicos son los dispositivos para la observación y medida del universo físico. Estos son extensiones de la percepción y sensibilidad humana sin los cuales sería imposible la exploración científica de la naturaleza, siendo estos entonces de importancia fundamental en todos los ramos de la ciencia.

Los instrumentos cada día están siendo objeto de extraordinarios avances y la tecnología para su construcción busca dotarlos de altas cualidades metrológicas tales como la exactitud, repetibilidad, sensibilidad y óptimos intervalos de incertidumbre.

De otra parte y con el advenimiento de la automatización y robotización de procesos industriales, a los aparatos de medición se les ha colocado en un posición de alta “responsabilidad” pues de los datos que ellos suministran dependen complejos procesos de control, orientación, desarrollo de movimientos específicos en trayectorias específicas, toma de decisiones, etc.

Ahora bien, cuando los instrumentos de medida se aplican a complejos sistemas sus datos son de extrema importancia para efectuar intervenciones en sistemas de control con el objeto de establecer deseables parámetros de funcionamiento sin la intervención humana. De ahí que sean necesarios en todo proceso de alta productividad y alta calidad.

La función de un instrumento es recuperar información sobre el mundo físico para ser presentada a un observador humano o ser procesada posteriormente.

Teniéndose en cuenta el campo tan amplio de aplicación es necesario organizar la información de un modo lógico y unificar los conceptos, función ésta de la emergente ciencia de la instrumentación.

Esta ciencia actualmente en formación, encuadra a los **instrumentos como sistemas** (máquinas de medida, computación y control).

### **2.2 APARATOS DE MEDIDA**

Tomando lo referente a los **aparatos de medida**, se puede decir que son elementos que actúan manteniendo una relación entre variables físicas de entrada y variables físicas de salida. Este principio básico de funcionamiento, constituye la esencia del aparato de medida y lo diferencia con otras máquinas como las de generación o transmisión de potencia.

La función principal que cumple entonces un aparato de medida es la adquisición de información por medio del **sensoramiento, procesamiento, y presentación final de la información** medida a un observador o a otras máquinas de procesamiento de información.

La medición es una forma especial de representación por símbolos en la cual las propiedades de algunos objetos o eventos son representadas por números reales, por intermedio de una regla de correspondencia definida por la escala de medición (ver adelante definición de escala de medición).

Los símbolos por intermedio de los cuales viene la información en los aparatos de medición son estados de una variable física o parámetros de ésta variable que cambian o no con el tiempo.

Las medidas tienen por objeto reproducir, a partir de una familia de **variable de entrada  $X_e$** , una familia de **variable de salida** correspondientes,  **$X_a$** . Considerando un sistema real deben tomarse en cuenta las **perturbaciones representadas por la variable  $Z_e$** . Ver figura 5.

Figura 5. Objeto de la medición



La medición puede ser vista como una operación matemática **OP** y por lo tanto como un mapeamiento de las señales de entrada y las perturbaciones en el espacio de las señales de salida.

Una ecuación matemática que describe la anterior apreciación, tiene la forma :

$$X_a = \text{OP} \{ X_e ; Z_e \}$$

Se define una máquina como un dispositivo que ejecuta la transformación de una entrada física en una salida física, con un propósito definido.

Así los aparatos de medida pueden ser considerados como máquinas ya que su propósito es producir una salida la lleva información al respecto de la entrada, siguiendo una relación funcional definida.

Los aparatos de medidas pueden ser considerados máquinas de información junto con los instrumentos para computación, comunicación y control.

Considerando un sistema como un conglomerado de componentes simples que están organizados para cumplir una función que trabajan como un todo, se puede adoptar éste esquema para analizar y sintetizar aparatos de medición.

## 2.2.1 Formas de aplicación de un aparato de medición

Por su relación con otros sistemas un aparato de medida puede aplicarse de acuerdo a una o varias de las posibilidades siguientes :

- Monitorización de procesos y operaciones
- Control de procesos y operaciones
- Ingeniería de análisis experimental.

### 2.2.1.1 Monitorización de proceso y operaciones

Como aplicación en funciones de monitorización, los aparatos de medida sirven para indicar características dimensionales, condiciones ambientales, conteo de cantidades de consumo, etc. es el caso de la utilización de termómetros, barómetros, calibradores pie de rey, micrómetros, medidores de agua, gas, electricidad, etc. Tambien se consideran funciones de monitorización , las técnicas de adquisición de datos con el fin de analizarlos a través de medios computacionales.

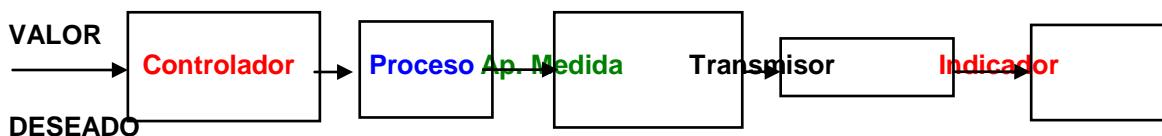
### 2.2.1.2 Control de procesos y operaciones

Este es otro tipo de aplicación de suma importancia en la que el aparato de medida forma parte de un **sistema de control automático**.

Dichos sistemas se caracterizan en general por emplear el aparato de medida dentro de un circuito o lazo que puede ser **abierto o cerrado**.

**Sistema de control de lazo o bucle abierto.** Este se puede definir como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y efectúa una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el ser humano intervenga en absoluto. ( Ver Figura 6 ).

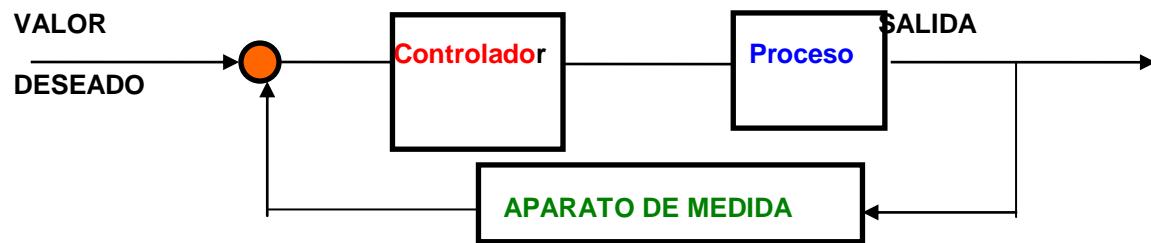
Figura 6. Aparato de medida en un lazo o bucle abierto de control



**Sistema de control de lazo o bucle cerrado.** Como se puede observar en la Figura 7, el aparato de medida está conectado dentro de un sistema cuya característica es el de tener un lazo cerrado. Sistemas como éste se denominan **Sistemas de control de retroalimentación** o sistemas automáticos de control, cuya característica es la de que para controlar cualquier variable es necesario primero medirla.

Un ejemplo de lo anterior, es el sistema de calefacción doméstica que emplea un control del tipo termostático. Un aparato para medir temperatura (por ejemplo un bimetálico), sirve de censor de temperatura, proporcionando así la información necesaria para el correcto funcionamiento del sistema .

Figura 7. Aparato de medida en un sistema de control retroalimentado



### 2.2.1.3 Ingeniería del análisis experimental

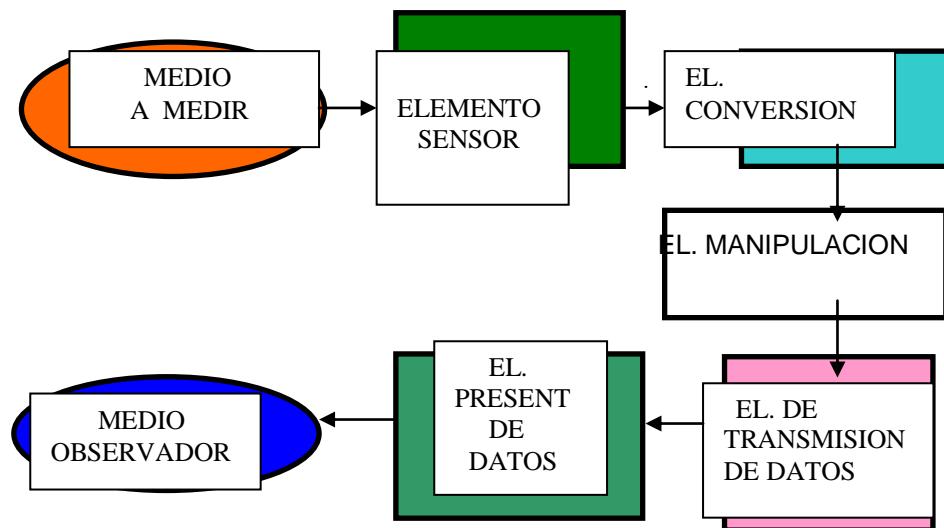
Es un campo donde los ensayos y los resultados de éstos a través de las mediciones, sirven para investigar los comportamientos de diversas variables que influyen en una característica final de un fenómeno, que es la que se desea medir.

Un ejemplo de lo anterior lo puede constituir la determinación del coeficiente de dilatación lineal de una sustancia o un ensayo de tracción sobre una probeta de acero con el fin de medir el límite de fluencia y la resistencia última a la tracción.

### 2.2.2 Elementos de un sistema de medición

Un aparato de medida como sistema que es está conformado internamente por varios elementos interconectados entre sí y con una función específica, que en general se puede representar mediante un diagrama como el mostrado en la Figura 8.

Figura 8. Elementos de un aparato de medida.



A continuación, se explicará ampliamente cada una de las partes mostradas en la Figura 8.

#### **2.2.2.1 Elemento sensor**

Sensores. Son elementos de un instrumento de medición o de una cadena de medición que es afectado en forma directa por la magnitud a medir. La anterior definición se ha tomado de la norma técnica colombiana **ICONTEC 2194**.

Según el texto denominado **Fundamentos de Metroología I parte** y publicado por Icontec se define al sensor como elemento de un instrumento de medición que sirve para tomar la información relativa a la magnitud a medir.

Ejemplos : Termocupla de un termómetro termoeléctrico, órgano motor de un medidor de caudal, tubo Bourdon de un manómetro, flotador de aparato medidor de nivel.

Otras definiciones no menos importantes establecen que el sensor es un dispositivo que suministra señal para la detección o medida de una propiedad física a la cual responde.

Muchas veces al sensor se le confunde con **Detector**. El **DETECTOR** es un dispositivo o sustancia que indica la **Presencia** de un fenómeno, sin suministrar necesariamente un valor de una magnitud asociada.

Ejemplos : El papel tornasol, El detector de metales, el detector de la presencia de fuego que actúa sobre un sistema de extinción de incendios, etc.

Observación : Unicamente cuando el valor de la cantidad alcanza un umbral conocido como **Límite de detección** del detector, se puede producir una indicación.

#### **2.2.2.2 Tipos de sensores**

La clasificación presentada aquí no es en absoluto la más completa pero pretende mostrar los diferentes tipos de sensores según su forma de aplicación y de actuación para orientar mejor al lector en su comprensión.

**Sensores pasivos.** Son aquellos que requieren una fuente de energía que puede ser modulada por el parámetro a ser medido dando una señal de salida adecuada. Ejemplo : El sensor capacitivo para medir desplazamientos, es modulado por variación de la distancia entre sus placas.

**Sensores activos.** Son aquellos que adquieren la energía del propio parámetro a ser medido. Ejemplo : el sensor del tipo piezoelectrico.

**Sensores simples.** Son los que tienen un sólo nivel de transducción, como los manómetros, por ejemplo : (Ver transductores en el siguiente numeral).

**Sensores compuestos.** Tienen dos o más niveles de transducción, como por ejemplo un manómetro de diafragma en el cual el diafragma se deforma y a su vez estas deformaciones son captadas por una galga extensiométrica que conectada a un puente de WHEASTSTONE, suministra señales del tipo eléctrico que pueden ser leídas por medio de un voltímetro.

**Sensores analógicos o digitales.** Son aquellos que suministran una señal de salida en forma continua o analógica o en forma discreta o digital.

**Sensores invasivos - No invasivos.** Son aquellos que están en contacto o tienen interacción con el parámetro que está siendo medido.

**Sensores Intrusivos - No Intrusivos.** Son aquellos que se acomodan de acuerdo a poder o no tener interacción física con el parámetro a ser medido.

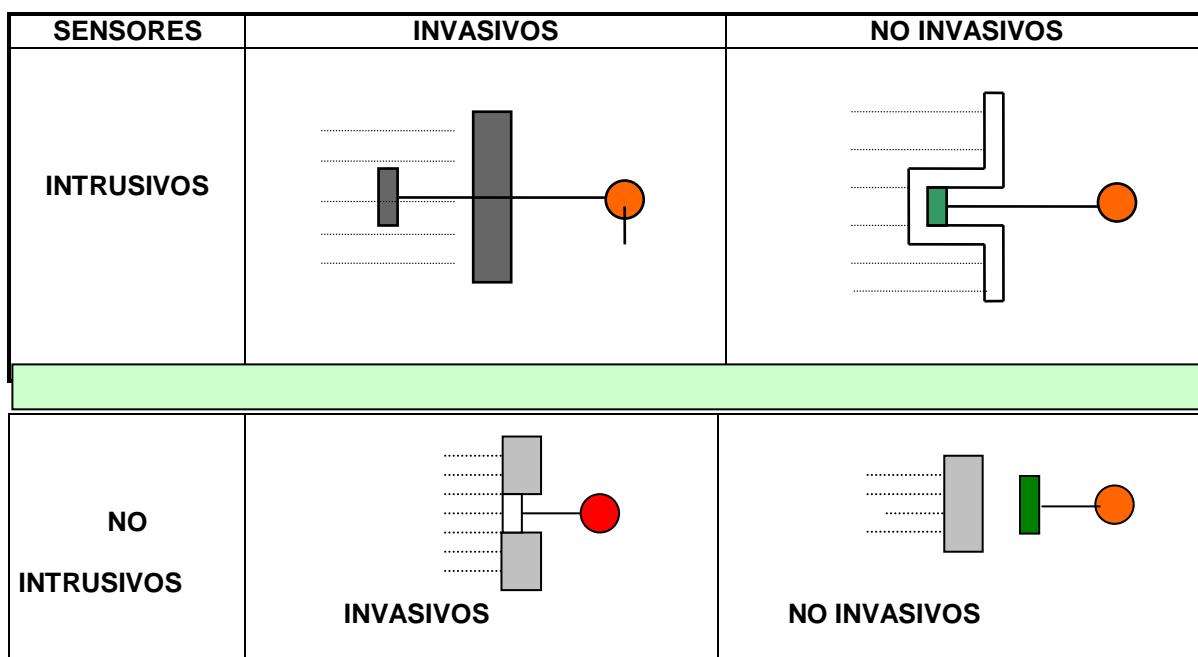
Mediante la Figura 9 se pueden observar éste tipo de sensores.

El tipo de **Señales de salida** ofrecidas por los sensores pueden ser : **ANALOGAS** (Tensión, corriente, desplazamiento lineal, desplazamiento angular, presión, amplitud, modulación, entre otras), de **FRECUENCIA** (Diversas formas de ondas, pulsos, modulación en frecuencia, etc.), de **CODIFICACION DIGITAL** (codificadores ópticos, eléctricos o magnéticos, que usan códigos binarios o de Gray), de **MODULACION EN AMPLITUD, LARGURA DEL PULSO, POSICION DEL PULSO**, etc.

La utilización de sensores en aplicaciones específicas ha crecido bastante en los países industrializados últimamente, especialmente los sensores de las variables más comunes en procesos industriales, (presión, temperatura, flujo, etc.).

Las nuevas tecnologías, además, han extendido el uso de sensores a nuevos espacios como es el caso de las fibras ópticas y los sensores de silicio.

Figura 9. Tipos de sensores



### 2.2.2.3 Transductores

Según la norma técnica colombiana **NTC 2194**, el transductor se define como un dispositivo que suministra una magnitud de salida que tiene una relación determinada con la magnitud de entrada.

Ejemplos : Una Termocupla, un transformador de corriente, un extensímetro, un electrodo de PH.

Otra definición muy popular es que el transductor consiste en un dispositivo que convierte variaciones de una cantidad a variaciones de otra.

Por último una definición muy completa es la que se encuentra en el texto “**Fundamentos de Metrología I parte**” del ICONTEC en donde se define como un instrumento que sirve para transformar, según una ley determinada, la magnitud medida (o bien una magnitud ya transformada de la magnitud medida) en otra magnitud o en otro valor de la misma magnitud, con precisión especificada y que constituye un conjunto que puede usarse en forma separada.

Son transductores un relé, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad). Un caso particular son los convertidores P/I o I/P (señal neumática de entrada a electrónica de salida o viceversa).

Al transductor y en referencia a la Figura 8. también se le denomina **elemento de conversión**.

#### **2.2.2.4 Elemento de manipulación**

Al ejecutar su propio trabajo, un aparato de medida puede requerir que una señal representada por alguna variable física se manipule de alguna manera. Por manipulación se debe entender, específicamente, un cambio en valor numérico de acuerdo con alguna regla definida, pero conservando la naturaleza física de la variable.

Ejemplos : Amplificador electrónico donde se acepta una señal de pequeño voltaje como entrada y se produce una señal de salida que también es un voltaje un número constante de veces mayor que la entrada.

#### **2.2.2.5 Elemento Transmisor de datos**

Debido a que los elementos constitutivos de un aparato de medida están separados entre sí, la transmisión de información entre unos y otros debe realizarse por algún medio y éste es precisamente el elemento transmisor. Puede ser muy sencillo como un cojinete y un eje, o tan complicado como un sistema de telemetría, para transmitir por radio señales de los proyectiles espaciales al equipo de tierra, o, transmisiones por vía satélite entre dos ciudades en puntos distintos de la tierra utilizando computadores que a su vez estén conectados a sistemas de producción.

Los transmisores pueden trabajar con varios tipos de señales neumáticas, electrónicas, hidráulicas, o telemétricas para mencionar las más empleadas en la industria.

#### **2.2.2.6 Elemento de presentación de datos**

Para que la información referente a la cantidad de medida se pueda comunicar a los seres humanos o a otros sistemas con el objeto de realizar monitorización, control o análisis, debe ponerse en alguna forma que pueda reconocer alguno de los órganos de los sentidos. **Este elemento también se conoce como Dispositivo Indicador que está definido según la norma ICONTEC NTC 2194**, como parte de un instrumento de medición que muestra una indicación. Además de la definición anterior para el efecto de presentación de datos también, los instrumentos de medición pueden poseer un **Dispositivo de Registro, que según la norma NTC 2194** es la parte de un instrumento de medición que suministra un registro o una indicación.

Para la definición de dispositivo indicador, además la norma **ICONTEC NTC 2194** aclara que éste término puede incluir el dispositivo mediante el cual se muestra el valor suministrado por una medida materializada.

Con el objeto de profundizar en éste tópico de la forma como los datos o la información puede ser presentada, a continuación se relacionarán otras definiciones que están contenidas en la **Norma Técnica Colombiana ICONTEC 2194** y que son de suma importancia para el efecto.

**Índice.** Parte fija móvil del dispositivo indicador cuya posición con relación a las marcas permite determinar los resultados de la medición.

Como índices, los aparatos de medida pueden emplear : **Agujas, Manchas Luminosas, La superficie de un líquido o una pluma registradora.**

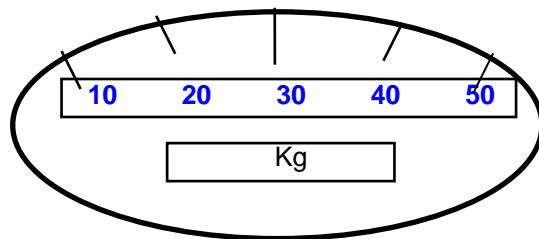
**Marca de Escala.** Trazo u otra señal en el dispositivo indicador, que corresponde a uno o varios valores determinados de la magnitud medida.

En las escalas numéricas y seminuméricas, las cifras son también consideradas como marcas.

**Escala.** Conjunto ordenado de marcas en el dispositivo indicador del aparato de medida o instrumento de medida.

Las marcas de escala pueden ser cifras u otros signos y la numeración puede ser abstracta corresponder a las unidades de medida utilizadas. Ciertos instrumentos denominados de alcance múltiple, pueden tener varias escalas, o una sola escala con numeración cambiante o un conmutador de multiplicación. ( Ver Figura 10 ).

Figura 10. Escala graduada y numerada



**División de la Escala.** Parte de una escala entre dos marcas sucesivas de la escala.

**Zona de Escala.** Conjunto de las divisiones comprendidas entre dos marcas determinadas de la escala.

**Longitud de Escala.** Para una escala dada, la longitud de la línea suave comprendida entre la primera y la última marcas de escala, y que a través de los centros de todas las marcas de la escala más cortas.

En otras palabras y como es evidente la longitud de una escala esta dada en unidades longitudinales y no en unidades de la magnitud a ser medida.

La línea puede ser real o imaginaria, curva o recta y su longitud se expresa en unidades de longitud, independientemente de las unidades de la magnitud por medir o de las unidades marcadas en la escala.

**Espaciamiento de la Escala.** Distancia entre dos marcas sucesivas de la escala medida a lo largo de la misma línea de longitud de la escala.

El espaciamiento de la escala se expresa en unidades de longitud, independientemente de las unidades de la magnitud por medir o de las unidades marcadas en la escala.

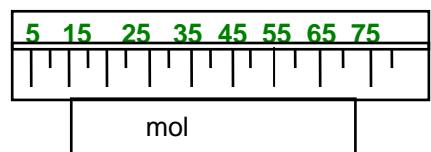
**Intervalo Lineal de la Escala.** Diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas sucesivas de la escala. El intervalo lineal de la escala se expresa en las unidades marcadas en la misma, independientemente de las unidades de la magnitud por medir.

Las escalas además, presentan la siguiente tipología según su conformación y constitución :

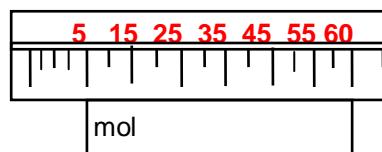
**Escala Lineal.** Escala en la cual cada uno de sus espaciamientos está relacionado con el correspondiente intervalo lineal de escala, mediante un coeficiente de proporcionalidad que es constante a lo largo de la escala. Es decir, **la longitud de cada división es proporcional al valor de la misma**.

**Escala Regular.** Escala cuyas divisiones tienen igual longitud y el mismo valor. Como se observa, la escala regular es un caso especial de la escala lineal. Existen dos clases de ésta escala : Escala Regular en toda la extensión y escala regular en una extensión determinada. Ver Figura 11.

Figura 11. Escala Regular



Escala Regular en Toda la Extensión

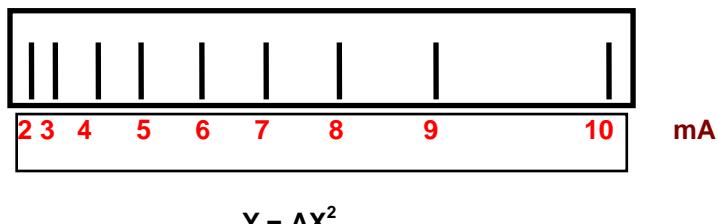


Escala Regular en la Extensión de 5 a 60 mol

**Escala no Lineal.** Escala en la cual cada uno de sus espaciamientos está relacionado con el correspondiente intervalo lineal de la escala, mediante un coeficiente de proporcionalidad que no es constante a lo largo de la escala. Es decir, las longitudes de las divisiones no son proporcionales a sus valores.

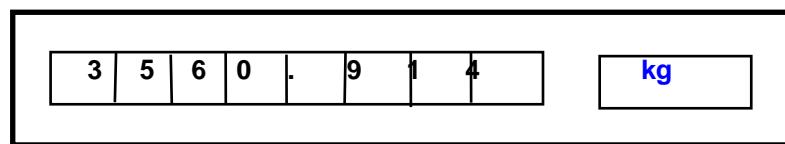
Algunas escalas no lineales se designan mediante nombres especiales tales como : **Escala logarítmica, escala cuadrática, etc.** ( Ver Figura 12 ) .

Figura 12. Escala no Lineal



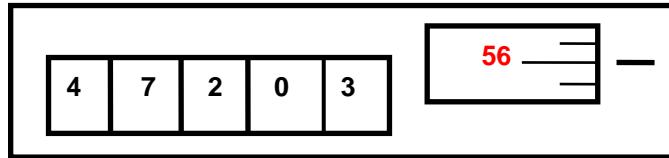
**Escala Digital.** Escala cuyas marcas se presentan en **forma discontinua**, Como un conjunto de números alineados que indican en forma directa el valor numérico de la magnitud medida. La indicación de una escala digital es discontinua o discreta. ( Ver Figura 13 ).

Figura 13. Escala Digital



**Escala Semidigital.** Escala cuya primera cifra a la derecha, es decir, la pertenencia a la escala de menor división se desplaza en forma continua, permitiendo la lectura de una fracción del intervalo entre dos números consecutivos. ( Ver Figura 14 ) .

Figura 14. Escala Semidigital



**Cuadrante.** Parte fija o móvil de un dispositivo indicador en la cual se encuentra la escala o las escalas. En algunos dispositivos indicadores el cuadrante adopta la forma de tambores o discos numerados y se desplaza respecto de un índice fijo o una ventana.

**Numeración de la Escala.** Conjunto ordenado de números asociados con las marcas de la escala.

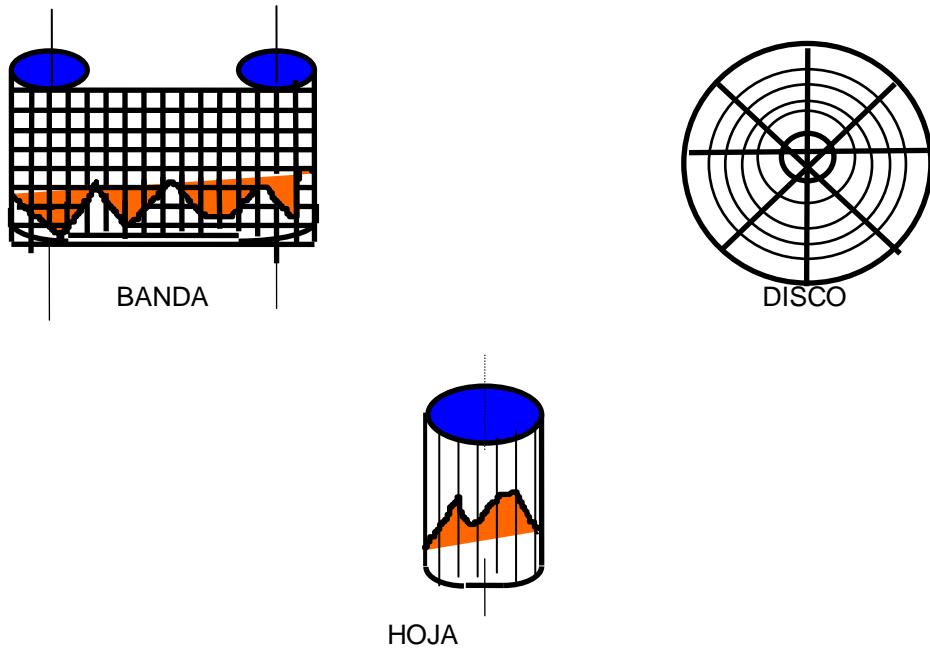
**Marcación de un Aparato de Medida.** Operación de fijar las posiciones de las marcas de la escala en un aparato de medida (en algunos casos, únicamente de ciertas marcas principales), en relación con los valores correspondientes de las magnitudes por medir.

**Soporte de Registro.** Banda, disco y hoja (de papel, por lo común aunque también eventualmente se emplea vidrio ahumado como es el caso de algunos aparatos para medir

estados superficiales) sobre la cual se registran en forma de diagrama, las indicaciones de un instrumento de medición.

En la Figura 15 se pueden observar distintas modalidades de soporte de registro tales como: banda , disco y hoja , que son muy utilizadas en la industria para efectos de control de variables de producción ( temperatura , humedad , presión , ...etc.,) y que son indispensables para el control de procesos en la elaboración de diferentes productos o en el suministro de variedad de servicios.

Figura 15. Soporte de Registro



#### 2.2.2.7 Clasificación Genérica de los aparatos de medida

Según el Texto “Fundamentos de Metroología I Parte” Publicado por ICONTEC, los aparatos de medición, pueden ser : (En la Norma ICONTEC NTC 2194 se hace alusión a **Instrumentos de Medición**).

**Aparato Medidor Indicador.** Aparato medidor que da, por simple indicación (única), el valor de una magnitud medida (sin imprimir, ni registrar ésta indicación).

Ejemplos : Micrómetro, manómetro, voltímetro.

**Contador.** Aparato medidor integrador que indica progresivamente los valores de la magnitud medida acumulados durante cierto tiempo.

Se debe aclarar que en el dispositivo indicador de un contador continuo, el primer elemento móvil (disco, tambor numerado, etc.) que tiene el más pequeño valor de escala se mueve por lo general de manera continua durante el curso de la medición.

Ejemplo : Contador de Consumo de Agua, Contador de Energía Eléctrica.

**Aparato Medidor Dosificador.** Aparato medidor continuo o discontinuo que suministra en forma automática y periódica cantidades predeterminadas de un producto.

**Aparato Medidor Registrador.** Aparato medidor que inscribe sobre un soporte de registro las indicaciones o informaciones que suministra para las mediciones efectuadas de una o varias magnitudes.

Ejemplo : Voltímetro Registrador, termógrafo, barógrafo, Rugosímetro.

**Aparato Medidor con Índice Móvil.** Aparato medidor en el cual las indicaciones están dadas por la posición de un índice móvil ante una escala fija.

**Aparato Medidor Analógico.** Aparato medidor cuya indicación es función continua de las variables del valor correspondiente de la magnitud que se mide.

**Aparato Medidor Discontinuo.** Aparato medidor cuya indicación es función discontinua de las variaciones del valor correspondiente de la magnitud que se mide. Puede estar constituido por una aguja que se mueve en forma discontinua (discreta) frente a una escala continua, o por una escala numérica.

### 2.3 CUALIDADES DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA

También denominadas **CARACTERISTICAS DE UN INSTRUMENTO DE MEDICION** según la norma NTC 2194, se refieren a todas aquellas que tienen que ver con su funcionamiento y que sirven eventualmente para su correcta selección en aras a obtener una aplicación acorde con las necesidades de medida específicas.

Las características de un instrumento de medición se puede dividir en dos grandes ramas : **Características Estáticas y Características Dinámicas** que en conjunto representan las cualidades de un instrumento de medida y que se pueden relacionar según la Tabla 2.

Es de aclarar que ésta tabla tan sólo constituye un modelo de organización y sólo pretende visualizar de una manera metódica los atributos de los instrumentos de medida sin querer indicar que allí estén todos los posibles. Sin embargo, se contemplan los más importantes que corresponden a los criterios empleados tanto por Fabricantes de Aparatos de Medida como de Instituciones Internacionales especializadas en el ramo tal como Organización Internacional de Metrología Legal **O.I.M.L.**

Tabla 3. Cualidades de un Instrumento de Medida

ASPECTO DE DESEMPEÑO	ASPECTO DE OPERACION	ASPECTO FISICO	ASPECTO ECONOMICO
<b>Características Estáticas</b>			
Resolución	Seguridad	Tamaño	Costo Final
Rango de la indicación			
Intervalo de medición	Ergonomía	Peso	Mantenimiento y Repuestos
Alcance			
Exactitud			
Precisión			
Repetibilidad	Portabilidad	Potencia	Instalación
Reproductibilidad			
Zona muerta			
Histéresis			
Sensibilidad	Disponibilidad	Refrigeración	Costos Operacionales
Constancia			
Umbral de discriminación			
Deriva			
Confiabilidad			
<b>Características Dinámicas</b>			

FUENTE : Norma Técnica Colombiana NTC 2194  
Técnicas Modernas de Medición. Universidad de los Andes. 1984

### 2.3.1 Características Estáticas de los instrumentos de Medida

A continuación se explican las más importantes consideradas dentro de las Normas Internacionales.

**2.3.1.1. Resolución.** Referido al dispositivo indicador o de registro es la menor diferencia entre las indicaciones que se puede distinguir en forma significativa. Algunas veces se denomina también aproximación del aparato de medida referida al valor mínimo de la división de la escala del mismo. De otra parte, la resolución se asocia al cambio más pequeño que se detecta en un valor medido indicado por el sistema de medición.

Un voltímetro cuyo valor de división es de 0.5 voltios tiene una aproximación de 0.5 voltios.

**2.3.1.2. Rango de la Indicación.** Conjunto de valores limitados por las indicaciones de los extremos. Esto es, el intervalo comprendido entre el valor de la lectura mínima que puede suministrar el instrumento y el valor de la lectura máxima.

Para un Manómetro graduado desde 25 hasta 150 Pa. Su rango es de 25 – 150 Pa.

**2.3.1.3. Intervalo de Medición.** Módulo de la diferencia entre los dos límites de un **intervalo nominal** es decir entre su límite inferior y superior .

Para un intervalo nominal de 40 V a 120 V, el intervalo de medición es de 80 V.

Para un intervalo nominal expresado como -30 °C a 50°C, el intervalo de medición es de 80°C.

**2.3.1.4. Alcance.** Denominado a veces capacidad de un instrumento de medida, es la diferencia entre los valores extremos del rango de indicación del instrumento de medición.

Para un Manómetro graduado desde 25 hasta 150 Pa. el alcance es de 125 Pa.

**2.3.1.5 Exactitud.** Es la aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas próximas a un valor verdadero. De acuerdo a lo anterior, la exactitud de un aparato indica la variación entre la medida leída y la medida real del objeto.

Otra forma de definir la exactitud es la Aptitud de um instrumento para dar respuestas cercanas a un valor verdadero.

También se interpreta como la cercanía con la cual un sistema de medición indica el valor real.

La exactitud se relaciona con el **error ( de indicación ) de un instrumento de medición** que es la indicación del instrumento de medición **menos** el valor verdadero de la magnitud de entrada.

Como valor verdadero, se utiliza con frecuencia un **Patrón de Referencia** de la magnitud.

Técnicamente existen varias formas de expresar la exactitud :

En tanto por ciento del alcance, que es una forma más utilizada para expresarla. Por ejemplo para una lectura de un termómetro de 150°C y una exactitud de  $\pm 0,5\%$  (teniendo en cuenta un alcance de 200°C), el valor real de la temperatura estará comprendido entre  $150 \pm 0,5$  ( $200/100$ ), o sea  $150 \pm 1$ , es decir, entre 149 y 151 ° C.

Directamente en unidades de la variable medida. Ejemplo : Exactitud de  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

En tanto por ciento de la lectura efectuada. Ejemplo :  $\pm 2\%$  de 150°C, es decir  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

En tanto por ciento del valor máximo del campo de medida. Ejemplo : Exactitud de  $\pm 0,5\%$  de 300°C, es decir,  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ .

**Nota :** el campo de medida es el mismo rango de la indicación.

**2.3.1.6. Repetibilidad.** Es la aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones muy cercanas, en aplicaciones repetidas de la misma magnitud por medir bajo las mismas condiciones de medición.

Las Condiciones son:

El mismo observador

El mismo procedimiento de medición

El mismo equipo de medición utilizado en las mismas condiciones.

La misma Ubicación

Repetición dentro de un periodo de tiempo corto.

Se puede expresar por medio del valor de la dispersión de las mediciones calculando la desviación estándar de las mismas o por medio del rango de las lecturas realizadas.

Cuando se hace referencia a la cercanía de los resultados de una serie de mediciones sucesivas de la misma magnitud por medir y en las mismas condiciones de medición se denomina a ésto **repetibilidad de los resultados de las mediciones**.

Para complementar las anteriores definiciones, la **S.A.M.A. (Scientific Apparatus Makers Association)**, en su **norma PMC 20-2-1970**, define la repetibilidad como la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo de medida. Por lo general, se expresa además, en función de las características de dispersión de los resultados, como tanto por ciento del alcance

**2.3.1.7. Reproductibilidad.** Se refiere a los **resultados de mediciones** y se define como la cercanía entre los resultados de las mediciones de la misma magnitud por medir, efectuadas bajo **condiciones de medición diferentes**.

Las condiciones que cambian pueden ser:

- El principio de medición
- El método de medición
- El observador
- El instrumento de medición
- El patrón de referencia
- El lugar
- Las condiciones de uso
- El tiempo entre mediciones.

**2.3.1.8. Zona Muerta.** Máximo intervalo a través del cual se puede cambiar una entrada en ambas direcciones sin que reproduzca un cambio en la respuesta o salida de un instrumento de medición.

En otras palabras, se refiere a un conjunto de valores de la magnitud que no produce indicación o respuesta .

Se expresa como porcentaje del alcance del instrumento.

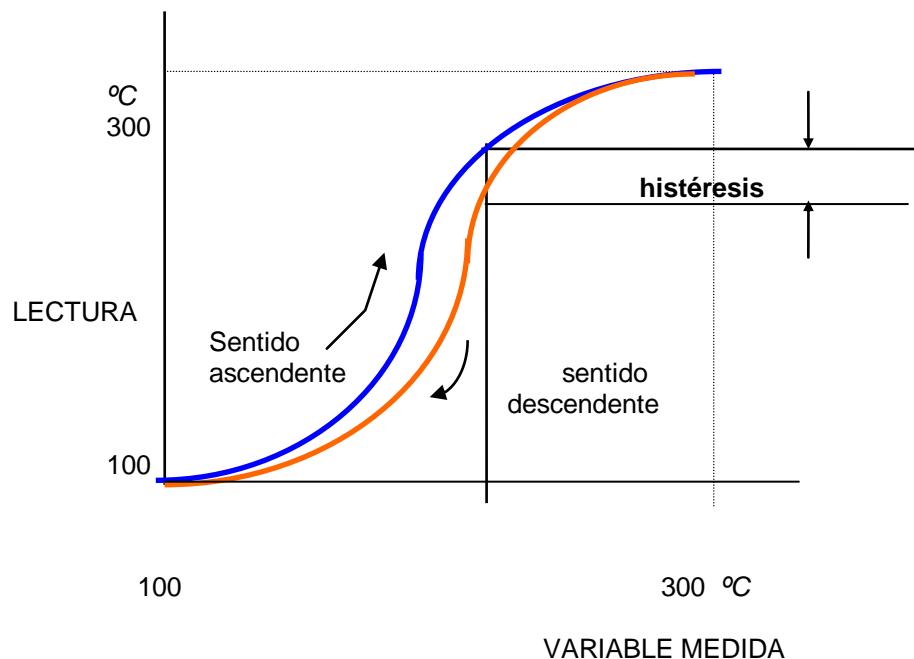
**2.3.1.9. Histéresis.** Es la diferencia entre las lecturas en dirección ascendente y dirección descendente.

Para una señal de entrada particular , el error de histéresis se determina a partir de la diferencia de los valores de respuesta o salida a escala ascendente y escala descendente y se expresa en términos de la máxima diferencia.

Según la **Norma PMC20-2-1970**, de la **S.A.M.A.** , la histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice la pluma del instrumento para un mismo valor

cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Ver figura 16.

Figura 16. Histéresis



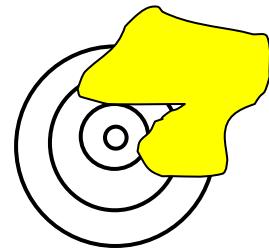
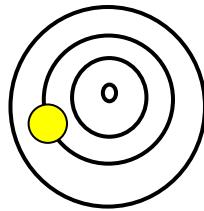
A continuación se mostrará en forma gráfica el significado de Repetibilidad y Exactitud . Ver Figura 17.

Figura 17. Ilustración sobre Repetibilidad y Exactitud



ALTA EXACTITUD Y BUENA REPETIBILIDAD

POBRE REPETIBILIDAD Y MEDIANA EXACTITUD



BUENA REPETIBILIDAD Y BAJA EXACTITUD

POBRE REPETIBILIDAD Y BAJA EXACTITUD

**2.3.1.10. Sensibilidad .** Es el cociente entre un cambio de la respuesta de un instrumento de medida y un cambio en la señal de entrada al mismo.

También se define como la razón entre el incremento de la lectura en un instrumento de medida y el incremento en la variable de entrada que lo ocasiona, después de alcanzar el estado de reposo. Se expresa como porcentaje del alcance.

De otra parte, la **S.A.M.A.** (Scientific Apparatus Makers Association), en su norma PMC 20-2-1970, **Process Measurement and Control Terminology** define la sensibilidad como la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

**Nota:**

También se suele algunas veces definir la sensibilidad como la relación existente entre una división de la escala del aparato de medida y la medida que le corresponde.

Ejemplo : Si cada división de un reloj comparador mide 4 mm y el valor de esa división es de 0.1, la sensibilidad del aparato será de  $4/0.1 = 40$  esto quiere decir que se amplifica la medida cuarenta veces.

La sensibilidad de un aparato se expresa por su amplificación (100, 300, 10000, 500000, etc.).

**2.3.1.11. Constancia.** Denominada también estabilidad es la aptitud de un instrumento de medición para mantener constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

**2.3.1.12. Umbral de discriminación.** Mayor cambio en una señal de entrada que no produce cambio detectable en la respuesta de un instrumento de medición , siendo el cambio en la señal de entrada lenta.

**2.3.1.13. Deriva.** Cambio lento de una característica metrológica de un instrumento de medición.

### 2.3.2. Características Dinámicas de los instrumentos de medida

Muchos instrumentos de medida, especialmente los que forman parte de sistemas de control se comportan como sistemas dinámicos, es decir, a una señal o función de entrada, responden con una señal de función de salida que presenta variación en el tiempo. Esta salida también recibe el nombre de **respuesta temporal**.

En algunos tipos de instrumentos o aparatos de medida la Función de entrada tiene una forma específica que puede representarse por una expresión analítica o una curva dada exacta aproximada. Un ejemplo de esto último se puede dar en los medidores de los movimientos telúricos, medidores de variaciones de humedad, medidores de variaciones de presión dentro de un proceso industrial, en fin, un sinnúmero de aplicaciones que se dan en la vida diaria. Sin embargo, para efecto de conocer el comportamiento o respuesta dinámica de los aparatos de medida, se emplean **funciones de entrada normalizadas** como lo son :

función Senoidal

serie de Potencias

función escalón Unitario (también se emplea una función escalón no unitario)

función Rampa Unitaria (Escalón de Velocidad)

función Parabólica Unitaria (Escalón de Aceleración)

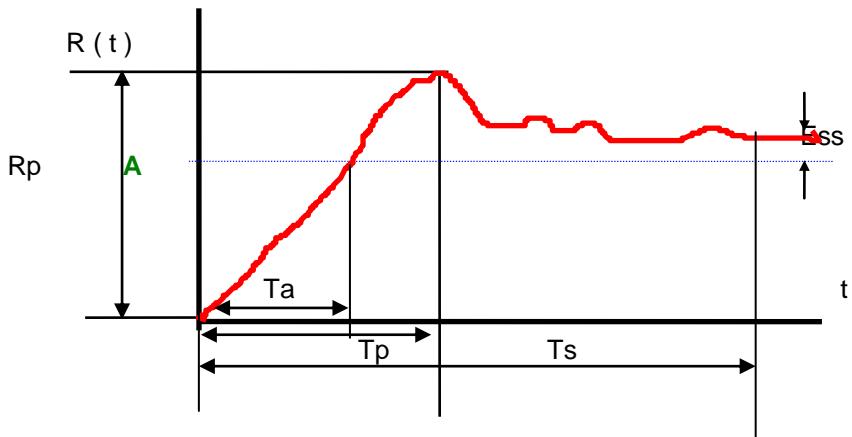
función Impulso Unitario

Es así que entonces la respuesta de un aparato de medida a cualquiera de las anteriores señales o funciones, presenta una forma particular en dependencia de la señal de entrada ligada al tiempo.

La mayoría de laboratorios de ensayo emplean para comprobar las características dinámicas de los aparatos de medida, una **entrada escalón unitario**. ( Ver Figura 18 ).

Figura 18. Características dinámicas de un aparato de medida





La figura 18 representa la respuesta con respecto al tiempo para una señal de entrada escalón normalizada y como se nota, consta de las partes que a continuación se explican.

$R_p$  : Sobrelongación Máxima o Respuesta Pico que corresponde a un tiempo denominado Tiempo Pico  $T_p$ .

La ecuación matemática para éste parámetro es :

$$R_p = A + e^{-\frac{-\delta \pi}{\sqrt{1-\delta^2}}}$$

$T_p$  : Tiempo Pico, que corresponde a la respuesta pico o máxima , su ecuación, es :

$$T_p = \frac{\pi}{W_n \sqrt{1 - \delta^2}}$$

Donde  $W_n$ , es la frecuencia natural no amortiguada para el aparato de medida.

$T_s$  : Tiempo de Estabilización, que es el tiempo en el cual el aparato de medida suministra la lectura o respuesta. Este tiempo es el necesario para que las oscilaciones (ver Figura 18) decrezcan a un porcentaje absoluto especificado del valor final. **Errores del sistema en estado estacionario  $Ess$**  con valores que oscilan entre 2-5%, son los más comunes para determinar el tiempo de estabilización.

Para un error  $Ess$  del 2%,  $T_s$  equivale a :

$$T_s = \frac{4}{\delta \cdot W n}$$

Para un error Ess del 5%, Ts es :

$$T_s = \frac{3}{\delta \cdot W n}$$

Universalmente se ha tomado como una función escalón de entrada la Función Escalón Unitario, es decir, aquella para la cual  $A = 1$ . En algunos aparatos de medida se emplean también funciones de entrada denominadas rampa de ecuación  $E(t) = B \cdot t$  o funciones de entrada denominadas Impulso, de las cuales, la más empleada es la función impulso unitario, cuya ecuación se puede expresar como sigue :

$$\begin{aligned} F(t) &= \infty && \text{para } T = T_0 \\ F(t) &= 0 && \text{para } T \neq T_0 \end{aligned}$$

La característica principal de ésta función, es que su integral entre menos infinito y más infinito, es igual a Uno, es decir :

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} F(t) dt = 1$$

### **2.3.3. Características Operacionales de los Aparatos de Medida**

Se refiere a todas aquellas características que describen la facilidad de manejo y en general de operación de los instrumentos de medida, así como la confiabilidad de los mismos. A continuación se explica cada uno de ellos.

#### **2.3.3.6. Seguridad**

Se Refiere a todo lo concerniente con los aspectos de manipulación de los instrumentos de medida, que garanticen su manejo sin que, por ejemplo, se exponga la vida de los operarios así como también y en lo referente a la adquisición de datos, la preservación y manejo de los mismos.

#### **2.3.3.7. Ergonomía**

La Ergonomía es el estudio de las relaciones entre el hombre y el medio ambiente en el cual él trabaja.

Los instrumentos deben presentar información relevante en un formato claro. El instrumento debe también tener controles por medio de los cuales el operador puede obtener, manipular y responder a las informaciones dadas por el aparato. Para eso debe existir una comunicación efectiva entre hombre y máquina.

El proyectista de instrumentos debe tener en cuenta no solamente los aspectos funcionales del instrumento sino también el confort, la seguridad y las limitaciones del operador humano cuando está trabajando o haciendo mantenimiento del equipo.

Los tableros, escalas, índices, pantallas, graficadores... etc., son los medios principales de comunicación entre los instrumentos y el usuario. Ellos pueden tomar las siguientes formas :

**Información Cuantitativa.** Donde el valor de la variable se presenta en forma numérica o análoga por medio de una escala graduada.

**Información Cualitativa.** Donde sólo interesa el valor aproximado o la tendencia de la variable.

**Información de Estado.** Indica condiciones discretas del tipo Entrada-Salida u ON-OFF.

**Información de Representación.** Donde aparece la representación gráfica de las variables o sistema que está siendo monitoreado.

**Información Simbólica o Alfanumérica.** Aquí la información aparece en impresoras como mensajes lingüísticos.

**Los controles** son el medio de comunicación entre el usuario y el instrumento. Ellos pueden tomar las siguientes formas :

- ajustes continuos suaves
- ajustes discretos usando llaves
- entradas por teclado
- controles acústicos por voz,etc.

Muchas veces los controles también son mostrados a manera de comando estableciendo un lazo de realimentación visual para que el usuario consiga un control efectivo sobre el equipo.

Estos aspectos y otros deben ser considerados para adecuar el proyecto de instrumentos ergonómicamente al ser humano.

La tendencia actual es colocar los medios de presentación de resultados o datos en paneles centralizados con entradas y salidas comandadas por sistemas lógicos adecuados a las necesidades de cada proyecto de instrumentos.

#### **2.3.3.8. Portabilidad**

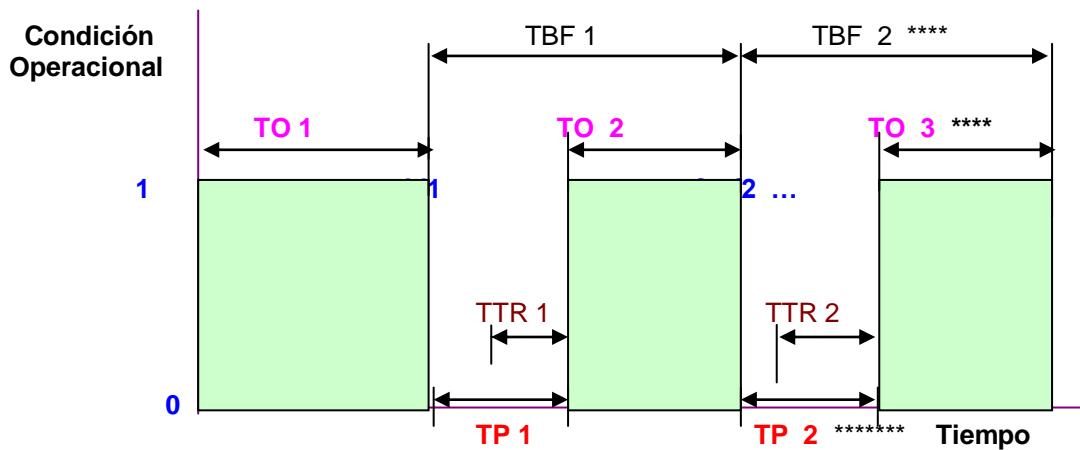
Se refiere a la facilidad de transporte de los aparatos de medida así como el suministro de energía para su correcto funcionamiento sobre todo, por ejemplo, en trabajos de campo.

#### **2.3.3.9. Disponibilidad**

Los aparatos de medida, patrones, equipos auxiliares, etc. deben estar en disposición de ser utilizados en el momento que se quiera o se presente alguna necesidad rutinaria o perentoria. Para ello, mediante una planeación adecuada de utilización, existencia suficiente en número de equipos que con más frecuencia se utilizan, excelentes planes de mantenimiento, existencia de repuestos, etc., se puede optimizar y racionalizar este factor de disponibilidad.

De otra parte, se puede elaborar un modelo matemático de éste concepto teniéndose en cuenta la Figura 19

Figura 19. Disponibilidad



Con relación a la anterior figura , se tiene:

<b>TO 1 , TO 2 , TO 3 , TO n ....</b>	Tiempo operativo del aparato de medida
<b>f 1 , f 2 , f 3 , .... f n</b>	Presencia de : falla 1 , falla 2 , falla 3 ...f n
<b>TBF 1 , TBF 2 , TBF 3 , .. TBF n</b>	Tiempo entre fallas : 1 , 2 , 3, ... n
<b>TTR 1 , TTR 2 , .....TTR n</b>	Tiempo para Reparación del aparato de medida
<b>TP 1 , TP 2 , .....TP n</b>	Tiempo de Parada : 1 , 2 , 3....n

Con los elementos anteriores , se puede definir entonces a la Disponibilidad como un parámetro que mide la oportunidad de empleo de un aparato de medida cuando se le solicite en un momento determinado y que está relacionada directamente con su estado de funcionamiento relacionado a su vez con la confiabilidad del mismo .

Existen algunas relaciones matemáticas para cuantificar éste parámetro que en forma general se utilizan tales como:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo promedio Operativo}}{\text{Tiempo promedio entre Fallas}} = \frac{MTO}{MTBF}$$

ó también

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo promedio entre Fallas}}{(\text{Tiempo promedio entre Fallas} + \text{Tiempo promedio en Reparación})}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo promedio Operativo}}{\text{Tiempo promedio de Parada}} = \frac{MTO}{MTP}$$

### 2.3.3.10. Confiabilidad

El estudio de la confiabilidad de instrumentos y equipos de medición, se está ampliando considerablemente, principalmente con respecto a la seguridad de procesos industriales particularmente en las industrias químicas y plantas nucleares.

La confiabilidad de un instrumento es definida como la probabilidad de que el mismo funcionará satisfactoriamente en un determinado periodo dadas ciertas condiciones ambientales, y está relacionada con los conceptos anteriormente expuestos.

La falla de un aparato de medida significa la salida de éste de determinadas especificaciones. Matemáticamente la Confiabilidad es una función del tiempo y se designa por R (t).

Si  $\tau$ , es una variable aleatoria que representa el tiempo, después del cual, a partir de una referencia, el aparato falla, entonces :

$$R(t) = P(\tau > t)$$

Se define ahora la **Función de Distribución de fallas** como :

$$F(t) = 1 - R(t)$$

que es la Probabilidad de un determinado aparato de estar en una condición de fallas en un tiempo t.

Derivando se tiene la **Densidad de Probabilidad de fallas**, comose indica:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

Así, la probabilidad de falla en el intervalo (a,b) está dada por :

$$P(a < \tau \leq b) = \int_a^b f(t) dt$$

Otra cantidad importante es la **Razón de Fallas** que es la probabilidad de falla en el intervalo dado que no hubo falla hasta el tiempo t. se designa por **Z (t)**.

$Z(t)$  se puede escribir en función de la densidad de probabilidad de fallas  $f(t)$  y la confiabilidad  $R(t)$ , como :

$$Z(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Si se conoce la frecuencia de falla,  $Z(t)$ , es posible determinar la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria. Dado que  $R(t) = 1 - F(t)$ , mediante diferenciación con respecto a t, se tiene que  $R'(t) = -F'(t)$ ; pero  $F'(t) = f(t)$ .

Como resultado se tiene que la frecuencia o razón de fallas puede expresarse como :

$$Z(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)}$$

Suponiendo que el aparato de medida comenzó a funcionar en  $t=0$ , entonces  $R(0) = 1$ . Integrando ambos miembros de la expresión anterior desde 0 hasta t, se tiene :

$$\int_0^t Z(x) dx = - \int_0^t \left[ \frac{R'(x)}{R(x)} \right] dx = - \ln [R(t)] + \ln [R(0)] = - \ln [R(t)]$$

Donde X es una variable muda de integración. Dado que :

$$- \ln [R(t)] = \int_0^t Z(x) dx$$

Se tiene :

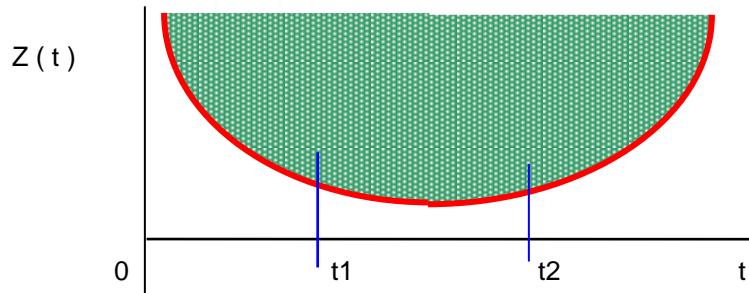
$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^t Z(x) dx \right]$$

Mediante el empleo de la relación  $Z(t) = f(t) / R(t)$ , la función de densidad de probabilidad es :

$$f(t) = Z(t) \exp \left[ - \int_0^t Z(x) dx \right]$$

Existen muchos fenómenos físicos de naturaleza aleatoria que muestran frecuencias o razones de falla en forma de tina de baño, tal como se ilustra en la Figura 20.

Figura 20. Razón de Fallas Típica



En el intervalo de tiempo, de 0 a  $t_1$ , la frecuencia de fallas es apreciable pero disminuye en valor debido al “**Síndrome de mortalidad infantil**” sugiriendo con ésto que las primeras fallas pueden tener su origen en defectos de fabricación del aparato de medida. Durante el intervalo de  $t_1$  a  $t_2$ ,  $Z(T)$ , es casi constante, pero comienza a aumentar de valor después de  $t_2$  por fallas debidas al desgaste de los componentes. Se puede llegar una frecuencia de fallas constante si los componentes se prueban inicialmente para detectar una frecuencia de fallas por desgaste y se reemplazan antes de  $t_2$ . Después de  $t_2$  la vida del aparato se está aproximando a su fin y por consiguiente la razón de fallas aumenta con el tiempo.

Los siguientes factores deben ser analizados cuando se considera la confiabilidad de un aparato o instrumento de medida :

Los costos por pérdida de producción debido a fallas.

Las consecuencias de la falla en términos de riesgo de otro equipo o aparato de medida que necesite una eventual sustitución de emergencia.

El costo de ensayos y pruebas de rutina, así como de calibración y mantenimiento.

Finalmente, se presentan las Tablas 3, 4 y 5 referidas a estadísticas de fallas para diversos instrumentos, partes mecánicas y componentes.

Tabla 4. Promedio de Fallas observadas para varios Aparatos

APARATO	Fallas por Año
<b>Aparatos Neumáticos</b>	
Transmisor de Flujo	0.22
Transmisor de Nivel	0.35
Transmisor de Presión	0.76
Transmisor Diferencial de Presión	0.94
Galga de Presión	0.032
<b>Aparatos Electrónicos</b>	
Analizador de Oxígeno	
Amplificador para medición de Temperaturas	4.5
Monitor Gamma	2.3
<b>Computadores</b>	0.34
Computador Personal	16.6
Computador Personal con C.D.	23

FUENTE : Técnicas Modernas de Medición U. de los Andes 1984

Tabla 5. Promedio de Fallas para algunas partes Mecánicas

PARTE	TIPO	Fallas/ $10^6$ h
Rodamiento	Bolas	20
	Rodillos	15
	Cojinete	22
Filtro	Cerámica	2
Casquetes	Sintetizada	0.5
Hose		4
Juntas	Plástico	0.5
Nut	Tubo	0.02
Anillo "O Ring"		0.2
Apoyos		1.0
Tubos		0.2
Vaso de Presión	Metal	3.0
Resorte		0.2

FUENTE : Técnicas Modernas de Medición. U. de los Andes .1984

Tabla 6. Promedio de Fallas para componentes electrónicos

COMPONENTES	TIPO	FALLAS Fallas/ $10^6$ h
Resistor	Oxido Metálico	0.001
	Wirewound	0.002
Capacitor	Película Plástica	0.0001
	Cerámico	0.002
	Aluminio	0.1
	Electrolítico	0.0001
Transistor	npn, pequeña señal	0.005
F.E.T.	Pequeña señal	0.04
Diodo	Zener	0.02

FUENTE : Técnicas Modernas de Medición. U. de los Andes. 1984

### 3 . PATRONES Y CALIBRACION

Es de gran importancia ya sea para procesos controlados automáticamente o para efectos de medir variables que caracterizan la calidad de un producto o servicio, el de disponer de aparatos de medida que se encuentren en condiciones óptimas y correcto funcionamiento ya que de ello dependerán las características finales de los productos o la toma de decisiones para efectos particulares, por ejemplo, en el campo de los ensayos o experimentación.

En éste capítulo se definen y clasifican los tipos de patrones y se aclara el concepto de Calibración así como los conceptos sobre teoría de errores y su formulamiento y tratamiento matemático, conformando de ésta manera un tratado especial sobre el campo del patronamiento de instrumentos de medición.

#### 3.1 MEDIDA MATERIALIZADA

Dispositivo destinado a reproducir o suministrar, en forma permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

Ejemplos :

Medidas de capacidad, Reglas (de uno o varios valores, con o sin escala), resistencia eléctrica, capacitancia eléctrica, bloque patrón, calibre de herradura para el control de diámetro de cilindros, un material de referencia, un generador estándar de señales, una medida de volumen de uno o varios valores, con o sin una escala.

Las medidas materializadas sirven para realizar mediciones con otros instrumentos de medición o sin ellos.

Las medidas materializadas pueden ser **autosuficientes o no autosuficientes**. Las no autosuficientes reproducen solamente un valor de una magnitud y para efectuar con las mismas una medición, es necesario emplear instrumentos de medición.

Ejemplo : Las pesas permiten la medición de una masa solamente empleando una balanza.

Las medidas materializadas autosuficientes tienen las dos funciones simultáneamente, es decir, reproducen el valor de la magnitud y permiten efectuar la medición sin la ayuda de otros instrumentos de medición.

Ejemplos : Reglas, medidas de capacidad.

Dentro de las características más relevantes de las medidas materializadas están :

En general, no poseen un índice pero sí una escala en muchas ocasiones.

En ciertos casos, éste índice puede pertenecer al instrumento que sirva conjuntamente con esa medida para realizar la medición, como es el caso del conjunto balanza-pesas, o bien puede ser formado por el mismo cuerpo medido, en el caso del menisco formado por el líquido en el cuello de una medida de capacidad de cuello graduado.

La medida materializada no comprende en general ningún elemento móvil durante la medición.

Una medida materializada puede reproducir un sólo valor de una magnitud (medida materializada de un valor) o bien varios valores distintos (medida materializada de varios valores distintos) o reproducir los valores de ésta magnitud en un rango continuo (medidas materializadas graduadas).

Ejemplos :

Medidas materializadas de un sólo valor : Un Bloque patrón, resistor eléctrico de valor único.

Medidas materializadas de varios valores distintos : Calibres de herradura de dos valores correspondientes a longitudes límites de una dimensión (también llamados calibres pasa - no pasa).

Medidas materializadas graduadas : Tubo de ensayo graduado, regla graduada, pipeta graduada.

### 3.2 PATRONES

Se definen como medidas materializadas, instrumentos de medición, materiales de referencia, o sistemas de medición destinados a **definir, Determinar, Conservar o Reproducir**, una **unidad** o uno o más valores de una magnitud que sirva como referencia.

La unidad a que se hace referencia en el párrafo anterior es la unidad de medida de una magnitud adoptada por las normas internacionales o bien los múltiplos y submúltiplos de ella misma.

Ejemplos :

Patrón de Masa de 1 Kg

Una Resistencia Patrón

Un Amperímetro Patrón

Un Patrón Atómico de Frecuencia

Una solución de Referencia de cortisol en el suero humano, que tenga una concentración certificada.

Un Bloque patrón de 100 mm

### 3.3 JERARQUIA DE LOS PATRONES

Por medio del diagrama u organigrama mostrado en la Figura 20, se puede mostrar como están categorizados y ubicados los patrones según su grado de exactitud y nivel de utilización.

#### 3.3.1 Patrón Internacional

Patrón reconocido mediante un acuerdo internacional, utilizable como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud que interesa.

#### 3.3.2 Patrón Nacional

Patrón reconocido mediante una decisión nacional, utilizable en un país, como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud que interesa.

En general, el patrón nacional en un país constituye también el patrón primario.

### **3.3.3 Patrón Primario**

Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

**Nota :** El concepto de patrón primario es igualmente válido para magnitudes básicas y para magnitudes derivadas.

El patrón primario en ningún caso se utiliza directamente para mediciones ; únicamente se utiliza para ser comparado con los patrones testigos y con los patrones de referencia.

### **3.3.4 Patrón Secundario**

Patrón cuyo valor está fijado por comparación directa o indirecta con un patrón primario o bien por un método patrón.

### **3.3.5 Patrón de Referencia**

Patrón secundario con el cual se comparan los patrones de orden de precisión inferior.

También existe la definición suministrada por la norma ICONTEC 2194 que lo define como patrón que generalmente posee la máxima calidad metrológica disponible en un sitio dado o en una organización dada, a partir del cual se derivan las mediciones hechas.

### **3.3.6 Patrón de Trabajo**

Patrón que contrastado por comparación con un patrón de referencia, se destina a verificar los instrumentos de medición comunes, de menor precisión.

Además el patrón de trabajo se utiliza para calibrar o verificar medidas materializadas, o materiales de referencia.

Existe una modalidad de patrón de trabajo que es el **patrón de verificación** el cual se utiliza rutinariamente para asegurar que las mediciones se efectúan correctamente.

### **3.3.7 Patrón de Transferencia**

Patrón que se utiliza como intermediario para comparar patrones.

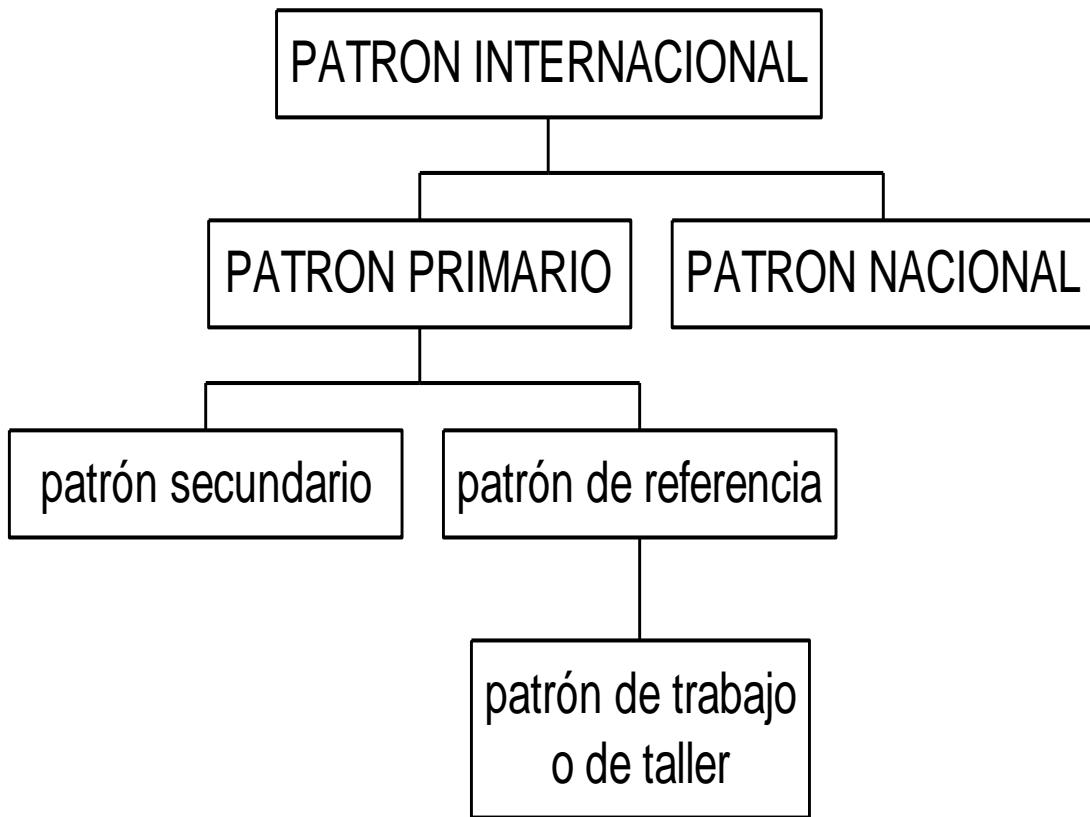
**Nota :** Cuando el intermediario no es un patrón, se debe utilizar el término **dispositivo de transferencia**.

### **3.3.8 Patrón Viajero**

Patrón, a veces de construcción especial, destinado a ser transportado entre lugares diferentes.

Ejemplo : Un patrón atómico de frecuencia de Cesio, portátil que funciona con batería.

Figura 20. Jerarquía de los Patrones



### 3.3.9 Trazabilidad

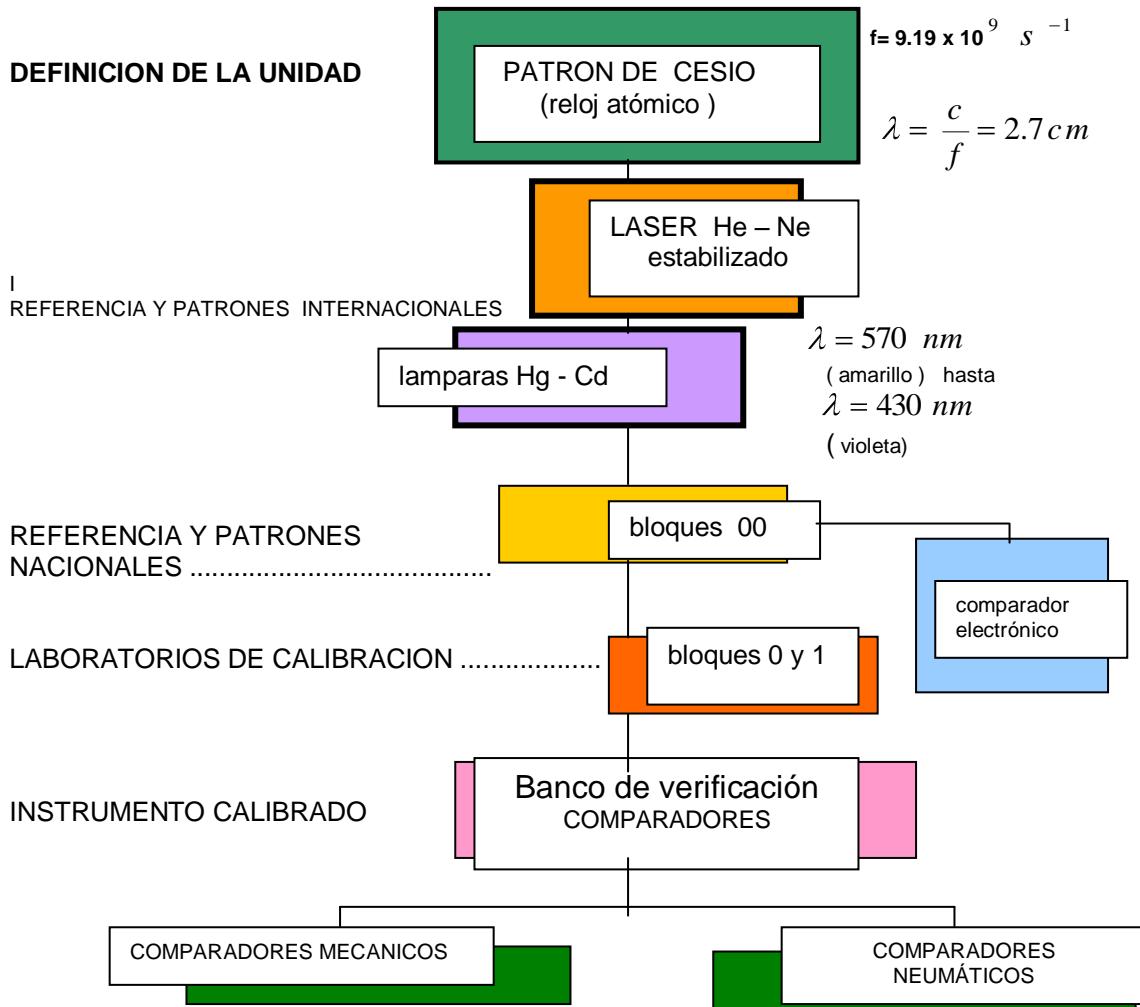
Se Define como la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, en virtud de la cual ese resultado se puede relacionar con referencias estipuladas, generalmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que tengan todas incertidumbres determinadas.

La manera como se efectúa la interrelación con los patrones se llama “empalme contra los patrones”.

Otra forma como se puede definir la Trazabilidad es que consiste en la propiedad del resultado de una medición por la cual éste resultado se puede relacionar o referir a los patrones o referencias del más alto nivel y a través de éstos a las unidades fundamentales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones. (Definición y ejemplo tomados del texto “Fundamentos de Metrología I Parte” Publicado por ICONTEC).

Ejemplo : En la Figura 21 se muestra la cadena ininterrumpida que une a un comparador y las mediciones que se pueden efectuar con él, con la definición del metro.

Figura 21. Trazabilidad



El metro es el camino recorrido por la luz en  $1/299\,792\,458 \text{ s}$

## 3.4 CONSIDERACIONES SOBRE ERRORES EN LAS MEDICIONES

### 3.4.1 Definición de error de Medición

Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud por medir. ( según la norma NTC 2194).

Es de aclarar que también que algunos autores definen el denominado **error absoluto** como la diferencia entre el valor verdadero ( señal patrón que se introduce al sistema de medición) menos el valor que indica el sistema de medición, es decir, el valor leído.

Puesto que no se puede determinar el valor verdadero, en la práctica se utiliza un **valor verdadero convencional**, previamente definido.

Cuando se necesita distinguir entre error relativo y error absoluto, éste último no se debe confundir con el **valor absoluto del error**, que es el módulo del error.

### 3.4.2 Tipología General de los errores

Cuando se va a medir cualquier magnitud, se observa que, aunque se repita muchas veces se presenta alguna pequeña variación entre una lectura y otra aunque el operador y el instrumento de medición sean los mismos. Esto no quiere decir que tampoco se observen diferencias entre una lectura y otra aún cambiando de operador o cambiando el instrumento o lugar de verificación. Las causas de esas diferencias pueden originarse en múltiples factores que se pueden agrupar en un cuadro, como el que sigue, en donde se ha tratado de elaborar una especie de tipología de errores para poder hacer más fácil el discernimiento y la conceptualización para el lector.

El proceso en que actúa el instrumento que efectúa las medidas en condiciones de régimen permanente, produce el llamado **error Estático**. Este es el régimen que se considera cuando se calibran los aparatos de medida con aparatos patrón ; se deja que las lecturas se estabilicen, es decir, que los valores sean permanentes para poder efectuar las lecturas de comparación entre el aparato de medida y el aparato patrón.

En condiciones dinámicas, el error varía considerablemente, debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos : absorben energía del proceso y ésta transferencia requiere cierto tiempo, lo cual origina retardos en las lecturas del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado **Error Dinámico** (diferencia entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento) : su valor depende del tipo del fluido del proceso, de su velocidad, del elemento detector, de los medios de protección (vaina, aislantes, etc.).

A continuación, pues la tipología de errores :

## ERRORES ALEATORIOS

### ERRORES SISTEMATICOS

### ERRORES ACCIDENTALES

ERRORES INSTRUMENTALES

ERRORES POR MÉTODO DE MEDICION.

ERRORES SUBJETIVOS O IMPUTABLES AL OPERADOR.

ERRORES METODICOS.

ERRORES AMBIENTALES.

ERRORES DE INSTALACION

#### 3.4.2.1 Errores Aleatorios

Son los que están determinados por el resultado de una medición menos la media que resultaría a partir de un número infinito de mediciones de la misma magnitud por medir, efectuadas en condiciones de repetibilidad. Dado que únicamente es posible efectuar un número finito de mediciones, **sólo se puede determinar una estimación del error aleatorio.**

El error aleatorio es igual al error menos el error sistemático (ver en el numeral 3.4.2.2. error sistemático).

Sin embargo, cabe aclarar que éste tipo de error varía casualmente al medir repetidas veces una misma magnitud. Estos errores son provocados por factores que no se pueden determinar en el proceso de medición **y sobre los cuales es imposible ejercer influencia.** Si al repetir las mediciones se obtienen valores numéricos iguales, eso no significa que se carece de errores aleatorios, sino que son insuficientes tanto la apreciación como la sensibilidad de los aparatos de medida.

Los errores aleatorios son inconstantes tanto en valor como en signo. No pueden determinarse por separado y provocan la inexactitud del resultado de medición. No obstante, mediante la teoría de la probabilidad y de los métodos estadísticos, esos errores pueden ser determinados y caracterizados cuantitativamente en su conjunto, de un modo tanto más seguro cuanto mayor sea el número de observaciones o mediciones realizadas en condiciones de repetibilidad.

#### Errores Sistemático

Media que resultaría de un número infinito de mediciones de la misma magnitud por medir efectuadas en condiciones de repetibilidad menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

Este tipo de error permanece constante o varía de una manera regular al medir repetidas veces una misma magnitud. Si los errores sistemáticos son conocidos, es decir, si tienen valores y signos determinados, estos pueden corregirse.

Llámase **corrección** el valor de una magnitud - homónima a la que se mide - el cual se añade al valor obtenido durante la medición con el fin de eliminar el error sistemático. Cabe señalar que la corrección que se introduce en las indicaciones de un aparato de medición se denomina corrección de la indicación del aparato. En otras palabras más sencillas la corrección es el valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático.

De otra parte, **el factor de corrección** es un número por el cual se multiplica el resultado no corregido de una medición, para compensar un error sistemático.

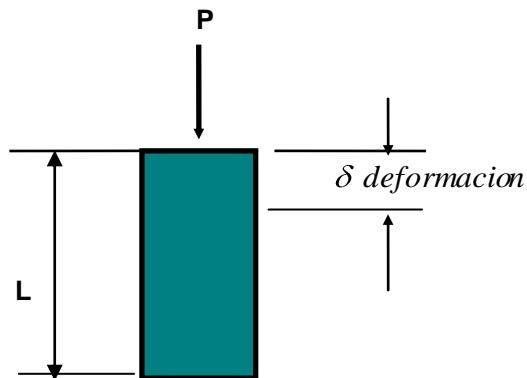
**Nota :** Puesto que no se puede conocer perfectamente el error sistemático, la compensación no puede ser completa.

❖ **Errores Instrumentales.** Los aparatos de medición proceden de procesos de fabricación en donde se han efectuado sobre cada uno de sus componentes materiales, procesos de fabricación, ensambles con sus tolerancias, tratamientos térmicos, reacciones químicas, etc. originando que con el uso y el tiempo se presenten desajustes en los mismos, desgastes, deformaciones, degradación de las características de cada uno de sus componentes y demás efectos que hacen que se cometan, los denominados errores instrumentales o errores debidos al aparato de medida.

Complementariamente a lo anterior, también existen otras causas de tales errores, como las que se comentan a continuación.

**Errores por presión de contacto.** En muchas mediciones en que el aparato de medida - por intermedio de su palpador - está en contacto con la pieza, se presenta una deformación por aplastamiento de la misma causada por efecto de fuerzas de compresión originando como consecuencia contracción en el aparato de medida. Esta deformación se origina por la denominada **presión de contacto**. Ver Figura 22.

Figura 22. Presión de Contacto



Según el tipo de aparato de medida, la presión de contacto puede variar entre 50 y 700 g.

ejemplos :

Los comparadores de amplificación mecánica, desarrollan una fuerza de presión de 25 a 100 g.

Los micrómetros desarrollan una fuerza de contacto de 0.5 a 1 Kg.

La fuerza de presión para una aguja de un medidor de rugosidad es en promedio de aproximadamente 1.0 mN.

El modelo matemático del aplastamiento  $\delta$  sufrido por una pieza que está sometida a una presión de contacto como la mostrada en la figura 22, se puede formular según la ciencia de la Resistencia de Materiales, como sigue :

$$\delta = \frac{P L}{S E}$$

donde :

P : Es la Presión de contacto

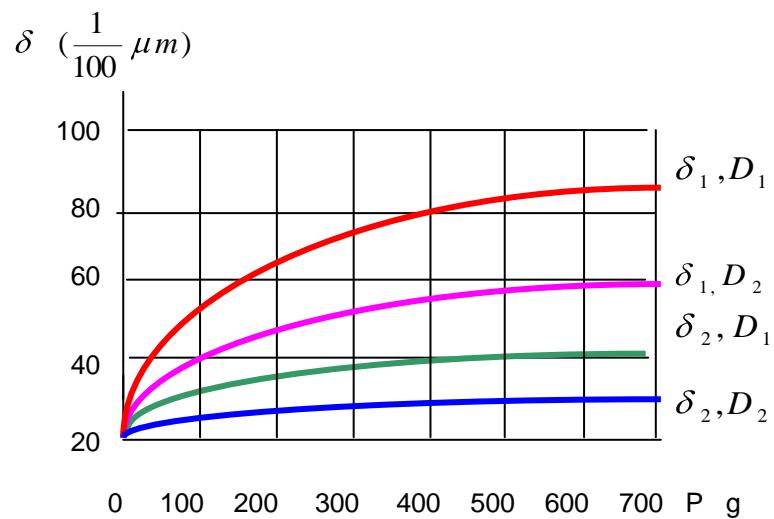
L : Longitud de la Pieza

S : Sección Transversal de la pieza a medir.

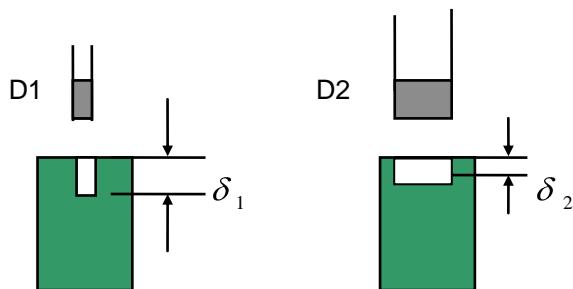
E : Módulo de elasticidad del material a medir. Por ejemplo, para el Acero el módulo de Elasticidad es de 21000 Kg / m<sup>2</sup>.

Por otra parte, además de la deformación por aplastamiento anteriormente descrita, las piezas a medir pueden sufrir una deformación del tipo local producida por la forma del palpador o sensor que deja una huella del tipo identación que es más profunda que la del aplastamiento. El cálculo de esta deformación es empírico debido a que entran en juego los materiales del palpador y de la pieza, los diámetros de la superficie de contacto del mismo, la forma, etc. en la Figura 23 se muestran varas curvas que relacionan la presión de contacto con la deformación local  $\delta$ .

Figura 23. Presión de Contacto y Deformación local.



Donde :  $\delta_1$  y  $\delta_2$  son las profundidades de indentación para los materiales cuarzo y acero con diámetros de palpadores de  $D_1 = 1,5 \text{ mm}$  y  $D_2 = 5 \text{ mm}$  respectivamente



**Defectos de fabricación del Aparato.** Los aparatos de medida han sido fabricados con tolerancias que son errores admisibles, pero, a más de ellos se cuentan defectos en ensambles, corrimientos de ejes o imperfecciones del tipo geométrico (errores de forma y posición), es decir todo tipo de desviación que hace que el mismo no sea exacto y preciso al efectuar mediciones. Sin embargo, los fabricantes de instrumentos consideran que los errores producidos al medir con aparato en perfecto estado, no deberán ser superiores a la décima parte de una graduación de su escala, por ejemplo si una graduación de una escala en un termómetro representa  $0,5^\circ\text{C}$ , el error máximo permisible es de  $0,05^\circ\text{C}$ .

**Errores por el uso de los aparatos.** Debido a su constante aplicación, los aparatos de medida se desgastan, lo que hace necesario su verificación periódica para efecto de comprobar si está dentro de sus límites de error admisibles. Cuando un aparato, por efectos del desgaste, está fuera de los límites de error admisibles, muchas veces se les considera inútiles como es el caso de los Calibres Pasa - No Pasa que poseen un límite de desgaste a partir del cual se deben desechar.

**Error de Multiplicación o de sensibilidad  $e_K$ .** Es aquel en que todas las lecturas de un aparato de medida aumentan o disminuyen progresivamente con relación a una recta representativa de calibración ideal. La desviación progresiva puede ser positiva o negativa.

La recta representativa de calibración ideal, significa que si el valor de una variable real o de entrada es **X**, por ejemplo, el aparato de medida debe suministrar una lectura o valor de salida de **X**, correspondientemente. Una recta de calibración llamada **recta de calibración estática** tiene la foma ( ver numeral 3.5.2.1. ) :

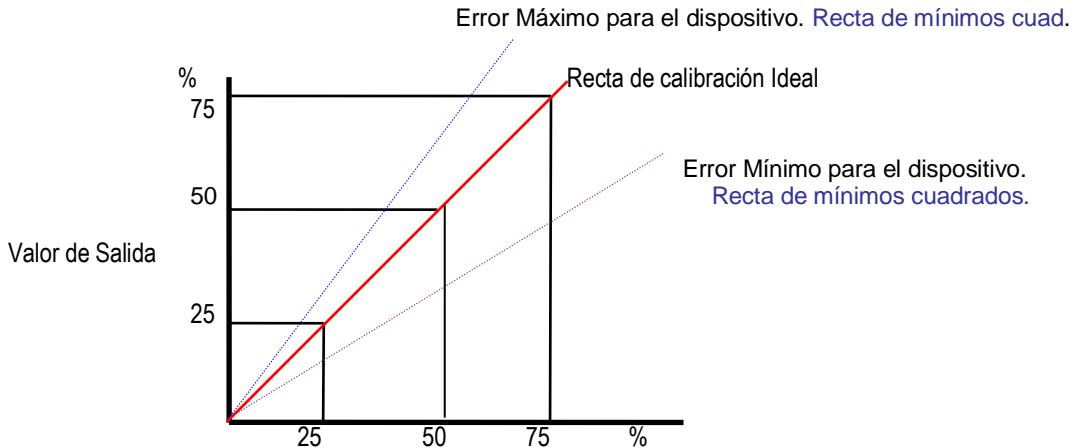
$$y_L = a_0 + a_1 x \quad \text{donde } y_L \text{ es la recta ajustada o de mínimos cuadrados y :}$$

**x** es la entrada

**y** es el valor medido

$a_0$  y  $a_1$  son el cruce de la recta de calibración con el eje - y – y la pendiente de la recta de calibración respectivamente, obtenidos por medio del método de mínimos cuadrados partiendo de datos de entrada ( valor de la señal del patrón **x** ) y los datos de respuesta o lectura del instrumento ( valor de la señal de salida **y** ). Ver Figura 24.

Figura 24. Error de Multiplicación

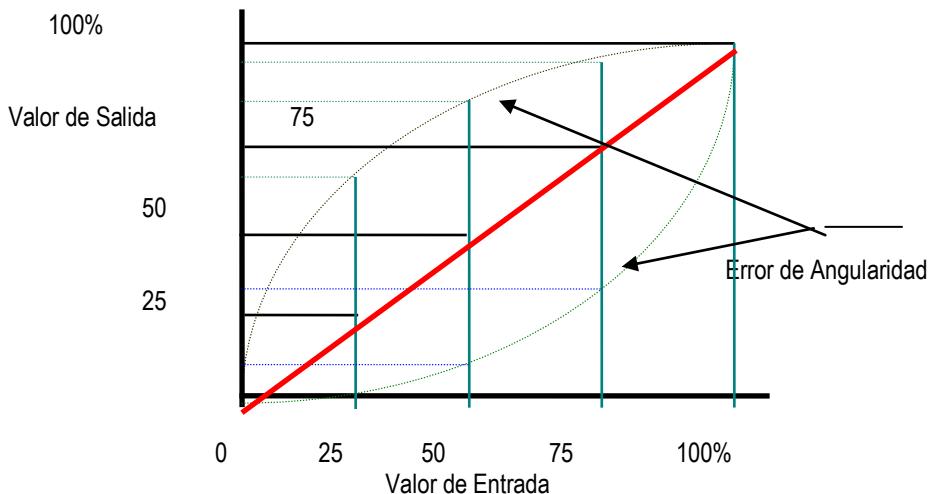


El error de sensibilidad  $e_K$ , es una medida estadística del error de precisión en la estimación de la pendiente de la recta de calibración o curva de calibración.

**Nota:** Existe un error denominado de **sensibilidad térmica** que es el error de sensibilidad que a veces depende de la temperatura y se determina para diferentes temperaturas cuando no se puede mantener una temperatura constante.

**Error de Angularidad.** Es aquel en donde la curva real de calibración coincide con la curva ideal en los puntos 0 y 100%, apartándose de la misma en los restante. Generalmente el máximo de la desviación suele estar en la mitad de la escala. Ver Figura 25.

Figura 25. Error de Angularidad

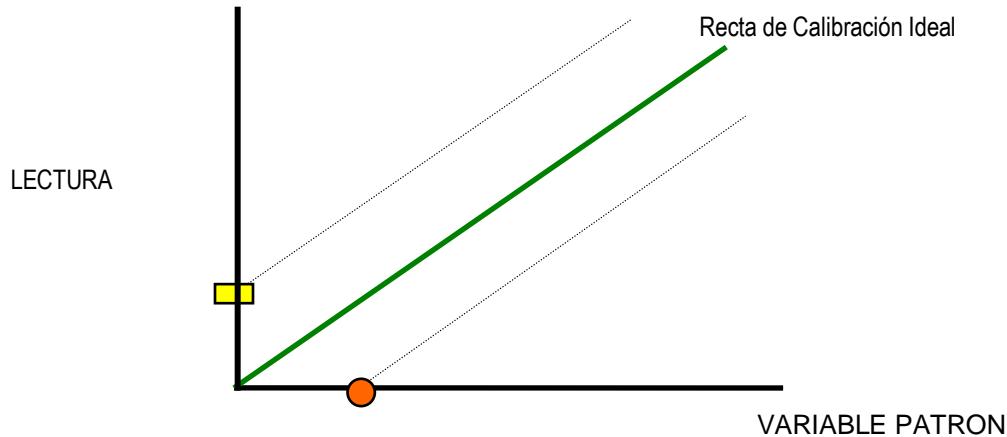


**Error de Cero**  $e_z$ . Es el corrimiento que sufre la curva de calibración al intersectarse con uno de los ejes (X ó Y). Son debidos a la incorrecta posición de agujas o índices dentro de los aparatos de medida, en la marca inicial de la escala. Se corrige accionando el tornillo de cero o botón de cero que viene con los aparatos de medida análogos o digitales.

También se define como error del punto de control para un valor nulo de la magnitud a medir y la norma NTC 2194 lo define como error en el punto de medición de valor cero.

Al ocurrir el error de cero, todas las lecturas están desplazadas un mismo valor con relación a la recta representativa del instrumento o recta de calibración ideal. En la Figura 26 se observa este tipo de error .

Figura 26. Error de Cero



**Error de precisión.** Es una medida de la variación aleatoria determinada durante mediciones repetidas. Un sistema que de manera repetida indica el mismo valor erróneo con la aplicación repetida de una entrada particular, se considerará muy preciso sin importar que tan exacto sea.

**Error de sesgo.** Es el error promedio en una serie de mediciones de calibración repetida.. Se calcula promediando el error de indicación en un número adecuado de mediciones repetidas. Este error de indicación se calcula como la indicación de un instrumento de medición menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente que se puede obtener a través de l valor de un patrón de referencia. Está relacionado con la exactitud de un instrumento de medición.

**Error de Linealidad**  $e_L$  . La mayoría de los instrumentos poseen un comportamiento lineal entre la entrada estática aplicada y el valor o lectura de salida indicada.

Para varios valores de entrada al instrumento se obtienen varios valores de salida o lectura del mismo que se pueden relacionar mediante **una recta de ajuste o de calibración** de la forma:

$$y_L = a_0 + a_1 x \quad \text{donde } y_L \text{ es la recta ajustada y } x \text{ es la entrada}$$

**y** es el valor medido

La diferencia:  $e_L(x) = y(x) - y_L(x)$  , se denomina **error de linealidad**.

$$y(x) = \text{es el valor medido} \quad ; \quad y_L(x) = \text{es el valor ajustado}$$

**Error de Histéresis**  $e_h$ . A partir de la definición del numeral 2.3.1.9. Histéresis, se puede resumir que es la diferencia de los valores de salida o respuesta del instrumento de medición en orden ascendente (  $y_{ascenso}$  ) y valores de salida o respuesta del sistema de medición en orden descendente (  $y_{descenso}$  ).

$$e_h = y_{ascenso} - y_{descenso}$$

**Error de Repetibilidad**  $e_R$ . Con base en el concepto de repetibilidad suministrado en el numeral 2.3.1.6 , se define el error de repetibilidad en función de una medición estadística denominada desviación normal o estándar y el margen de salida o intervalo de operación a máxima escala FSO ( full scale operating range ), del instrumento de medición, así:

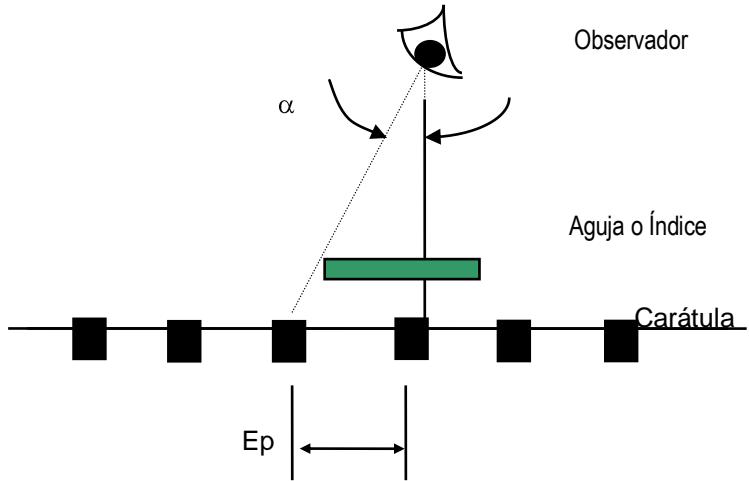
$$\% ( e_R )_{máx} = \frac{2(\sigma_n)}{r_o} \times 100$$

donde  $r_o = y_{máx} - y_{mín}$  es el intervalo de operación de salida del aparato de medida o es decir , su **rango**.

❖ **Errores Subjetivos.** También denominados errores imputables al operador, son aquellos producidos por el operador y debidos a agudeza visual, al tacto, a la sensibilidad, a las acciones sicomotoras comandadas por el cerebro o al cansancio del individuo. Aquí se pueden contar Errores de paralaje, errores de posición incorrecta, o errores de interpolación.

**Errores de Paralaje.** Debido a que en muchos aparatos de medida, la aguja y la carátula no están en el mismo plano, el operador tiende a localizarse en una posición aproximadamente perpendicular a la escala o graduación, pero no lo puede conseguir, produciéndose un ángulo de visual que proyectado por intermedio del índice sobre la carátula produce un desface con respecto a la graduación que realmente se debe leer. Ver Figura 27.

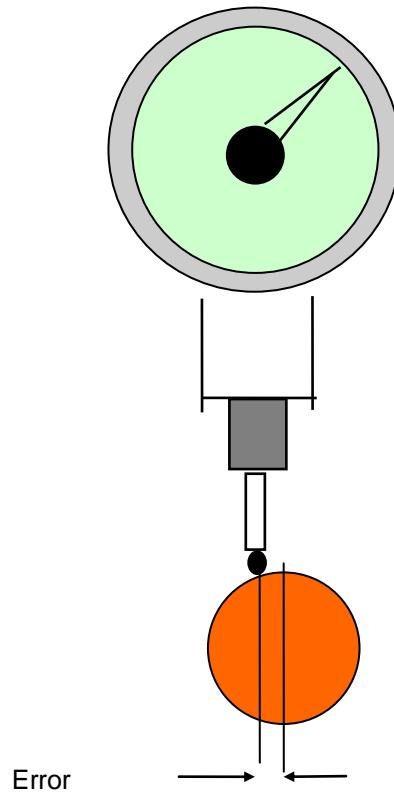
Figura 27. Error de Paralelismo



Como se puede apreciar este tipo de error es inevitable si la Escala es del tipo graduaciones. Lo contrario, si la escala es digital.

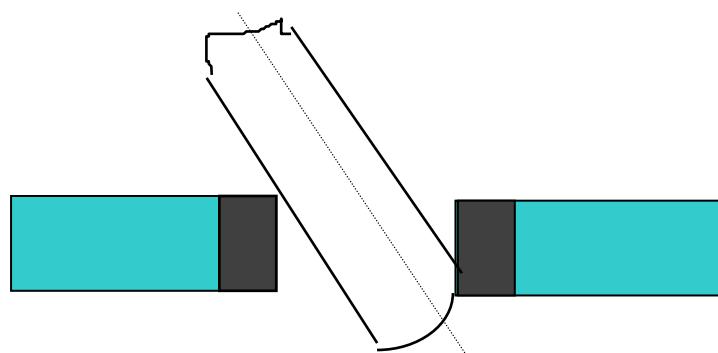
**Error de posición Incorrecta.** Es el producido por la mala colocación del contacto o sensor de medición o caras o bocas de medición, con respecto a la parte del objeto en donde se produce la operación de medida. Por ejemplo, se origina este tipo de error al no colocar el contacto de medición en posición del eje de simetría de la pieza como es el caso de los comparadores de la carátula. Ver Figura 28.

Figura 28. Posición Incorrecta



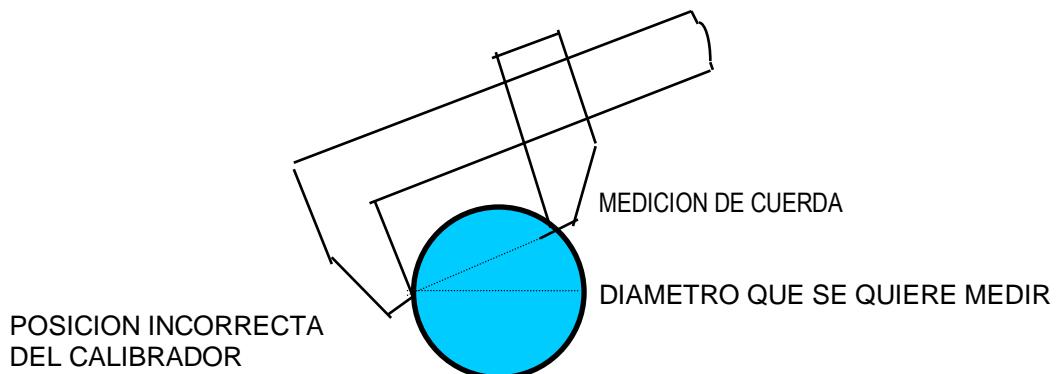
**Error con los contactos de medida.** Algunos aparatos de medida poseen contactos planos, o esféricos lo cual exige por parte del usuario su correcta localización en superficies planas, o curvas, efectuando un asiento adecuado para cada caso, para que no suceda lo que se presenta en la Figura 29.

Figura 29. Error con Los Contactos de Medida.



Por último, en la figura 30. Se puede mostrar un error muy común de posición incorrecta al medir, por ejemplo, una dimensión interior.

Figura 30. Posición Incorrecta de un Calibrador Pie de Rey



**Error de interpolación.** Aquel que se comete cuando se efectúan cálculos con el objeto de determinar el valor de una cantidad y utilizando para ello dos o más valores conocidos de la misma

mediante la utilización de una regla de tres. Este se presenta al determinar el valor de una magnitud que puede variar en forma No Lineal, para lo cual la regla de tres es improcedente.

**Errores Metódicos.** Son los que se determinan a partir de las condiciones o la metodología de medición de una magnitud, por ejemplo, la temperatura del objeto a ser medido, la presión del mismo, etc., es decir, este tipo de error no depende de la exactitud de los aparatos de medida. De otra parte también los errores metódicos están presentes o surgen, por ejemplo, debido a la presión excesiva de la columna de líquido en la línea de conexión, si el aparato medidor de la presión se instala más arriba o más abajo del lugar donde se manifiesta dicha presión, o, al medir, por ejemplo, la temperatura con un termómetro del tipo : termopar, de resistencia RTD's ó termistor juntamente con un aparato de medida, debido a las condiciones del intercambio térmico con el medio ambiente.

**Errores Ambientales.** Estos son los imputables al ambiente del lugar donde se efectúan las mediciones. Dicho ambiente está conformado esencialmente por:

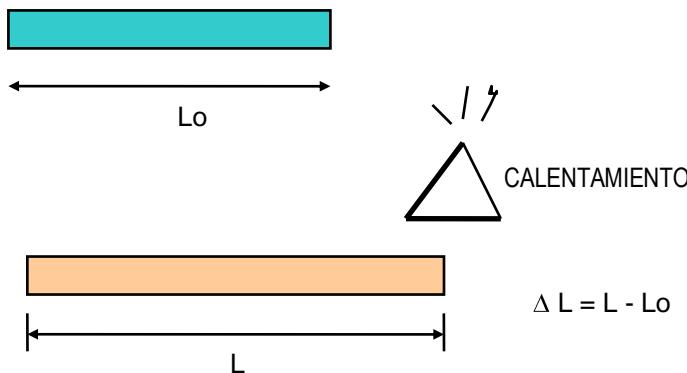
- ❖ Las variaciones de temperatura.
- ❖ Calor debido a la iluminación artificial
- ❖ Radiaciones del sol
- ❖ Radiaciones producidas por estufas, hornos, etc.,
- ❖ humedad relativa dentro del laboratorio
- ❖ calidad del aire de la sala de medición
- ❖ ..... algunas otras que se pueden haber escapado de la lista anterior.

**La Temperatura de Referencia** del lugar donde se efectúan las mediciones está internacionalmente normalizada por ISO en 20°C.

**Errores Producidos por dilataciones Térmicas.** Debido a que los cuerpos se dilatan o se contraen por efecto de variaciones de la temperatura, su dimensión se ve afectada en virtud a : la cantidad de aumento o disminución de temperatura, a su dimensión inicial y al material del cual está constituido y que viene representado por el denominado **coeficiente de dilatación lineal representado por el símbolo  $\alpha$ .**

En la Figura 31 se representa una barra de longitud inicial  $L_0$  a una temperatura  $T_0$ . Si se calienta hasta una temperatura  $T$ , se produce un aumento en su longitud hasta una dimensión final,  $L$ , originando un incremento dimensional  $\Delta L$ .

Figura 31. Dilatación Térmica



La ecuación que rige la dilatación lineal de los cuerpos, viene dada por la expresión :

$$L = L_o [1 + \alpha (T - T_o)]$$

La medida de una longitud hallada a una temperatura distinta de la referencia (20 grados centígrados), debe corregirse para conocer la medida de un cuerpo a ésta temperatura. La corrección se realiza aplicando los conceptos anteriores, mediante la ecuación :

$$L_T = L_{20} [1 + \alpha (T - 20)]$$

Donde :

$L_T$  = La longitud de la pieza a la temperatura del recinto de medición, T.

$L_{20}$  = La longitud de la pieza a la temperatura de referencia.

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación lineal del material de la pieza.

En la tabla 6, se muestran los coeficientes de dilatación lineal para distintos materiales.

Tabla 6. Coeficiente de Dilatación Lineal

SUSTANCIA	COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL $\times 10^{-6}$
ACERO	12
ALUMINIO	24
BRONCE	17
CARBUTO DE TUNGSTENO	5.5
CINC	26
COBRE	14
LATON	20
VIDRIO	4 A 9
INVAR	1.3
MAGNESIO	24

### 3.4.2.2 Errores Accidentales

Son producidos por variaciones indeterminadas en las condiciones experimentales que provocan alteraciones en los resultados. En contraste con los sistemáticos, la reiteración del proceso de medición permite poner de manifiesto su existencia (precisamente por la discordancia de los resultados). Los que no es posible, es encontrar una corrección aplicable a cada medida, por es se

les considera **errores incontrolables**. Ejemplos : Vibración imprevista durante el proceso de medición, una oscilación brusca de temperatura, distracción momentánea del observador, etc.

### 3.4.3 Error Absoluto y Error Relativo

#### 3.4.3.1 Error Absoluto

Se define como la diferencia entre el valor exacto de una magnitud (generalmente desconocido) y su valor aproximado o medido.

$$e = V - A \quad \text{donde : } e = \text{Error Absoluto}$$
$$V = \text{Valor Exacto}$$
$$A = \text{Valor aproximado.}$$

Debido a que el signo del error es desconocido, es conveniente determinar un error E, igual al valor absoluto de la diferencia. Es decir :

$$E = |V - A| \quad \text{ó} \quad V = A \pm E$$

Cuando el error absoluto es negativo, se dice que el error es por **defecto**. Si el error absoluto es positivo, se dice que el error es por **exceso**.

**Observación :** El error absoluto máximo de un instrumento nunca es mayor que una división de la escala del instrumento. Por ejemplo en un manómetro cuyas divisiones valgan 05.  $\frac{N}{m^2}$  , El

error absoluto máximo es de  $\pm 0.5 \frac{N}{m^2}$  .

#### 3.4.3.2 Error Relativo

Según la norma ICONTEC NTC 2194 es el error absoluto de medición dividido por un valor verdadero de la magnitud por medir.

Puesto que no se puede determinar un valor verdadero, en la práctica se **utiliza un valor verdadero convencional**.

El error relativo, a diferencia del absoluto es una magnitud dimensional que se expresa generalmente en tanto por ciento.

Ejemplo : si por ejemplo se está midiendo una intensidad de corriente con un amperímetro que posee una escala regular y lineal y que va desde 0 hasta 250 mA y con un valor de división de 5 mA, el error relativo en toda la escala será :

$$Er = \frac{5}{250} = 0.02 = 2 \%$$

Sin embargo, es de notar que cuando se realizan mediciones en diferentes sectores de la escala, el error relativo varía queriendo decir esto que no es lo mismo cometer un error de una división, por ejemplo, un sector de la escala entre 0 y 80 mA, que en un sector de la escala entre 0 y 150 mA.

Para lo anterior, es de anotar que las mediciones realizadas en distintos sectores de la escala tienen idéntico error absoluto.

### 3.4.4 Propagación de Errores en las Mediciones Indirectas

Si una función F posee más de una variable, es decir :

$$F = F (A, B, C, D, E, \dots, T)$$

donde F, por ejemplo, es el valor de una magnitud medida indirectamente y representada por medio de una ecuación matemática o función y en donde las variables A, B, ..., T, han sido medidas con diferentes aparatos de medida con sus respectivos errores absolutos máximos representados por diferenciales :  $dA, dB, dC, \dots, dT$ , se puede inferir que F posee un error absoluto máximo  $dF$ , que matemáticamente y mediante conceptos de derivadas parciales y regla de la cadena, toma la forma que sigue :

$$dF = \frac{\partial F}{\partial A} dA + \frac{\partial F}{\partial B} dB + \frac{\partial F}{\partial C} dC + \frac{\partial F}{\partial D} dD + \dots + \frac{\partial F}{\partial T} dT$$

De lo anterior, el error relativo cometido al medir F, será igual a :

$$Er = \frac{dF}{F}$$

De otra parte, la Desviación Estándar Experimental (llamada algunas veces en forma errónea error estándar de la media), será igual a :

$$S_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial A}\right)^2 S_A^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial B}\right)^2 S_B^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)^2 S_T^2}$$

### 3.4.5 Evaluación Estadística de los Errores

Tomando como punto de partida para el análisis, el considerar de que existe un valor verdadero de una magnitud que se quiera medir y que el ideal del proceso de medición es obtener ese valor verdadero, la idea es determinarlo tan aproximadamente como sea posible.

Las herramientas estadísticas aportan una buena solución a lo planteado y para mejor ilustración, se tomará un ejemplo práctico como el que sigue.

**Ejemplo :** En un laboratorio de metrología se han tomado, por intermedio de un micrómetro de exteriores, diez medidas del diámetro exterior de un tornillo de rosca métrica, como se muestra a continuación :

Tabla 7. Medidas del diámetro de un Tornillo

Lectura No.	Diámetro Exterior
1	20.32
2	20.31
3	20.30
4	20.29
5	20.30
6	20.29
7	20.32
8	20.31
9	20.29
10	20.30

De la anterior tabla, se pueden calcular el promedio o media aritmética de los datos y la desviación estándar experimental de la media, dando como resultado :

$$N = 10 \text{ (número de datos)}$$

$$\bar{X} = 20.303 \text{ media}$$

$$S = 0.011595$$

El error medio cuadrado del promedio, E, sirve para definir el **Intervalo de Incerteza** o intervalo de incertidumbre asociado a una medición. La expresión del resultado de una medición es, pues :

$$A - E \leq V \leq A + E \quad \text{que es equivalente a :}$$

$$\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{N}} \leq V \leq \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{N}}$$

## 3.5 CALIBRACION DE UN INSTRUMENTO DE MEDICION

### 3.5.1 Calibración

Según la Norma INCONTEC 2194, La calibración se define como un conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento de medición o por un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes determinados por medio de patrones.

El resultado de una calibración permite bien sea asignar a las indicaciones los valores de las magnitudes por medir, o determinar las correcciones con respecto a las indicaciones.

Una calibración también puede determinar otras propiedades metrológicas tales como el efecto de las magnitudes de influencia.

El resultado de una calibración se puede registrar en un documento que a veces se llama **Certificado de Calibración o Informe de Calibración.**

### 3.5.2 Pasos para la Calibración de un Instrumento de Medida

#### 3.5.2.1 Bases matemáticas para la calibración. Recta de Calibración Estática.

La Relación entre la señal de entrada y la señal de salida es lineal, por lo tanto se debe seleccionar una ecuación que contenga esta misma característica : Una Línea Recta.

La forma como se debe seleccionar esta línea la provee el método de mínimos cuadrados, conocido en las herramientas estadísticas para ajustar una serie de puntos a una recta.

La ecuación de una línea recta en general y para **n** pares de datos del tipo (xi , yi ), viene dada por la siguiente expresión matemática :

$$y = mx + b \quad \text{Recta de Calibración Estática}$$

De acuerdo a lo anterior , para cada valor de **xi** ( el cual se asume libre de error pues es el patrón de calibración ) , se puede predecir un valor **Yi** ( **lectura del instrumento de medida** ) de acuerdo a la relación lineal :  $Y = mx + b$ . Además , para cada valor de **xi** , **se tiene un error** :

$$e_i = Y_i - y_i \quad , \text{donde el error cuadrático es :}$$

$$e_i^2 = (Y_i - y_i)^2 = (mx_i + b - y_i)^2$$

La suma de los errores cuadráticos considerando todos los puntos es desde luego:

$$E = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (mx_i + b - y_i)^2$$

Para minimizar el error  $E$ , se deriva parcialmente la expresión anterior con respecto a  $m$  y  $b$  y se iguala a cero, así:

$$\frac{\partial E}{\partial m} = 0 = \sum 2(m x_i + b - y_i) x_i$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 = \sum 2(m x_i + b - y_i)$$

Resolviendo éstas ecuaciones en forma simultánea, para  $m$  y  $b$  se encuentra:

$$m = \frac{\left| \begin{array}{cc} n & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i y_i \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{array} \right|}$$

$$b = \frac{\left| \begin{array}{cc} \sum y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum x_i^2 \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{cc} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{array} \right|}$$

Ejemplo :

Se está realizando la calibración de un instrumento para medición de longitudes, cuyos valores se dan en la siguiente tabla. Calcular la recta de calibración.

Tabla 8. Datos para Calibración (mm)

patrón $x_i$	Lectura del aparato $y_i$
2	2.1
5	4.9
9	9.3
10	9.9
15	15.1

De acuerdo al desarrollo matemático anterior, el método corresponde al de mínimos cuadrados de ajuste de una recta. Por lo tanto elaborando cálculos, se llega a la siguiente tabla

Tabla 9. Tabla de cálculos y proceso de datos.

$x_i$	$x_i^2$	$y_i$	$x_i y_i$	$y_i^2$
2	4	2.1	4.2	4.41
5	25	4.9	24.5	24.01
9	81	9.3	83.7	86.49
10	100	9.9	99	98.01
15	225	15.1	226.5	228.01
$\sum x_i = 41$	$\sum x_i^2 = 435$	$\sum y_i = 41.3$	$\sum x_i y_i = 437.9$	$\sum y_i^2 = 440.93$

De los anteriores datos , se tiene :

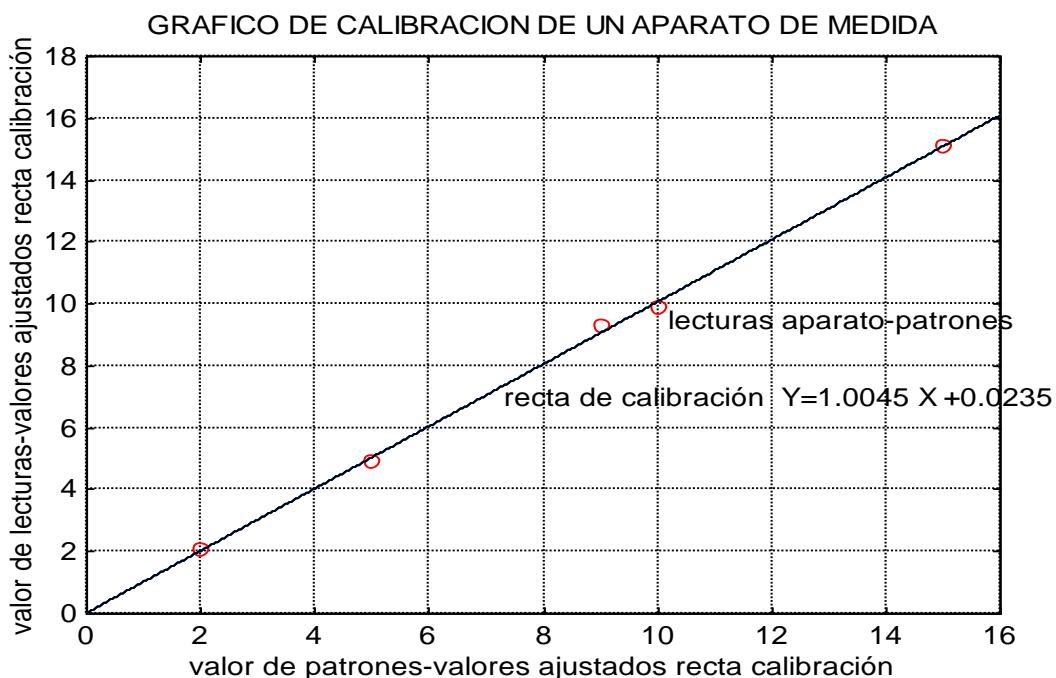
$$m = 1.0045 \\ b = 0.0235$$

Por lo tanto la recta de calibración, queda :

$$y = 1.0045 x + 0.0235.$$

Dibujando los datos obtenidos en los ensayos de medición y la recta de mínimos cuadrados calculada en un solo gráfico , se puede observar lo siguiente Figura 32.

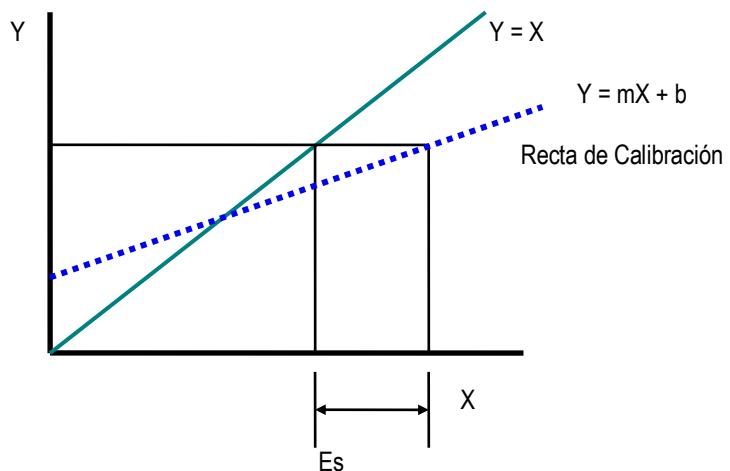
Figura 32. Curva De Calibración de un Aparato de Medida



Otro concepto importante es que la diferencia entre el valor obtenido en la lectura y el valor calculado mediante la recta de calibración, da como resultado el **ERROR SISTEMATICO**, es decir , ( Figura 33).

Dicho de otra forma, la calibración de un instrumento de medida implica la remoción del error sistemático y la definición de su precisión y exactitud.

Figura. 33 Error Sistemático



### 3.5.2.1 Pasos Prácticos para calibrar un instrumento de Medida

Se puede denominar también Procedimiento General para Calibrar un Instrumento de medida, que comprende las siguientes actividades tomadas del Texto “Instrumento Industriales : Su ajuste y Calibración” de Antonio Creus Solé.

**ACTIVIDAD 1 :** Situar la variable en el valor mínimo del campo de medida, y en este valor ajustar el tornillo o botón de Cero del instrumento hasta que el índice señale el punto de base (el cero de la escala). También se puede mediante la generación de una señal patrón del valor mínimo correspondiente al valor mínimo del campo de medida del instrumento para proceder enseguida a efectuar el ajuste correspondiente.

**ACTIVIDAD 2 :** Colocar la variable en el valor máximo del campo de medida, y en éste valor ajustar el tornillo o botón de multiplicación (span), hasta que el índice señale el valor máximo de la variable, o, análogo a la actividad anterior, mediante la generación de una señal patrón correspondiente al valor máximo del campo de medida del instrumento proceder a efectuar el ajuste correspondiente.

**ACTIVIDAD 3 :** Repetir las actividades anteriores sucesivamente hasta que las lecturas sean correctas en los valores máximo y mínimo.

**ACTIVIDAD 4 :** Colocar la variable en el 50% del intervalo de medida y en éste punto ajustar la angularidad hasta mover el índice una distancia igual a cinco veces el valor del error en la dirección del mismo, o, generar una señal patrón correspondiente al 50% del intervalo de medida para

efectuar el ajuste correspondiente. De igual manera ajustar la angularidad en los valores 25% y 75% de la escala.

**ACTIVIDAD 5 :** Reajustar sucesivamente los tornillos de cero y de multiplicación (span) hasta conseguir la exactitud deseada. Si fuera necesario efectuar una nueva corrección de angularidad.

Este procedimiento es general con la salvedad de sustituir la palabra índice por pluma y señal de salida en los casos de instrumentos registradores y transmisores neumáticos (salida 3-15 psi) o electrónicos (4-20 mA c.c.) respectivamente. La posición de los tornillos de ajuste de cero, de multiplicación o de angularidad varía según el tipo de instrumento; algunos tipos carecen de alguno de los. En particular, debe señalarse que los termómetros bimetálicos tienen usualmente tornillo de cero (o en su lugar es posible extraer el índice y ajustarlo al eje en otra posición), de multiplicación y de angularidad y que **los instrumentos electrónicos no suelen tener error de angularidad.**

En la Tabla 9, se indican valores generales de calibración de los instrumentos neumáticos y electrónicos y en la Tabla 10, se presenta una relación de períodos de verificación en meses para algunos instrumentos empleados en metrología dimensional.

Tabla 9 Valores Generales de Calibración para instrumentos Neumáticos y Electrónicos.

Variable Medida %	Señal Neumática	Señal Electrónica mA c.c.	Señal Electrónica V c.c.
0	0.2	4 1 10 0 0	1 0 0 0
25	0.4	B 2 20 1.25 5	2 2.5 12.5 25
50	0.6	12 3 30 2.5 10	3 5 25 50
75	0.8	16 4 40 3.75 15	4 7.5 37.5 75
100	1	20 5 50 5 20	5 10 50 100

FUENTE : Instrumentos industriales. Su ajuste y Calibración. Antonio Creus Solé

Tabla 10. Verificación en meses de instrumentos para Metrología de Taller Mecánico.

Nombre del instrumento	Verificación en meses
Comparador	1
Micrómetros	1
Transportador	2
Calibra Pie de Rey	1
Calibre de Altura	2
Mármol	2
Pararelas Bloques en V	6
Goniómetros	6
Escuadras	6
Comparadores de concentración	6
Bloques Patrón	3
Alambres Calibrados	3
Rugosímetros	6
Proyectores	6

FUENTE : Inspección y Control de Calidad. Antonio Sánchez. Capítulo IX. México. Limusa 1988.

De otra parte y como complemento de lo discutido hasta el momento, la siguiente serie de bloques patrón es la utilizada para efectos de calibrar micrómetros de grado de precisión I de 0 - 25 mm.

0.5 - 1.6 - 2.7 - 3.8 - 4.9 - 6.0 - 7.1 - 8.2 - 9.3 - 10.4 - 11.5 - 12.000 - 12.120 - 12.250 - 12.370 - 15 -  
16 - 17 - 18 - 19 - 20 - 24.000 - 24.120 - 24.250 - 24.370 - -25mm.

Los anteriores valores han sido extraídos del libro “Fundamentos de Metrología I Parte”, publicado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC.

### **3.5.2.2 Componentes Fundamentales de un Sistema de calibración**

El sistema de calibración no es solamente el procedimiento de calibrar instrumentos de medida sino que está complementado por toda una infraestructura que le otorga su importancia dentro de una Organización o Institución y que esencialmente comprende :

- Procedimientos que hacen parte del sistema de calibración.
- Registro de los medios de medición existentes y la actualización frecuente de los mismos.
- Planes de verificación de los medios de medición.
- Estudios referentes a la adquisición e introducción de medios de medición, ensayo y control.
- Establecimiento de sistemas de Codificación y tipos de Códigos de los medios de medición que son utilizados por la organización o Institución.
- Coordinación, control y ejecución en los casos necesarios, los trabajos que garanticen la implantación del sistema internacional de unidades (SI) en la organización incluyendo los medios de medición.

A continuación se ampliarán algunos de los concepto enunciados.

#### **Procedimientos que componen el sistema de calibración**

#### **( Aplicación de elementos conceptuales de la Norma ISO 17025 )**

- Elaboración de un Organigrama de la dependencia encargada del aseguramiento metrológico.
- Establecimiento de políticas muy claras y por escrito de la dependencia encargada del aseguramiento metrológico.
- Elaboración de Normas de procedimientos de Calibración.
- Manuales de los instrumentos de medición (Instrucciones del Fabricante).
- Elaboración de Hojas de Vida o Tarjetas de control de los instrumentos de medición.
- Inventario de los instrumentos de medición.
- Codificación de los instrumentos de medición.
- Hojas de seguimiento del sistema de calibración tanto interno como externo.

- Identificación positiva del estado de calibración (código de colores, rótulos, etiquetas, sellos, marcas especiales, etc.)

### **Registro de los medios de medición**

A continuación se exponen los elementos básicos que componen un registro para un medio de medición.

- Nombre de la Empresa.
- Nombre del Instrumento
- Nombre o marca del Fabricante.
- Tipo de instrumento (Usos)
- Número de serie o número de identificación interna
- Número de la Norma o procedimiento que se utiliza para la calibración.
- Fecha de recepción - fecha de puesta en servicio.
- Ubicación del instrumento.
- Periodicidad de verificación (expresado en unidades de tiempo, o cantidad de piezas controladas u otra unidad).
- Características Estáticas
- Características Dinámicas
- Errores límite permisibles e intervalo de Incertidumbre.
- Fecha de calibración o revisión o reparación.
- Naturaleza de la intervención.
- Resultados de la intervención, observaciones, acta de control.

**Nota:** Dependiendo del tipo de instrumento, se pueden indicar los resultados o hacer referencia al acta o documento que precisa las diferentes características analizadas.

■ Firma del que realiza el control

Empleando correctamente este tipo de registro, se podrán diseñar planes de calibración, planes de reposición, planes de cambio del sistema de unidades utilizado por la organización al sistema internacional de unidades SI y planes de mantenimiento preventivo o correctivo.

Es importante resaltar que las hojas de registro deben reflejar todos los datos referentes a las verificaciones y reparaciones que se hayan practicado al instrumento en cuestión, ya que del nivel de **verificación y veracidad** de los datos tomados de las tarjetas dependerá la calidad del trabajo que se vaya a realizar en la elaboración de productos o en la prestación de servicios.

**Nota :** Las hojas de registro deben elaborarse por separado para cada instrumento ya que se constituyen en hojas de vida de los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

- COMPAIN, J. L. Metrología del Taller . Urmo 1970.
- COLLET-Hope. Mediciones Industriales
- CREUS, Solé Antonio. Instrumentos Industriales . Barcelona . Marcombo . Boixeau Editores 1982
- CREUS, Solé Antonio. Control de Procesos Industriales . Barcelona . Marcombo . S:A 1988
- DERRY. T.k. Historia de la Tecnología. Siglo Veintiuno Editores. 1982.
- DOEBELIN , Ernest O. Diseño y Aplicación de Sistemas de Medición. Diana. 1980.
- ELGAR , Peter.Sensors for Measurement and Control. TecQuipment.1998.
- ESTEVEZ, Segundo. La medición en el Taller mecánico. CEAC. 1977.
- KULA, Witold. Las medidas y los hombres. Madrid. Siglo Veintiuno editores. 1980. 482 p.
- LUCCHESI , Doménico. Metrotecnia, Tolerancias e Instrumentación. Editorial Labor, S.A. 1973.
- OHAUS SCALE CORPORATION. Manual For measurement Sciencie. New Jersey. 1979.
- PENELLA , Robert. C. Metrología. Manual de Implementación. Limusa. 2002.
- WHEELER, Anthony J. Introduction to Engineering Experimentation. Prentice Hall. 1996
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION , Normas NTC : 0 , 1000 ,3000, 2194, 3113,
- NTC-ISO/IEC 17025, ISO/IEC Guia 25, ISO 10012-I, IEEE.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS . Fundamentos de Metrología . Icontec . 1987
- Fundamentos de Metrología. III Parte. Bogotá. ICONTEC. 1987. 39 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS - ICONTEC. Sistema Internacional de Unidades. Bogotá. ICONTEC. 1985 (Tercera Revisión). 28 p.
- PATON , Barry. E. Sensors,Transducers & LabVIEW. National Instruments. 1998.
- PROWSE, David. The Calibration of Balances. Melbourne - Australia. CSIRO. 1985. 83 p.
- SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA - SIM. Los Fundamentos de la Metrología Carta Metrológica No. 6. 1984. Buenos Aires. p. 7.
- UNIVERSITAS. Enciclopedia de Iniciación Cultural. Tomo XII. Barcelona. Salvat Editores. 1948.