



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**REVISION BIBLIOGRAFICA PARA UN SISTEMA DE
CONFIRMACION METROLOGICA DE TRES MAGNITUDES
EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

ROBERTO MUÑOZ DE LA CRUZ

ASESORA DE TESIS:
MC. ROSALIA MELENDEZ PEREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Roberto Muñoz de

San Cruz

FECHA: 22/04/03

FIRMA: 



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Revisión bibliográfica para un sistema de confirmación metrológica de tres magnitudes en una industria de alimentos.

que presenta el pasante: Roberto Muñoz de la Cruz.
con número de cuenta: 9102970-6 para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de Noviembre de 2004

PRESIDENTE	<u>FM. Fernando Flores Benítez.</u>	
VOCAL	<u>MC. Rosalía Meléndez Pérez.</u>	
SECRETARIO	<u>IBQ. Saturnino Maya Ramírez.</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MC. Ma. Guadalupe López Palacios.</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MC. Virginia Agustina Delgado Reyes.</u>	<u>Virginia Delgado Reyes</u>

Agradecimientos

Agradezco a dios el haberme dado la oportunidad de finalizar una etapa más de mi vida.

Esta tesis la dedico:

A mis hermanos (Adriana, Sofía Edith y Noé) & familias y en especial a una persona la cual sin el ejemplo que me ha dado día tras día, enfrentando dificultades y problemas no habría sido posible ésta culminación...

GRACIAS MAMITA, LA AMO

*A mis hijos, David A. y Ángel A., espero sirva el presente para que sepan que **JAMAS**, deben dejarse caer, bajo ninguna circunstancia que se les presente en la vida (TDQV).*

Los amo....

Gracias a mi pequeña Norma, por tu apoyo durante este tiempo Te amo

Gracias a la FES-C y a mis amigos Marco, Maru, Lucho, Mónica, Martha, Nelly, Coco, Lalo (Y los que me faltaron...) por ser parte de mi desarrollo personal y profesional.

Gracias A mi Asesora M. en C. Rosalía Meléndez por su paciencia y apoyo, a los Ingenieros Baltazar Galván, Javier Sánchez, por sus consejos, apoyo y observaciones durante mi desarrollo profesional.

Gracias a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la terminación de éste trabajo.

SE TENAZ EN TODO LO QUE COMIENCES, POCO A POCO SE VA CONFORMANDO EL CAMINO HACIA TU META FINAL, NO CLAUDIQUES NI CEJES EN TU ESFUERZO, NO DEJES QUE LAS DIFICULTADES SEAN LA CAUSA DE NO TERMINAR LO QUE EMPEZASTE.

Indice General

	Pág.
Indice General.....	I
Indice de Cuadros.....	V
Indice de Figuras.....	VI
Introducción.....	VIII
Objetivos.....	XI
Cuadro metodológico.....	XII

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Orígenes de la metrología.....	1
1.2 Influencia de la metrología en las ciencias.....	5

CAPITULO 2. METROLOGIA

2.1 Definición.....	12
2. 2 Clasificación.....	12
2.2.1 Metrología legal.....	12
2.2.2 Metrología científica.....	13
2.2.3 Metrología industrial.....	14
2.3 Tipos de errores en la medición.....	14
2.3.1 Errores sistemáticos.....	16
2.3.2 Errores aleatorios.....	16
2.3.3 Causales de errores en las mediciones.....	18

2.4 Metrología y Calidad	23
2.4.1 Calidad Total.....	24
2.4.2 HACCP.....	26
2.4.3 Normalización.....	27
2.4.4 Normatividad ISO.....	29
2.4.5 Ley Federal sobre metrología y normalización.....	43
2.4.6 Normas Oficiales Mexicanas.....	51
2.4.7 Normas Mexicanas.....	57

CAPITULO 3. MAGNITUDES METROLOGICAS BASICAS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

3.1 Metrología de masa	89
3.1.1 Definición.....	89
3.1.2 Principios de pesaje.....	89
3.1.3 Instrumentos.....	91
3.1.4 Principios de funcionamiento.....	92
3.1.5 Propiedades metrológicas de los instrumentos.....	94
3.1.6 Características metrológicas a determinar.....	96
3.1.7 Normas aplicable.....	97
3.2 Metrología de temperatura	121
3.2.1 Definición.....	121
3.2.2 Principios de temperatura.....	122
3.2.3 Instrumentos.....	128
3.2.4 Principios de funcionamiento.....	132
3.2.5 Propiedades metrológicas de los instrumentos.....	142
3.2.6 Características metrológicas a determinar.....	142

3.2.7 Normas aplicables.....	143
3.3 Metrología de presión.....	154
3.3.1 Definición.....	154
3.3.2 Principios de presión.....	154
3.3.3 Instrumentos.....	157
3.3.4 Principios de funcionamiento.....	175
3.3.5 Propiedades metrológicas de los instrumentos.....	180
3.3.6 Características metrológicas a determinar.....	181
3.3.7 Normas aplicables.....	181
4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DOCUMENTAL GENERAL PARA CONFIRMACIÓN METROLOGICA	
4.1 Aspectos básicos de un laboratorio de metrología.....	190
4.2 Documentos generales para la realización de la confirmación metrológica.....	196
4.2.1 Control de los Equipos de Inspección, Medición y Prueba.....	197
4.2.2 Revisión de los requisitos metrológicos del cliente.....	206
4.2.3 Control de los Equipos de Inspección, Medición y Prueba patrón.....	210
4.2.4 Confirmación Metrológica de los Equipos de Inspección, Medición y Prueba.....	213
4.2.5 Realización de estudios R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad).....	218
4.3 Propuesta de capacitación para personal de metrología.....	226
4.4 Propuesta de medición del sistema de confirmación metrológica.....	231
Conclusiones.....	233

Bibliografía.....	235
Anexos.....	240
I. Vocabulario utilizado en metrología.....	240
II. Otras áreas de la metrología.....	257

Indice de Cuadros

	Pág.
1. Unidades antropométricas.....	3
2. Coeficientes de expansión.....	22
3. Nombres, símbolos y definiciones de las unidades SI base.....	53
4. Prefijos para formar múltiplos y submúltiplos.....	54
5. Reglas generales para la escritura de los símbolos de las unidades del SI.....	55
6. Reglas para la escritura de los números y su signo decimal.....	56
7. Nivel de confianza en un conjunto de mediciones.....	69
8. Clasificación de los instrumentos de pesaje.....	92
9. División de verificación.....	103
10. Clasificación de los instrumentos.....	105
11. Clasificación de los instrumentos para pesar.....	105
12. Errores máximos tolerados en verificación inicial.....	108
13. Equivalencia entre escalas termométricas.....	124
14. Puntos fijos de temperatura de la IPTS-68.....	127
15. Puntos fijos de temperatura de la ITS-90.....	127
16. Tipos de termopares.....	130
17. Sustancias utilizadas para termómetros de vidrio.....	134
18. Sustancias utilizadas para termómetros de recipiente metálico.....	134
19. Temperaturas críticas de gases utilizados en termómetros.....	136
20. Sustancias utilizadas en termómetros a presión de vapor.....	137
21. Valores de k, coeficiente de expansión diferencial para termómetros de líquido en vidrio.....	149
22. Límites de medición.....	184

Índice de Figuras

	Pág.
1. El dedo y la pulgada.....	2
2. Errores en las mediciones.....	15
3. Bases de la Calidad Total.....	25
4. Modelo del sistema de gestión de las mediciones.....	71
5. Comportamiento ideal de la linealidad de un instrumento.....	94
6. Valor de la medición e incertidumbre asociada.....	96
7. Errores Máximos Tolerados de los instrumentos para pesar, en verificación inicial.....	109
8. Pirómetro de radiación.....	132
9. Pirómetro óptico.....	132
10. Elemento de medición tipo tubo de Bourdon.....	135
11. Termómetro bimetalico.....	138
12. Efecto Seebek.....	139
13. Efecto Peltier.....	140
14. Comportamiento de la fuerza electromotriz en función de la temperatura.....	141
15. Diseño general y terminología para termómetros de líquido en vidrio de vástago sólido.....	144
16. Inscripciones de los termómetros.....	145
17. Relación entre niveles de presión.....	155
18. Manómetro de tubo "U" simple.....	158
19. Tubo de Bourdon de forma C y forma helicoidal.....	158
20. Tubos de Bourdon acoplados a un sistema transmisor.....	159
21. Tipos de diafragmas.....	160
22. Conjunto del sistema tobera-obturador.....	161
23. Curva de respuesta de un sistema tobera-obturador.....	162
24. Transmisor de equilibrio de fuerzas.....	163
25. Transductor resistivo.....	164
26. Transductor de inductancia variable.....	165

27. Transductor de reluctancia variable.....	165
28. Transductor capacitivo.....	166
29. Galga cementada.....	167
30. Galga sin cementar.....	167
31. Transductor piezoeléctrico.....	169
32. Vacuómetro McLeod.....	170
33. Transductor térmico de termopar.....	171
34. Transductor Pirani.....	172
35. Transductor bimetalico.....	172
36. Transductor de filamento caliente.....	173
37. Transductor de cátodo frío.....	174
38. Transductor de radiación.....	175
39. Clasificación de la metrología dimensional e instrumentos utilizados.....	257

Introducción

En una industria de tipo alimenticia, existen variables las cuales deben de mantenerse bajo estricto control, ya que de lo contrario, pueden llegar a causar serias desviaciones tanto de calidad, como de seguridad en el producto, siendo afectado el consumidor final (en aspectos relacionados con la salud), así como los inversionistas (en el aspecto económico) y puede ser causa desde reclamos, demandas o hasta cierre de una empresa.⁽¹⁵⁾

Algunas de las variables básicas en una industria de alimentos antes mencionadas son: masa, temperatura y presión, las cuales influyen directamente en el proceso de la elaboración, por ejemplo: en la cocción de un producto de carne de cerdo, tenemos que verificar que la temperatura del centro térmico sea de 68,9 °C durante 30 minutos como mínimo, para asegurar la destrucción de microorganismos, que en un momento determinado pueden reproducirse provocando problemas de contaminación (ya sea en el interior de la planta o fuera de ésta, cuando el producto ya se encuentra en el mercado). En el ejemplo, garantizamos que el equipo nos indique ésta temperatura, sin embargo, ¿cómo nos aseguramos que el equipo funciona correctamente y además cumple con los requisitos de exactitud, tolerancia, incertidumbre, linealidad, estabilidad?. Para ello es necesario implementar la confirmación metrológica, la cual nos asegura la confiabilidad en la utilización de los equipos de inspección, medición y prueba.^(16, 17, 21, 22, 24, 26)

El contar con un sistema de confirmación metrológica nos ayudará al aseguramiento de la calidad de las mediciones y el control de los equipos que generan éstas a partir del diseño de un sistema documental, teórico y práctico con posibles indicadores de desempeño tanto de los equipos como del servicio brindado a los clientes internos/ externos, con lo cual finalmente se espera lograr la mejora de la calidad y la productividad de la organización.^(23, 26, 27, 29)

A través del tiempo la metrología se ha ido desarrollando de manera tal, que de acuerdo con los avances tecnológicos, se ha hecho indispensable su sistematización y división por áreas. ^(1, 2, 4)

La utilidad de la metrología es muy vasta, debido a esto, se ha dividido principalmente en 3 ramas como son: la metrología legal; que se encarga de todo lo relacionado con la regulación y control que debe realizar el gobierno (carácter social); la metrología científica, la cual se encarga de asegurar el desarrollo científico y tecnológico del área y por último la metrología industrial, la cual se encarga de mantener bajo control los instrumentos que son utilizados en las industrias para el aseguramiento de la calidad de los productos. ⁽⁴⁾

Para su regulación surgieron las normas ISO 10012-1:1992 (Requerimientos de aseguramiento de calidad para equipo de medición - Parte 1: Sistema de confirmación metrológica) e ISO 10012-2 (Requerimientos de aseguramiento de calidad para equipo de medición - Parte 2: Control del proceso de medición), de las cuales la primera se enfocaba a los sistemas de confirmación metrológica para los equipos de medición y la segunda al control de los procesos de medición, con el tiempo, surgió la necesidad y éstas 2 normas se fusionaron en una sola dando como resultado la norma ISO 10012:2002 la cual lleva como nombre "Sistema de gestión de las mediciones-requisitos para procesos de medición y equipos de medición", de allí surge el proyecto de norma mexicana PROY-NMX-CC-10012:2003. ⁽²³⁾

El desarrollo del trabajo fue en la investigación y utilización de la normatividad y documentación aplicable a metrología, las cuales serán la base para el desarrollo de los documentos pertinentes y los posibles indicadores que nos dirían el comportamiento del sistema de confirmación metrológica, por lo tanto se divide en 4 partes principales, la primera corresponde a los antecedentes de la metrología; la segunda a su definición y clasificación, tipos de errores y a la relación de esta con la calidad; la tercera a las 3 magnitudes comúnmente usadas en la industria alimentaria y último, la cuarta parte contempla la propuesta de un sistema

documental general de confirmación metrológica, así como aspectos generales sobre capacitación del personal y un sistema de medición de desempeño del sistema.

Objetivos

Objetivo General

Analizar las bases teóricas y normativas de metrología mediante revisión bibliográfica para el establecimiento del marco teórico que permita proponer documentos generales para la realización de un sistema de confirmación metrológica.

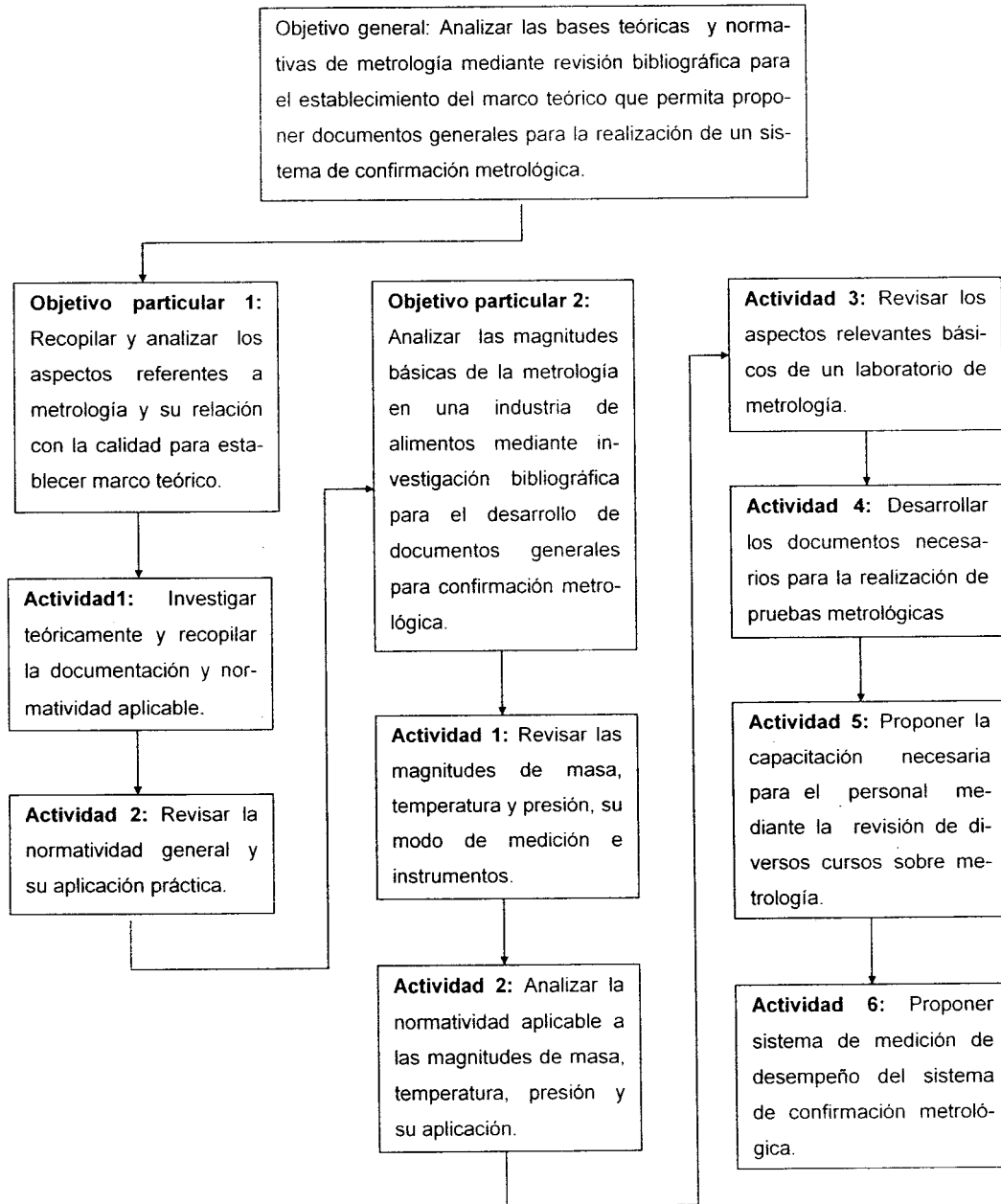
Objetivo particular 1.

Recopilar y analizar los aspectos referentes a metrología y su relación con la calidad para establecer marco teórico.

Objetivos particular 2.

Analizar las magnitudes básicas de la metrología en una industria de alimentos mediante investigación bibliográfica para el desarrollo de documentos generales para confirmación metrológica.

Cuadro Metodológico



CAPITULO 1. ANTECEDENTES.

1.1. Orígenes de la metrología. (1, 9, 23)

Dentro del campo de las ciencias y de nuestra vida cotidiana, nos vemos en la necesidad de evaluar las cosas que tenemos a nuestro alrededor, en ese momento, hacemos uso de las mediciones, ahí es donde necesitamos el apoyo de la metrología, campo sin el cual no podríamos tener la certeza de que lo que medimos es correcto, a continuación, mostraremos como se fue desarrollando ésta a través del tiempo.

De acuerdo a sus raíces, la metrología está relacionada con todas y cada una de las actividades de la humanidad. Ayuda a todas las ciencias existentes para facilitar su entendimiento, aplicación, evaluación y desarrollo, habiendo estado ligada al hombre desde su creación o aparición sobre la faz de la tierra.

Desde el inicio de la historia humana, se ha tenido que ir desarrollando una serie de definiciones sobre las diferencias entre una condición y otra, dicho de otra manera, hemos tenido que aprender a evaluar. Por ejemplo entre frío-caliente, largo-corto, ancho-angosto, etc.

De lo anterior surge el concepto de metrología, el cual nos ayuda a distinguir entre una condición y otra, es decir, nos ayuda a evaluar de manera tanto cualitativa como cuantitativamente alguna condición en particular a la cual haya que asignarle un valor determinado.

Por lo cual vemos entonces la necesidad de llevar a cabo mediciones de una manera tal que nos permita obtener el valor lo más cercano a la verdad (conocido también como "valor convencionalmente verdadero").

El medir correctamente tiene una importancia fundamental para los gobiernos, las empresas y la población en general, ayudando a ordenar y facilitar las transacciones comerciales. A menudo las cantidades y las características de un producto son resultado de un contrato entre el cliente (consumidor) y el proveedor (fabricante); las mediciones facilitan este proceso y por ende inciden en la calidad de vida de la población, protegiendo al consumidor, ayudando a preservar el medio ambiente y contribuyendo a usar racionalmente los recursos naturales.

Antes del invento del Sistema Métrico Decimal, el panorama era muy diferente, enfrentados los humanos a la necesidad de la medida y ante la relatividad de la existencia de las cosas, no tenían más remedio que apoyarse de lo que llevaban encima, su propio cuerpo, para contabilizar e intercambiar productos. Así aparece el pie, que casi siempre ya está apoyado sobre la tierra, como unidad de medida útil para medir pequeñas parcelas, del orden de la cantidad de suelo que uno necesita, por ejemplo, para hacerse una choza. Aparece el codo, útil para medir piezas de tela, u otros objetos que se pueden colocar a la altura del brazo, en un mostrador o similar. Aparece el paso, útil para medir terrenos más grandes, caminando por las lindes.

Para medidas más pequeñas, de objetos delicados, estos instrumentos de medida, el pie y el codo, son demasiado bastos. Así aparece la palma y, para menores longitudes, el dedo. Y para medidas aún menores, en nuestro siglo de Oro, está el grano de cebada ladilla, entrando cuatro en un dedo.

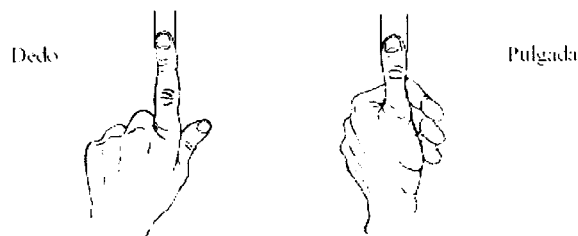


Figura 1. El dedo y la pulgada
(Pachón; Manzano, 2002).

Pero hay un dedo notablemente más grueso que los demás: el pulgar. Lo podemos incluir en nuestro sistema haciendo que valga $\frac{4}{3}$ de dedo normal (Figura 1). Con lo cual podremos dividir el pie por 3 o por 4 según convenga. Y dividiendo la pulgada en 12 partes, tenemos la línea para medidas muy pequeñas.

Y, obviamente, se precisa una congruencia y una correspondencia entre unas unidades y otras. Así se presentan las primeras equivalencias: una palma tiene cuatro dedos; un pie tiene cuatro palmas; un codo ordinario tiene un pie y medio, esto es, 6 palmas; y si a ese codo le añadimos un pie más, tenemos el grado o medio paso que es igual, por tanto, a un codo más un pie, o dos pies y medio, o diez palmas; y por fin el paso que es la distancia entre dos apoyos del mismo pie al caminar. Así que una vez decidido cuanto mide un pie, o un codo, todas las demás medidas se obtienen a partir de él, con lo cual podemos hacer un primer esbozo de un sistema antropométrico coherente, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Unidades antropométricas

	Dedo	Pulgada	Palma	Pie	Codo	vara
Línea	1/9	1/12				
Grano	1/4	3/16				
Dedo		$\frac{3}{4}$				
Pulgada	$\frac{4}{3}$			1/12		
Palma	4	3		1/4		
Cuarto o palmo	12		3	$\frac{3}{4}$		1/4
Pie	16	12	4			
Codo	24		6	1,5		
Grado	40		10	2,5	$\frac{5}{3}$	
Vara	48		12	3	2	
Paso	80		20	5	$\frac{10}{3}$	
braza	96		24	6	4	

(Pachón; Manzano, 2002).

En el siglo XIX creció la inquietud y el interés por el experimento cuantitativo. Las mediciones empezaron a reemplazar a las observaciones puramente cualitativas. La temperatura empezó a medirse con termómetros más exactos, fueron inventados medidores eléctricos de varias clases; fueron construidas balanzas más exactas, etcétera. Esto significó un gran avance de exactitud. Inevitablemente las teorías tendieron a ser más abstractas. Por 1828, George Green tenía la teoría de la Electrostática sustancialmente en la forma que se conoce hoy. Maxwell publicó su gran trabajo sobre la teoría electromagnética alrededor del año 1860.

En 1870 se lleva a cabo en París una conferencia Internacional sobre longitud. En Mayo de 1875, 17 naciones firmaron el Tratado Internacional del Sistema Métrico, por medio del cual se fundó la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, con sede en Sèvres, a las afueras de París. En 1876 empezó a fabricarse y reproducirse el prototipo del metro para las naciones que participaron en el tratado.

Se hicieron 32 barras, las cuales se componían de 90 % platino y 10 % de Iridio. Estas barras eran de 1 020 mm de largo y de forma en X en su sección transversal. Las caras, de más de 8 mm en la vecindad de los bordes, se pulieron y se les grabaron líneas de graduación de 6 a 8 μm de ancho, luego la distancia total entre líneas se completó hasta llegar a un metro. La temperatura siempre se mantuvo lo más cerca posible a los 20 °C.

De entre los 32 prototipos fabricados se determinó que el N° 6 era el más semejante al *metro de archivo* y fue designado como el prototipo internacional del metro en la Primera Conferencia Internacional de Pesos y Medidas, celebrada en 1889. Este prototipo se guardó en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.

En 1956, el metro fue enviado a Suiza para que le grabaran nuevas líneas en la Oficina Internacional de pesos y Medidas. También se le grabaron líneas de

graduación con intervalos de 1 mm y se hizo la revisión que establecía la longitud de 1 m a 20 °C.

A México le fue asignado el patrón número 25, el 25 de Septiembre de 1889, el cual quedó en custodia en la Secretaría de Fomento. Actualmente lo custodia la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

Sin embargo, conforme ha pasado el tiempo, se han cambiado las referencias de patrones, por ejemplo, actualmente la nueva definición de metro según la Conferencia general de pesos y Medidas es: la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío, durante un lapso de $1/299\,792\,458$ fracciones de segundo.

1.2. Influencia de la metrología en la ciencia. ^(2, 3)

En el desarrollo de las ciencias han influido diversos factores, dentro de los cuales se encuentra la metrología, ya que éstas se desarrollaron primero en base a observación, sin embargo, conforme transcurrió el tiempo, se hizo latente la necesidad de medir, con lo cual se propició su desarrollo de ésta dentro de sus diferentes ramas, a continuación se muestran algunos de los científicos y/o filósofos de los cuales su labor fue influenciada por ésta.

a) Pitágoras (582-497 a.C.).

El estudio del sonido hizo pensar a Pitágoras que todo el universo estaba apoyado en los números y en sus relaciones, como la proporción que afirma que el cuadrado de la longitud de la hipotenusa de un triángulo recto es igual a la suma de los cuadrados de las longitudes de los catetos, llamado "Teorema de Pitágoras". Este filósofo griego afirma que la tierra era esférica, señaló que el sol, la luna y otros planetas no participaban del movimiento uniforme de las estrellas y

que cada uno tenía su propia ruta. La escuela de Pitágoras influyó enormemente en el pensamiento griego y en el medieval, su interés y el esfuerzo principales los puso en los números para intentar comprender la naturaleza.

b) Filón de Bizancio (290 - 220 a.C.).

Filón de Bizancio vivió en el siglo III a.C., y fue discípulo de Ctesibio de Alejandría (310-240 a.C.), científico al que se atribuye la intuición sobre la compresibilidad del aire. De sus escritos, recogidos en una obra de nueve libros, el *Tratado de mecánica*, sólo quedan algunos fragmentos: uno sobre las máquinas de guerra y otro sobre neumática.

Además de la mecanización de los instrumentos bélicos de su tiempo, Filón es recordado por haber inventado la cadena, el muelle y un aparato que puede considerarse como el precursor del termómetro. Su ingenioso instrumento se basaba en un principio que fue aprovechado en el siglo XV por los científicos que elaboraron los primeros termómetros de aire.

c) Arquímedes (287-212 a. C).

Este matemático, científico e inventor griego, nació en Siracusa, Sicilia. Realizó sus estudios en Alejandría, y al concluirlos regresó a su ciudad natal. Se afirma que tenía vínculos familiares con Herón II, rey de Siracusa. Una vez, por encargo del rey Herón, debía comprobar si la corona de éste era de oro puro, sin dañarla. Un día observó, al bañarse, que el agua se desbordaba al sumergir su cuerpo. En consecuencia, si sumergía la corona en agua podría saber, por el cambio del nivel del agua, el volumen de la corona, y así compara éste con el volumen de un mismo peso de oro, si los 2 volúmenes desplazados eran iguales, la corona estaría elaborada exclusivamente de oro puro.

Otra aportación de éste científico es el principio de la palanca. Con ésta aportación se adelantó más de 200 años a sus contemporáneos. Al estudiar

sistemáticamente aplicaciones de medidas, de pesos y de longitudes, Arquímedes demostró que una pequeña fuerza aplicada a gran distancia del punto de apoyo de la palanca levanta un gran peso colocado cerca de dicho punto. A él se le atribuye la frase: "Dadme un punto de apoyo y moveré al mundo".

d) Santorio Santorio (1561-1636).

Entre los instrumentos de su invención (además del primer termómetro clínico en 1602, que desarrolló un aparato construido por Galileo, el "termoscopio"), cabe mencionar el pulsilogio, útil para registrar la frecuencia y el ritmo del pulso, y por tanto la actividad del corazón, y, menos importante desde el punto de vista científico pero de gran utilidad para los enfermos, una cama especial para mejorar la asistencia a los enfermos. A él se deben también la invención de una pinza especial para extraer los cálculos de la vesícula urinaria y, en 1626, un litotritor, un aparato para triturar los cálculos.

e) Galileo Galilei (1564-1642).

Notable científico, su método experimental y de observación directa sirvieron de base a la ciencia moderna. Físico y astrónomo, asistió a la Universidad de Pisa, donde realizó estudios de medición y de filosofía aristotélica. Más tarde optó por el estudio de las matemáticas; ciencia donde encontró la base de su verdadero conocimiento de las leyes de la naturaleza.

A los 25 años, Galileo obtuvo el nombramiento de profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa. Como profesor continuó el análisis de las teorías científicas de Aristóteles, recurriendo a la aplicación de las matemáticas y a las observaciones experimentales. En 1506 publicó un texto donde expuso el proyecto de fabricación de una *balanza hidrostática* que le permitió determinar el peso específico de los cuerpos en caída libre, y propuso que en el vacío todos los objetos caerían a la misma velocidad.

f) Isaac Newton (1642-1727).

Basándose en la experiencia con relojes, Newton sustituyó los descubrimientos mecánicos de Galileo por experimentos en rotación. Fue el primero en establecer una distinción clara entre masa y peso.

g) Guillaume Amontons (1663-1705).

Fue ante todo, un físico experimental y constructor de instrumentos. Inventó y desarrolló diversos barómetros e higrómetros, un termómetro aerobio y un telégrafo óptico, una bomba rotativa y una máquina motriz de aire caliente.

A partir de la observación de que los gases se dilatan proporcionalmente a la temperatura a la que se encuentran, dedujo que debía existir un cero absoluto de temperatura. Descubrió la ley según la cual la fricción por deslizamiento es independiente del tamaño de las superficies que rozan, a igualdad de masa del cuerpo que se encuentra en movimiento. A partir del año 1697 Amontons fue nombrado miembro de la Academia Francesa de las Ciencias.

h) Mouton (escolástico Francés).

En 1670, propuso usar la diezmillonésima parte del cuadrante terrestre (lo cual corresponde a la cuarentamillonésima parte del meridiano) como el estándar de longitud. Desde entonces se había estado buscando un método de medición con la tierra. En 1791, un comité designado por el gobierno francés determinó que la nueva unidad de longitud, que era la diezmillonésima parte del cuadrante que va del polo norte a la línea del Ecuador, se llamaría "metro". Pasaron 120 años desde la propuesta original hasta su introducción oficial.

En junio de 1792 se comenzó a medir la distancia entre Dunkerke (al norte de Francia) y Barcelona (en las costas del mediterráneo español) por medio de triangulación. Entonces se utilizó un goniómetro tipo reversible, inventado por

Borda, cuya exactitud era de un segundo. La medición se terminó en junio de 1798.

i) René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757).

Naturalista, físico y tecnólogo Francés. Réaumur estudió también la ductilidad de los metales, la resistencia de los hilos retorcidos, la imanación del hierro. Después, hacia 1725, puso a punto la fabricación del hierro blanco, otro producto que hasta entonces era importado de Alemania. De 1727 a 1729, hizo investigaciones análogas sobre porcelanas de China y de Europa, y descubrió el vidrio desvitrificado, conocido con el nombre de porcelana de Réaumur.

Pero es, sobre todo, su termómetro de alcohol, que construyó hacia 1730 y por el cual diseñó la escala 0-80, lo que popularizaría su nombre; es, en efecto, el primer aparato cuyas indicaciones son comparables las unas con las otras. El punto cero de la escala Réaumur, coincide con la temperatura de congelación del agua al nivel del mar, mientras que el punto de ebullición del agua (también al nivel del mar) se le asigna el valor de 80 °R.

j) Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736).

Fue el primero que logró construir termómetros de alcohol y mercurio que, fabricados en serie, presentaban valores de medida coincidentes. Los calibraba empleando la escala termométrica (que lleva su nombre) y formada por tres puntos fijos. En ella asignaba el valor 0° a la temperatura que daba la mezcla de agua, hielo y cloruro amónico; el valor 32° al punto de congelación del agua, el 212° al punto de ebullición del agua. La distancia que media entre el punto de ebullición y el punto de congelación del agua la dividía en 180 unidades iguales (llamadas grados Fahrenheit). Esta escala de temperatura está todavía en vigor en algunos países anglosajones.

k) Anders Celsius (1701-1744).

En el año 1742 inventó un termómetro de mercurio que calibró empleando la escala celsio o centígrada, establecida por él. El punto correspondiente a la temperatura cero coincide con la ebullición del agua al nivel del mar, mientras que la temperatura de 100° equivale al punto de congelación de la misma. La escala indicaba por lo tanto temperaturas positivas cuando descendían las temperaturas; este sentido se invertiría con posterioridad. Ese mismo año presentó ante la Academia de las ciencias Sueca su memoria sobre los puntos fijos de la escala termométrica, que contribuyó decisivamente a la aceptación del termómetro centígrado.

l) Joseph-Louis Condé de Lagrange (1736-1813).

En 1793 realizó uno de sus últimos trabajos, se le designó para dirigir una convención de estudio para establecer un sistema de pesas y medidas; el resultado fue el sistema métrico, sistema de gran lógica y rigor adoptado por un sinnúmero de países. Antes ya había expuesto teorías como las ecuaciones diferenciales, la serie Lagrange, la teoría de los números y el cálculo de probabilidades.

m) Seebeck, Thomas Johann (1770-1831).

Físico y médico alemán, descubrió el efecto que lleva su nombre, consistente en el paso de la corriente a través de un circuito formado por dos metales distintos cuyas uniones se mantienen a temperaturas distintas y que es el fundamento de los termopares.

n) Philipp J. Gustavo Von Jolly (1809-1884).

Dio a la balanza de precisión gran exactitud y sensibilidad, especialmente con el empleo de las lecturas con espejo y escala, habiendo logrado llevar tan

adelante la precisión en este particular, que, por medio de pesadas, logró reconocer la composición mudable del aire atmosférico.

Mediante la balanza determinó también la disminución de la gravedad al alejarse de la superficie terrestre, así como la diferencia de peso de un cuerpo, según que se hallase en el plato de la balanza o estuviese suspendido de la misma por un alambre de 21 m de longitud.

o) William John Macquorn Rankine (1820-1872).

Ingeniero y físico británico, su trabajo se centró en el estudio teórico y la investigación práctica de las máquinas de vapor; escribió una obra titulada *A Manual of the steam engine and other prime movers*. El punto central de sus investigaciones fue la transformación de energía calorífica en trabajo, por lo que Rankine está considerado uno de los fundadores de la termodinámica. Existe también una escala termométrica que lleva su nombre, basada en la división en grados adoptada por Fahrenheit y que toma como punto cero la temperatura correspondiente al cero absoluto ($-273,16^{\circ}\text{C}$).

p) Sir William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907).

Enunció el segundo principio de la termodinámica y estableció en el año 1848 una escala de temperatura que dividida de forma similar a la escala Celsius o centígrada, considera como punto cero el correspondiente al cero absoluto. La unidad empleada por él era el grado Kelvin (que en la actualidad se simboliza mediante K), también se dedicó a la investigación en los campos de la termodinámica y de la electricidad. Gracias a consideraciones de carácter teórico logró formular la teoría de la «muerte entrópica» a $-273,15^{\circ}\text{C}$, es decir, establecer el punto correspondiente a la temperatura del cero absoluto.

CAPITULO 2. METROLOGIA.

Como hemos visto anteriormente, el desarrollo de la metrología ha sido muy importante para las actividades de la humanidad, por lo tanto, fue necesario el llevar a cabo una delimitación de las actividades realizadas por ésta en los diferentes campos, así como su interacción con la sociedad, por lo cual, se definió y clasificó de la siguiente manera.

2.1. Definición. ⁽²³⁾

De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-Z-055-1996, la definición de metrología es la siguiente, "Metrología es la ciencia de la medición, e incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, cualquiera que sea su incertidumbre, en cualquiera que sea el campo de la ciencia y la tecnología".

2.2. Clasificación. ^(2, 4, 5, 9, 11)

Las actividades relacionadas con la metrología dentro de un país son responsabilidad de una o varias instituciones autónomas o gubernamentales, públicas o privadas y, según sus funciones, se caracteriza como Metrología Legal, Científica, o Industrial.

2.2.1. Metrología legal.

Según la Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML), la metrología legal es la totalidad de los procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas y puestas en vigor por su cuenta con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria

o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente.

Su objetivo es proteger a los consumidores para que reciban los bienes y servicios con las características que ofrecen o anuncian los diferentes fabricantes, debe ser ejercida por los gobiernos y entre sus campos de acción están:

- Verificación de pesas, balanzas y básculas.
- Verificación de cintas métricas.
- Verificación de surtidores de combustible.
- Verificación de productos pre-empacados.
- Control de escapes de gas de automóviles.
- Taxímetros.
- Cilindros de gas.
- Contadores eléctricos, de agua y de gas.

2.2.2. Metrología científica.

La metrología científica se encarga de todo lo relacionado con la administración, desarrollo tecnológico de nuevos patrones y formas de medir en sus diferentes áreas y la obtención de la más alta exactitud de patrones de medición en los diferentes países miembros de asociaciones relacionadas con la metrología. Se ocupa, entre otras, de actividades como:

- Mantenimiento de patrones nacionales e internacionales.
- Búsqueda de nuevos patrones que representen o materialicen de mejor manera las unidades de medición.
- Mejoramiento de la exactitud de las mediciones necesarias para los desarrollos científicos y tecnológicos.

2.2.3. Metrología industrial.

Este campo tiene como objetivo garantizar la confiabilidad de las mediciones que se realizan día a día en la industria. Se aplica en:

- La calibración de los equipos de inspección, medición y prueba.
- La etapa de diseño de un producto a servicio.
- La inspección de materias primas, proceso y producto terminado.
- Durante el servicio técnico a un producto.
- Durante las acciones de mantenimiento.
- Durante la prestación de un servicio.

En general, mantener el control mediante la confirmación metrológica de los equipos de inspección, medición y prueba.

2.3. Tipos de errores en la medición. (2, 7, 10, 11, 30)

Los errores son inevitables en los procesos de medición, por lo que es necesario considerarlos explícitamente para reducirlos y para compensar sus efectos. Se denomina error absoluto de medición a la diferencia algebraica entre un valor resultante de una medición y su valor verdadero.

Error absoluto = Valor medido - Valor verdadero

El valor verdadero de una magnitud es un concepto ideal, y en general no puede ser conocido exactamente, sin embargo puede tomarse en su lugar el valor convencionalmente verdadero que es una buena aproximación del valor verdadero para un fin práctico.

El valor relativo de medición es la relación entre el valor absoluto y el valor de la magnitud medida.

$$\text{Error relativo} = \text{Error absoluto} / \text{Valor verdadero}$$

En la Figura 2 se muestra de manera general una clasificación de los tipos de errores, los cuales a vez, pueden subdividirse en sistemáticos y aleatorios.

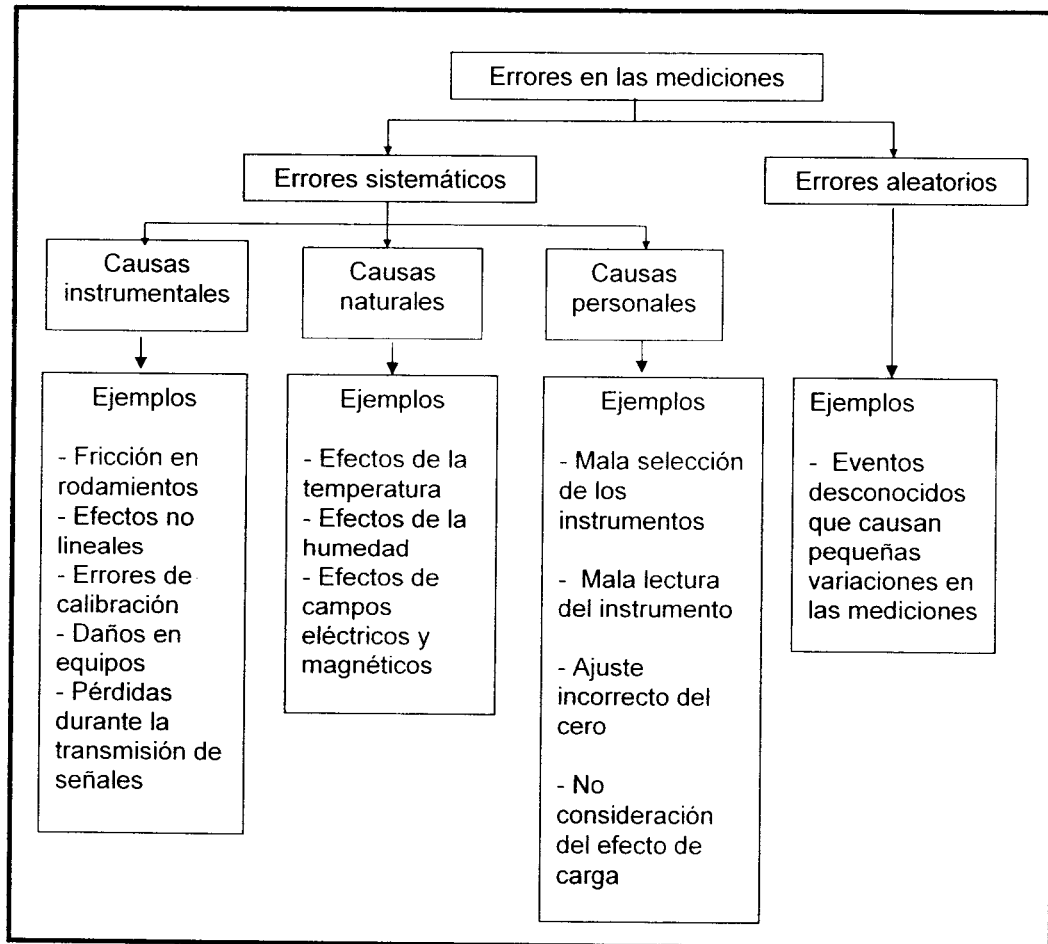


Figura 2. Errores en las mediciones

(www.gpi.com.mx/productos/publicaciones/libros.html)

2.3.1. Errores sistemáticos.

Los errores sistemáticos son aquellos que permanecen constantes o varían en forma previsible para diferentes valores de la misma magnitud. Estos errores pueden tener causas conocidas o desconocidas y pueden deberse a factores instrumentales, naturales o personales. Los errores sistemáticos pueden en general ser detectados y corregidos en gran medida.

Por lo tanto, definimos que corrección es el valor que, agregado al resultado bruto de una medición, compensa un error sistemático supuesto, cambiado de signo. Como el error sistemático no puede conocerse con exactitud, la medición tiene cierta incertidumbre. Otra forma de aplicar una corrección a una medición es mediante el factor de la corrección, por lo tanto, los errores sistemáticos pueden clasificarse en estáticos y dinámicos.

a) Errores estáticos.

Si el proceso está en condiciones de régimen permanente, el error es estático. Este error normalmente se origina por las limitaciones de los dispositivos de medición o de las leyes físicas que gobiernan su comportamiento.

b) Errores dinámicos.

Siempre que las condiciones sean de cambio continuo existirá un error dinámico que presentará retrasos en la medición. Esto está influido por el tipo de acoplamiento, los materiales, el proceso a medir, etc.

2.3.2. Errores aleatorios.

El otro tipo de medición es el error aleatorio, que es aquel que varía de manera imprevisible para diferentes mediciones de la misma magnitud. El error

aleatorio es generalmente pequeño, y su efecto puede reducirse por evaluación estadística de los valores medidos.

Es decir, son las perturbaciones que no afectan siempre en la misma forma en las mediciones. Son la suma de un gran número de pequeñas desviaciones, las cuales tienen igual probabilidad de ser positivos o negativos, que originan que se asignen diferentes valores como resultado de una misma medición al ser repetida, este efecto se conoce como dispersión.

Las fuentes de errores aleatorios pueden ser:

- Cambios de alimentación de energía al equipo de medición.
- Cambios en la estabilidad de las condiciones ambientales.
- Habilidad de quien realiza la medición, etc.

Debido a la presencia de errores aleatorios en los procesos de medición, nunca debe considerarse como valor del mensurando aquel valor que se haya obtenido de una sola medición. Debe obtenerse de una serie de mediciones repetidas del mismo mensurando en las mismas condiciones. La estimación del valor "verdadero" está soportada sobre una base de inferencia estadística que rigurosamente exige tener mediciones repetidas del mensurando. Por lo tanto, si solo se realiza una medición, se sale del campo de la estadística y no puede realizarse ninguna inferencia respecto a que tan alejado está el valor de la medición del valor "verdadero".

En presencia de errores aleatorios las lecturas sucesivas se dispersan alrededor del valor verdadero, siempre y cuando la magnitud de los errores sistemáticos presentes sea despreciable.

En un proceso de medición, los errores aleatorios aparecen espontáneamente y no pueden ser corregidos. Esto es debido a que el gran desconocimiento que se tiene sobre las fuentes que los originan hace imposible la estimación de

posibles procesos de corrección. Sin embargo, su efecto en el valor resultante de la medición puede ser reducido incrementando el número de repeticiones.

Los errores aleatorios generalmente son estimados y expresados utilizando medidores de variabilidad estadística como el rango o la desviación estándar.

2.3.3. Causales de errores en las mediciones.

Existen diversos tipos de errores, los cuales pueden afectar las mediciones y por lo tanto deben tener ciertos cuidados, a continuación mencionaremos las posibles causas.

a) Instrumento de medición.

Las causas de errores atribuibles al instrumento, pueden deberse a defectos de fabricación (dado que es imposible construir aparatos perfectos). Estos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etc.

El error instrumental tiene errores máximos permisibles, establecidos en normas e información técnica de fabricantes de instrumentos, y puede determinarse mediante calibración. Esta es la comparación de las lecturas proporcionadas por un instrumento o equipo de medición contra un patrón de mayor exactitud conocida.

Debe contarse con un sistema de control que establezca entre otros aspectos, periodos de calibración, criterios de aceptación y responsabilidades para la calibración de cualquier instrumento y equipo de medición.

b) Operador.

Muchas de las causas del error aleatorio se deben al operador, por ejemplo:

- Falta de agudeza visual.
- Descuido.
- Cansancio.
- Alteraciones emocionales, etc.

c) Método.

Otro tipo de errores es a causa del método o procedimiento con que se efectúa la medición, aunque el principal es la falta de método definido y documentado.

A continuación se muestran otros ejemplos:

c.1 Uso de instrumentos no calibrado.

Instrumentos no calibrados o cuya calibración esta vencida (ya no es válida debido al uso, tiempo, etc.), así como instrumentos sospechosos de presentar alguna anomalía en su funcionamiento no deben utilizarse para realizar mediciones hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso.

Para efectuar mediciones de gran exactitud es necesario corregir las lecturas obtenidas con un instrumento o equipo de medición, en función del error instrumental determinado mediante calibración.

c.2 Fuerza ejercida al efectuar las mediciones.

La fuerza ejercida al efectuar mediciones puede provocar deformaciones en la pieza por medir, el instrumento o ambos, por lo tanto es un factor importante

que debe considerarse para elegir el instrumento de medición para cualquier aplicación en particular.

c.3 Instrumento inadecuado.

Antes de realizar cualquier medición es necesario determinar cual es el instrumento o equipo de medición más adecuado para la aplicación de que se trate. Además de la fuerza de medición, deben tenerse en cuenta factores tales como:

- Cantidad de piezas a medir.
- Tipo de medición (externa, interna, altura, profundidad, etc.).
- Tamaño de la pieza y exactitud deseada.

c.3.1 Puntos de apoyo: Especialmente en los instrumentos de gran longitud, la manera en que se apoya el instrumento provoca errores de lectura. En éstos casos deben utilizarse puntos de apoyo especiales.

c.3.2 Método de sujeción del instrumento: El método de sujeción del Instrumento puede ser causa de errores, por ejemplo, un indicador de carátula está sujeto a una distancia muy grande del soporte y al hacer la medición la fuerza ejercida provoca una desviación en el brazo.

c.3.3 Distorsión: Gran parte de la inexactitud que causa la distorsión de un instrumento puede evitarse manteniendo en mente la ley de Abbe: la máxima exactitud de medición es obtenida si el eje de medición es el mismo del eje del instrumento.

c.3.4 Error de paralaje: Este error ocurre debido a la posición del operador con respecto a la escala graduada del instrumento de medición, la cual está en un plano diferente.

c.3.5 Error de posición: Este error se provoca por la colocación incorrecta de las caras de medición de los instrumentos, con respecto de las piezas de medir.

c.3.6 Error por desgaste: Los instrumentos de medición, como cualquier objeto, son susceptibles de desgaste, natural o provocado por el mal uso. En el caso concreto de los instrumentos de medición, el desgaste puede provocar una serie de errores durante su utilización, por ejemplo: deformación de sus partes, juego entre sus ensambles, falta de paralelismo o planitud entre sus caras de medición, etc. Estos errores pueden provocar a su vez, decisiones equivocadas; por tanto, es necesario someter a cualquier instrumento de medición a una inspección de sus características. Estas inspecciones deberán repetirse periódicamente durante la vida útil del instrumento.

d. Condiciones ambientales.

Entre las causas de errores se encuentran las condiciones ambientales en que se hace la medición; entre las principales destacan la humedad, el polvo, la temperatura y las vibraciones o interferencias (ruido) electromagnéticas extrañas.

d.1 Humedad.

Debido a los óxidos que se pueden formar por humedad excesiva en las caras de medición del instrumento o en otras partes o en las expansiones por absorción de humedad en algunos materiales, etcétera, se establece como norma una humedad relativa de $55 \% \pm 10\%$.

d.2 Polvo.

Los errores debidos al polvo o mugre se observan con mayor frecuencia que lo esperado, algunas veces alcanzan el orden de 3 micrómetros. Para obtener medidas exactas se recomienda usar filtros para el aire que limitan el tamaño y la cantidad de partículas de polvo ambiental.

d.3 Temperatura.

En mayor o menor grado, todos los materiales que componen tanto las piezas para medir como los instrumentos de medición, están sujetos a variaciones longitudinales, debido a cambios de temperatura. En algunos casos ocurren errores significativos.

Para minimizar éstos errores se estableció internacionalmente, desde 1932, como norma, una temperatura de 20 °C para efectuar las mediciones. También es buena práctica dejar que durante un tiempo se establezca la temperatura tanto de la pieza como del instrumento de medición. El lapso depende de la diferencia de temperatura del lugar en que estaba la pieza y la sala de medición, así como el material y el tamaño de la pieza.

Sin embargo, en la práctica es muy difícil mantener constante la temperatura de una pieza para medir, la del instrumento de medición y, en caso necesario, la del patrón a 20 °C, por lo que aún cuando se cuenta con un cuarto con temperatura controlada que se mantiene estable a 20 °C, existirán variaciones que pueden ser hasta de 1°C por cada metro en el sentido vertical.

A continuación, en el Cuadro 2 se muestra un listado de diferentes materiales con su coeficiente de expansión, el cual nos indica que tan fácil o difícil puede ser el obtener mediciones correctas en éstos.

Cuadro 2. Coeficientes de expansión

Material	Coeficiente de expansión térmica	material	Coeficiente de expansión térmica
Hierro fundido	9,2- 11,8 x 10 ⁻⁶	Acero	11,5 x 10 ⁻⁶
Acero al carbono	11,7 – (0,9 % C) x10 ⁻⁶	Hojalata	23,0 x 10 ⁻⁶
Acero al cromo	11-13 x 10 ⁻⁶	Zinc	26,7 x 10 ⁻⁶
Acero al Ni-Cr	13-15 x 10 ⁻⁶	Duralumin	22,6 x 10 ⁻⁶

Cuadro 2. Coeficientes de expansión (continuación).

Cobre	$18,5 \times 10^{-6}$	Platino	$9,0 \times 10^{-6}$
Bronce	$17,5 \times 10^{-6}$	Cerámicas	$3,0 \times 10^{-6}$
"Gunmetal"	$18,0 \times 10^{-6}$	Plata	$19,5 \times 10^{-6}$
Aluminio	$23,8 \times 10^{-6}$	Vidrio Crown	$8,9 \times 10^{-6}$
Latón	$18,5 \times 10^{-6}$	Vidrio Flint	$7,9 \times 10^{-6}$
Níquel	$13,0 \times 10^{-6}$	Cuarzo	$0,5 \times 10^{-6}$
Hierro	$12,2 \times 10^{-6}$	Cloruro de vinilo	$7-2,5 \times 10^{-6}$
Acero Níquel (58 % Ni)	$12,0 \times 10^{-6}$	Fenol	$3 - 4,5 \times 10^{-6}$
Invar (36 % Ni)	$1,5 \times 10^{-6}$	Polietileno	$0,5 - 5,5 \times 10^{-6}$
Oro	$14,2 \times 10^{-6}$	Nylon	$10,0 - 15 \times 10^{-6}$

(González; Zeleny, 1998).

2.4. Metrología y calidad. (2, 5, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 33)

La tendencia de los mercados internacionales hacia una política de apertura comercial se ha hecho una realidad en nuestro país. Con los tratados de libre comercio, política tomada como un intento para reactivar y fortalecer nuestra economía, los productos nacionales han tenido que enfrentarse a un nivel de calidad de primer mundo. Esto ha causado que las empresas mexicanas estén redoblando esfuerzos para afrontar una fuerte competencia bajo una premisa, la de supervivencia.

A través de la historia, el concepto de calidad se ha desarrollado conforme diferentes paradigmas. En la antigüedad, la calidad del producto era controlada al 100 % por el mismo artesano que fabricaba el producto, conforme a sus propias normas y criterios. En el siglo pasado, con la llegada de la revolución industrial y el inicio de la fabricación en serie, la calidad del producto ya no pudo ser controlada. El artesano fue substituido por el obrero (inconsciente de la calidad de su trabajo). Esto propició la aparición del control de calidad por inspección final. Con el advenimiento de las guerras mundiales y la creación de la industria a gran escala,

la inspección final se hizo insuficiente, ineficiente y costosa. Fue en este tiempo, cuando hizo su aparición la aplicación de herramientas estadísticas para garantizar la calidad de los productos. Mas adelante, con la aparición de la industria de alto riesgo (Nuclear) se hizo necesario crear sistemas administrativos de carácter preventivo que garantizaran la confiabilidad de los procesos y por ende la calidad de los productos, surgiendo el aseguramiento de calidad. En la actualidad el paradigma vigente es la Calidad Total, considerada como el único medio que tienen las industrias de las naciones para permanecer en el mercado internacional. Calidad Total significa ofrecer productos que cumplan al 100 % las expectativas del cliente, conforme a un esquema de mejora continua, cuya producción beneficie al usuario, al productor y a la sociedad, sin afectar la ecología natural. Su filosofía está basada sobre el juego de "ganar-ganar". La Calidad Total no es un paradigma aislado sino que surge de la combinación de los anteriores. Esto significa que para tener calidad es necesario tener una cultura industrial integral que involucre todos los paradigmas de calidad: Control de calidad de inspección final, aplicación de herramientas estadísticas, implementación de sistemas de aseguramiento de calidad y aplicación de la filosofía de la Calidad Total. Este paradigma suena simple y lógico. Sin embargo, es una realidad difícil de alcanzar, sobre todo para los países subdesarrollados, como lo es México, en los cuales se tienen fuertes deficiencias culturales y tecnológicas.

La relación de la metrología con los diferentes sistemas de calidad existentes actualmente, es directa, ya que sin ésta ciencia, los resultados de las mediciones que se efectúan en éstos no podrían demostrar su validez, a continuación se muestra dicho vínculo de manera general.

2.4.1. Calidad Total.

Al ver los paradigmas de calidad, y el concepto de cumplir con los requisitos del cliente, se llega a la conclusión de que la única forma de saber si un producto o servicio cumple las expectativas del cliente es midiendo sus características de

calidad. El control de calidad por inspección final requiere de métodos y pruebas de medición de las características físicas de calidad del producto, la aplicación de sistemas de inferencia estadística analizan los resultados obtenidos de mediciones de variables de procesos y características de calidad del producto, el aseguramiento de calidad administra y controla los resultados de mediciones y evaluaciones de los sistemas de fabricación y la Calidad Total analiza en forma integral toda la información resultado de mediciones para definir rutas de mejora continua. **Las mediciones son el soporte de los sistemas de calidad**, si éstas fallan toda conclusión acerca de la calidad de un producto o servicio fallan. Para establecer que un producto o servicio tiene calidad es necesario contar con **mediciones confiables**.

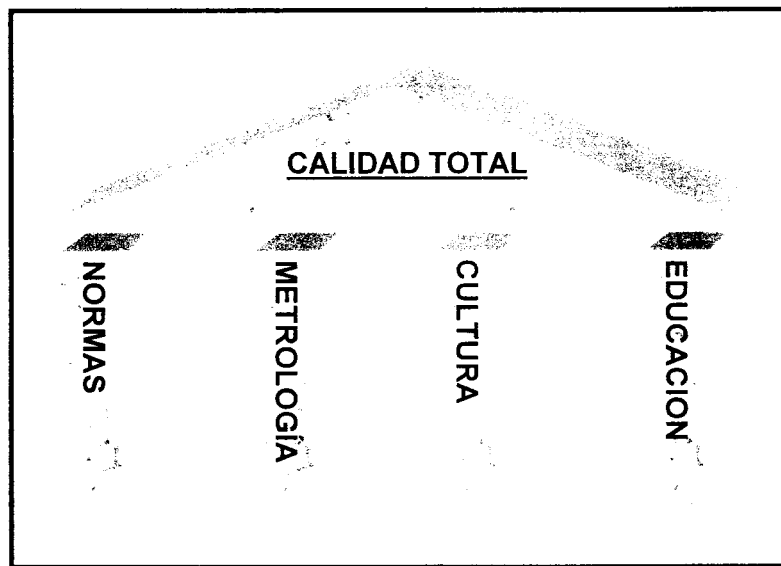


Figura 3. Bases de la Calidad Total
(Martínez, 2001).

Observando las características que presentan en común las naciones desarrolladas, que en cierto grado se están dirigiendo hacia la Calidad Total, encontramos sin duda alguna un alto grado de avance metrológico, tanto normativo como tecnológico. Estas naciones han ido desarrollando históricamente su capacidad

metroológica en forma paralela a su crecimiento industrial. Lo cual les ha permitido alcanzar el grado de calidad que tienen sus productos.

Por lo tanto, la metrología se considera como uno de los pilares que soportan la calidad. Esto significa, que no se puede pensar en producir productos y servicios de calidad competitiva en el ámbito internacional, si no se cuenta con un soporte metroológico de alto nivel.

2.4.2. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points).

El HACCP es un sistema diseñado para minimizar o prevenir la posible ocurrencia de riesgos que puedan dañar la salud del consumidor, incluye el desarrollo de acciones específicas para la prevención de éstos posibles riesgos.

La función del HACCP es actuar como sistema de prevención de riesgos mediante el análisis del proceso en lo que son denominados *Puntos Críticos de Control*, éstos son seleccionados a partir de una metodología que nos indica el grado de riesgo que existe en determinada actividad para el producto final, con lo cual garantizamos la inocuidad del producto.

Un Punto Crítico es aquella etapa del proceso en la cuales posible aplicar medidas de control para prevenir, eliminar o reducir un peligro hasta niveles aceptables, a su vez, para éstos existen límites críticos, los cuales son valores absolutos a ser cumplidos para cada medida de control en un PCC; el no-cumplimiento indica una desviación que puede permitir que se materialice un peligro.

Por otro lado, existe un concepto que es más estricto que un límite crítico, esto es un *Valor Objetivo*, el cual se toma como objetivo para prevenir la ocurrencia de una desviación.

Debido a lo anterior, la relación que existe entre HACCP y metrología es directa, ya que si para la evaluación de los puntos seleccionados intervienen instrumentos y/o equipos de medición, éstos deben de emitir resultados correctos, y a su vez validados por un sistema de gestión de las mediciones.

2.4.3. Normalización.

Para llevar a cabo el desarrollo del tema de la interacción de la metrología con el sistema de calidad ISO y las demás normas desarrolladas tanto en el ámbito nacional como internacional, es necesario el mostrar las bases generales que se utilizan para desarrollarlas de acuerdo a su naturaleza, por lo cual se presenta a continuación la metodología utilizada para realizar la normalización.

La normalización es la actividad que fija las bases para el presente y el futuro, esto con el propósito de establecer un orden para el beneficio y con el concurso de todos los interesados; visto de otra manera, la normalización es el proceso de elaboración y aplicación de normas; son herramientas de organización y dirección.

a) Principios básicos de la normalización.

La normalización técnica, como cualquier actividad razonada, cuenta con principios básicos, los cuales son producto, en parte, de la actividad de la STACO, organismo creado por la Organización Internacional para la Normalización (ISO) que se dedica a estudiar y establecer los principios básicos para la normalización.

b) Principios científicos de la normalización.

La normalización, cuenta con sus principios, los cuales tienen como característica principal darle orientación y flexibilidad al proceso normativo para que éste pueda adaptarse a las necesidades del momento y no constituir una traba en

el futuro. La experiencia ha permitido establecer 3 principios, en los cuales coinciden agentes de diferentes lugares y épocas:

- Homogeneidad.
- Equilibrio.
- Cooperación.

c) Aspectos fundamentales de la normalización.

El objetivo fundamental de la normalización es elaborar normas que permitan controlar y obtener un mejor rendimiento de los materiales y de los métodos de producción, contribuyendo así a lograr un nivel de vida mejor.

Las normas, producto de ésta actividad deben comprender a su vez 3 aspectos fundamentales.

- La simplificación.
- La unificación.
- La especificación.

d) Metodología de la normalización.

La metodología de la normalización es la siguiente:

1. Investigación bibliográfica e industrial.
2. Elaboración de un anteproyecto de norma basándose en los datos obtenidos.
3. Confrontación de éste anteproyecto con la opinión de los sectores comprador, productor y de interés general, hasta llegar a un acuerdo.
4. Promulgación de la norma.
5. Confrontación con la práctica.

2.4.4. Normatividad ISO.

La relación existente entre el sistema de gestión de calidad ISO y metrología, se basa en el establecimiento de normas específicas para desarrollar un sistema de gestión de las mediciones (ISO 10012) y su aplicación dentro de otras (ISO 9001:2000, ISO 17025, etc.), sin embargo antes de la presentación en la aplicación dentro del esquema antes descrito, con la intención de tener un panorama completo de este sistema de gestión de la calidad, se dan los antecedentes de cómo surgió dicho sistema.

Los conceptos en que se basan las normas modernas de aseguramiento de calidad son las que utilizaban los artesanos de la antigüedad, es decir planificaban sus tareas, desarrollaban sus herramientas, obtenían sus materias primas, hacían sus trabajos y verificaban sus resultados.

La necesidad de utilizar normas de calidad se hace presente a mediados del siglo XIX cuando comienza a desarrollarse la producción en masa.

La evolución se sucede de la siguiente manera:

- 1900 Inspección como actividad.
- 1930 Muestreo estadístico.
- 1950 Práctica de aseguramiento de calidad en empresas.
- 1979 Normas para el aseguramiento de la calidad, BS 5750.
- 1987 Basadas en la BS 5750 se editan las normas serie ISO 9000.
- 1994 Se realiza una revisión de las normas base y aplicación en todo el mundo.

Quizá el aspecto formal de las normas de calidad inicie con el documento que el Doctor Walter A. Shewhart en la Western Electric Corporation envió a su jefe en mayo de 1924. Ahí se describía el método en que se basaban las llamadas cartas de control, con las que se detectaban los defectos en líneas de producción antes de generarse.

En 1935 la Oficina Británica de Normas (BS) edita su norma "Control Charts", aplicación de los métodos estadísticos para la Normalización industrial, con base en los métodos desarrollados por el Doctor Shewhart.

Algunas de las pocas cosas que dejó la segunda guerra mundial fue la aplicación y desarrollo de las técnicas y métodos de control de calidad, como la edición en 1942 de la norma Británica BS 1009 "War Emergency Quality Control".

Según diferentes autores en 1946 y otros en 1947, se funda en Londres Inglaterra, la International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización), llamada por costumbre por siglas ISO. Se trata de una federación universal fundada para promover el desarrollo de normas internacionales y actividades relacionadas que incluye la valoración de conformidad para facilitar el intercambio de bienes y servicios en el ámbito mundial. La ISO está constituida por cuerpos miembro de más de 90 países, El cuerpo miembro de México es la Dirección General de Normas (DGN).

En 1950 se edita en Estados Unidos la norma militar MIL-STD-105 "Sampling Inspection Tables for Attributes", desarrollada por Harry G. Roming y Harold F. Dodge, que no se publica comercialmente sino hasta 1959.

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1959 estableció un programa de administración de calidad designado MIL-Q-9858. 4 años más tarde, se revisó y actualizó y se le llamó MIL-Q-9858A. Este programa literalmente obligaba a los proveedores del DOD a establecer un sistema de calidad con sectores definidos de inspección de entrada, inspección en proceso e inspección final con la supervisión y auditoría del mismo Departamento de Defensa.

En 1968 la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), adopto el MIL-Q-9858A como norma como una publicación de aseguramiento de calidad de los aliados (Allied Quality Assurance Program, designada AQAP-1).

En 1970, el Ministerio de Defensa del Reino Unido adoptó las provisiones del AQAP-1 como su norma de la administración del programa de defensa denominada DEF-STAN 05-08. Esta norma ha sido revisada para reflejar las provisiones del ISO 9001-9004 y se han vuelto a numerar como DEF/ STAN 05-21, 22, 23, 24.

La correlación de las normas MIL-Q-9858 y su adopción por la OTAN y la BSI (British Standard Institute) fueron básicas para desarrollar las normas de lo civil BS 4891, cuya intención fundamental fue guiar a las compañías que deseaban establecer un sistema de calidad. Esta norma fue escrita en términos muy generales, y no era mandatoria como las normas militares y la norma BS 5750, que adoptó el Ministerio de Defensa Británico. En 1979 el BSI desarrolló su primera norma de sistemas de calidad comercial conocida como BS 5750.

Fue en 1979, cuando la ISO estableció el ISO Technical Committee 176 (comité Técnico 176, ISO TC/176) dirigido por el Doctor D. Richard Freund, quien había sido presidente de la ASQC (American Society Quality Control) y Director Corporativo de Calidad de la Eastman Kodak Co. Tal comité tenía como tarea desarrollar la serie de normas ISO 9000, en esencia, adoptando la mayoría de los elementos de BS 5750. El ISO TC/176 realiza su labor a través de grupos de trabajo (WG1, WG2, es decir, los WG y subcomités (los SC).

Siete años después del TC/176, en junio de 1986, ISOTC/176 emitió la Norma internacional ISO 8402:1986, Quality Vocabulary, donde se describen y definen 22 términos relacionados con la calidad y los sistemas de calidad. El Doctor Freund recomendaba con vehemencia que se estudiara primeramente dicha norma antes de abordar las normas de la serie de Normas Internacionales ISO 9000 que en su primera edición de 1987 abarcaron:

- ISO 9000:1987, Normas de administración de calidad y aseguramiento de calidad, lineamientos para su selección y uso.

- ISO 9001:1987, Sistemas de calidad, modelo para aseguramiento de calidad en diseño/ desarrollo, producción, instalación y servicio.
- ISO 9002:1987, Sistemas de calidad, modelo para aseguramiento de calidad en producción e instalación.
- ISO 9003:1987, Sistemas de calidad, modelo para aseguramiento de calidad en inspección final y prueba.
- ISO 9004:1987, Administración de calidad, elementos del sistema de calidad, lineamientos.

La serie de normas ISO destinadas al aseguramiento de la calidad está formada por distintas normas armonizadas entre sí, éstas son:

- ISO 9000: Cumple el papel de eje distribuidor y distribuidor del sistema. Expone el alcance real de la serie. Define la filosofía general de las normas, los distintos tipos, niveles y pautas para la aplicación de las distintas normas.
- ISO 9001: Se aplica cuando la empresa debe responsabilizarse por todas las etapas del ciclo, es decir, diseño, desarrollo y elaboración.

Es para aquellas compañías que necesitan asegurarles a sus clientes que la calidad con los requerimientos especificados es satisfactoria durante todo el ciclo, desde el diseño hasta el servicio. Aplica particularmente cuando existe un contrato que requiere de un diseño específico y cuando los requerimientos del producto son establecidos en términos de su comportamiento (velocidad, capacidad, integridad). Esta es la norma más redondeada o completa y comprende todos los elementos del sistema de calidad detallados en la ISO 9004 en su acepción más rigurosa.

- ISO 9002: Se aplica cuando las características del bien son definidas por el cliente.

Si se tiene un diseño o especificación permanente, ésta es la norma más apropiada. Aquí todo lo que uno tiene que demostrar es su capacidad de producción e instalación. Es menos rigurosa que la ISO 9001.

- ISO 9003: Cubre las obligaciones de aseguramiento de calidad en las áreas de control final y pruebas. Es de limitada aplicación por lo que existen planes para su eliminación.

A veces uno solo puede demostrar su capacidad para la inspección y prueba, donde el producto es suministrado por un fabricante para tales requerimientos. Para ello se requiere alrededor de la mitad de los elementos de la ISO 9004 y un nivel aún más bajo de rigidez que para el modelo ISO 9002. Complementan la serie ISO 9000 las siguientes normas.

- ISO 8402: Vocabulario, clarifica y normaliza los términos relativos a la calidad que sean aplicables al campo de gestión de la calidad.

- ISO 10011-1: Auditoría: Establece los principios básicos, criterios y prácticas de una auditoría y provee lineamientos para establecer, planificar, realizar y documentar auditorías de sistemas de la calidad.

- ISO 10011-2: Criterios para la calificación de auditores. A fin de que las auditorías de los sistemas de calidad sean conducidas en forma uniforme y efectiva se ha desarrollado ésta norma que constituye una guía sobre los criterios de calificación de auditores.

- ISO 10011-3: Gestión de programas de auditoría. Define los lineamientos básicos para administrar programas de auditoría de sistemas de la calidad.

- ISO 10013. Guía Para la elaboración de manuales de calidad.

Actualmente, las normas ISO 9001, 9002 y 9003 se fusionaron en una sola, surgiendo la ISO 9001:2000.

2.4.4.1) ISO 9000:2000 (Fundamentos y Vocabulario).

A continuación se realiza el análisis de las normas ISO 9000 relacionadas con el área de metrología, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.
- c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

Esta norma como su nombre lo indica, nos da las bases para poder abordar los aspectos relacionados con la gestión de la calidad y los términos utilizados en ésta.

Principios de gestión de la calidad: Los 8 principios en los que se basa la normatividad ISO 9000 son los siguientes:

1) Enfoque al cliente: Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes.

2) Liderazgo: Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deberían crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.

3) Participación del personal: El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.

4) Enfoque basado en procesos: Un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.

5) Enfoque de sistema para la gestión: Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.

6) Mejora continua: La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de ésta.

7) Enfoque basado en hechos para la toma de decisión: Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.

8) Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor: Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.

“Es importante entender los aspectos que incluye el implementar un sistema de gestión de la calidad, ya que si lo logramos tendremos la base para su desarrollo, seguimiento y mejora, lo cual nos podrá dar la satisfacción del cliente, que es finalmente el objetivo”.

2. Fundamentos de los sistemas de gestión de la calidad.

2.10. Papel de las técnicas estadísticas.

El uso de técnicas estadísticas puede ser de ayuda para comprender la variabilidad y ayudar por lo tanto a las organizaciones a resolver problemas y a mejorar la eficacia y la eficiencia. Asimismo estas técnicas facilitan una mejor utilización de los datos disponibles para ayudar en la toma de decisiones.

La variabilidad puede observarse en el comportamiento y en los resultados de muchas actividades, incluso bajo condiciones de aparente estabilidad. Dicha variabilidad puede observarse en las características medibles de los productos y los procesos, y su existencia puede detectarse en las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos, desde la investigación de mercado hasta el servicio al cliente y su disposición final.

Las técnicas estadísticas pueden ayudar a medir, describir, analizar, Interpretar y hacer modelos de dicha variabilidad, incluso con una cantidad relativamente limitada de datos. El análisis estadístico de dichos datos puede ayudar a proporcionar un mejor entendimiento de la naturaleza, alcance y causas de la variabilidad, ayudando así a resolver e incluso prevenir los problemas que podrían derivarse de dicha variabilidad, y a promover la mejora continua.

“El uso de herramientas y técnicas estadísticas nos puede ayudar a saber cuales son las variaciones dentro del (los) proceso(s), posibles causas y resolver los problemas que se suscitan en la organización, algunas de éstas pueden ser: gráficas de pareto, histogramas, gráficas de líneas, medidas de tendencia central, ANOVA, niveles sigma, etc.”.

3. Términos y definiciones.

A continuación se incluye la sección de definiciones y términos que tienen relevancia dentro de un sistema de gestión de las mediciones.

3.1 Términos relativos a la calidad.

3.1.1 *Calidad*: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

3.1.2 *Requisito*: Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.

3.1.4 *Satisfacción del cliente*: Percepción del cliente sobre el grado en que se han cumplido sus requisitos.

3.2 Términos relativos a la gestión.

3.2.1 *Sistema*: Conjunto de elementos mutuamente relacionados o que interactúan.

3.2.2 *Sistema de gestión*: Sistema para establecer la política y los objetivos y para lograr dicho objetivos.

3.2.7 *Alta dirección*: Persona o grupo de personas que dirigen y controlan al más alto nivel de una organización.

3.2.13 *Mejora continua*: Actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos.

3.2.14 *Eficacia*: Extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados.

3.2.15 *Eficiencia*: Relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.

3.3 Términos relativos a la organización.

3.3.1 *Organización*: Conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones.

Ejemplo: Compañía, corporación, firma, empresa, institución, institución de beneficencia, empresa unipersonal, asociación, o parte de una combinación de las anteriores.

3.3.3 Infraestructura: Sistema de instalaciones, equipos y servicios necesarios para el funcionamiento de una organización.

3.3.5 Cliente: Organización o persona que recibe un producto.

Ejemplo: Consumidor, usuario final, minorista, beneficiario y comprador.

3.3.6 Proveedor: Organización o persona que proporciona un producto.

Ejemplo: Productor, distribuidor, minorista o vendedor de un producto, o prestador de un servicio o información.

3.4 Términos relativos al proceso y al producto.

3.4.1 Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

3.4.5 Procedimiento: Forma especificada para llevar a cabo una actividad o un proceso.

3.5 Términos relativos a las características.

3.5.4 Trazabilidad: Capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización de todo aquello que está bajo consideración.

3.6 Términos relativos a la conformidad.

3.6.1 Conformidad: Cumplimiento de un requisito.

3.6.2 No-conformidad: Incumplimiento de un requisito.

3.6.3 Defecto: Incumplimiento de un requisito asociado a un uso previo o especificado.

3.6.4 Acción preventiva: Acción tomada para eliminar la causa de una no-conformidad detectada u otra situación indeseable.

3.6.6 Corrección: Acción tomada para eliminar una no-conformidad detectada.

3.6.9 Reparación: Acción tomada sobre un producto no conforme para convertirlo en aceptable para su utilización prevista.

3.7 Términos relativos a la documentación.

3.7.1 Información: Datos que poseen significado.

3.7.2 Documento: Información y su medio de soporte.

Ejemplo: Registro, especificación, procedimiento documentado, plano, informe, norma.

3.7.3 Especificación: Documento que establece requisitos.

3.7.6 Registro: Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.

3.8 Términos relativos al examen.

3.8.4 Verificación: Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

3.8.5 Validación: Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista.

Ejemplos: Proceso de calificación del auditor, proceso de calificación del material.

3.9 Términos relativos a la auditoría.

3.9.1 Auditoría: Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias de la auditoría y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se cumplen los criterios de auditoría.

3.10 Términos relativos al aseguramiento de la calidad para los procesos de medición.

*“Las definiciones de ésta sección se darán en definiciones del PROY-NMX-CC-10012-2003 “Sistema de gestión de las mediciones-requisitos para procesos de medición y equipos de medición” que en adelante lo llamaremos **PROY**”.*

2.4.4.2) Sistemas de Gestión de la Calidad ISO 9001: 2000.

4.2 Requisitos de la documentación.

4.2.3 Control de los documentos.

“Llevar a cabo el control de los documentos es primordial, ya que nos proporciona el soporte para el cumplimiento del sistema, por otro lado, se deben de cumplir los aspectos descritos en la norma para que éstos logren su propósito, ésta sección se relaciona con el punto 6.2 Recursos de información, subsección 6.2.1 Procedimientos del PROY”.

Un ejemplo para llevar a cabo éste punto es, tener el control de los documentos de origen externo, lo cual puede ser el mantener actualizado, organizado, identificados los documentos como son normas, reglamentos, leyes, etc. Que nos proporcionan información acerca de las directrices a seguir en nuestro sistema.”

4.2.4 Control de los registros.

“Para tener una evidencia documental del desarrollo de las actividades del sistema metrológico, el procedimiento documentado arriba mencionado, puede ser parte del sistema ISO 9001:2000 ó desarrollarse en el ámbito de metrología, por lo que ésta sección se relaciona con el punto 6.2 Recursos de información, subsección 6.2.1 del PROY”.

7.5 Producción y prestación del servicio.

7.5.3 Identificación y trazabilidad.

“En metrología, la trazabilidad es uno de los aspectos más importantes, debido a que con el cumplimiento de ésta característica en las mediciones, nos aseguramos que los resultados obtenidos pueden ser referenciados a patrones nacionales o internacionales mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones. Y por lo tanto, esto nos da la certeza de que las mediciones realizadas con los equipos sean válidas”.

7.6 Control de los dispositivos de seguimiento y de medición.

“En la presente norma, la sección que específicamente trata del control de los equipos de medición es el 7.6, por lo cual a continuación se mencionará en los diferentes puntos que aparecen, los requisitos que solicitan de manera práctica y su correspondencia con el PROY.

Debemos de identificar cuales son los instrumentos que van a formar parte del sistema de gestión de las mediciones, esto corresponde al punto 4 de requisitos generales, esto significa que debemos de hacer un inventario de todos los EIMP para saber cuales van a formar parte del sistema de gestión de las mediciones y determinar bajo que criterios se van a seleccionar.

Debemos establecer procesos, estos son de 2 tipos, de medición y los de soporte, además de que debe de establecerse un sistema de medición de dichos procesos, esto corresponde al punto 4. Un ejemplo de un proceso de medición es como se va a llevar a cabo una evaluación de temperatura o de presión, y por otro lado un proceso de soporte es como se llevará a cabo la administración del sistema en general (procesos administrativos).

El equipo debe estar confirmado metrológicamente, además de que deben existir registros de éstas confirmaciones, éste punto corresponde a las secciones 7.1.1 y 7.1.2. Como ejemplo podemos decir que si se cuenta con un EIMP éste debe de estar calibrado, ajustado, verificado, y protegido contra cambios que pudieran invalidar los resultados de las mediciones.

Cuando se detectan mediciones que son incorrectas, debe de haber acciones correctivas/ preventivas ya sea sobre el equipo o sobre cualquier producto, el control de éstas actividades puede ser mediante un procedimiento documentado dentro de un sistema de gestión de la calidad ó desarrollado dentro del sistema metrológico, éstas consideraciones son tomadas en los puntos de la sección 8.3.

El llevar a cabo registros de la confirmación metrológica de los equipos es indispensable para contar con evidencia documental de que se está llevando a cabo, esto puede verse en la sección 7.1.4.

Los programas informáticos deben estar validados para su uso dentro del sistema metrológico, esto se puede referenciar en la sección 6.2.2".

2.4.5. LEY FEDERAL SOBRE METROLOGIA Y NORMALIZACIÓN.

A continuación se analizarán las secciones relevantes de la Ley Federal de Metrología y Normalización; el análisis realizado se colocará en letras cursivas y entre comillas, si alguna parte del texto es primordial tomarla en cuenta será subrayada y por último, la numeración será la correspondiente al documento original para mayor referencia.

TITULO PRIMERO

Capítulo único: Disposiciones Generales.

Artículo 2º.- Esta Ley tiene por objeto:

I. En materia de Metrología:

- a) Establecer el Sistema General de Unidades de Medida.
- b) Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología.
- c) Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida.
- d) Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido neto en los productos envasados.
- e) Instituir el Sistema Nacional de Calibración.
- f) Crear el Centro de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia.
- g) Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.

Artículo 3º.- Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

I. *Acreditamiento*: El acto mediante el cual la Secretaría reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere esta Ley.

IV. *Dependencias*: Las dependencias de la administración pública federal.

V. *Instrumentos para medir*: Los medios técnicos con los cuales se efectúan las mediciones y que comprenden las medidas materializadas y los aparatos medidores.

X. *Normas mexicanas*: Las normas de referencia que emitan los organismos nacionales de normalización (Su adopción es de carácter opcional).

XI. *Normas oficiales mexicanas*: Las que expidan las dependencias competentes, de carácter obligatorio sujetándose a lo dispuesto en esta Ley y cuyas finalidades se establecen en el artículo 40.

Las dependencias sólo podrán expedir normas o especificaciones técnicas, criterios, reglas, instructivos, circulares, lineamientos y demás disposiciones de naturaleza análoga de carácter obligatorio, en las materias que se refiere esta Ley, siempre que se ajusten al procedimiento establecido y se expidan como normas oficiales mexicanas.

XIII. *Organismo Nacionales de Normalización*: Las personas morales que tengan por objeto elaborar normas mexicanas.

XVII. *Unidades de verificación*: Las personas físicas o morales que hayan sido acreditadas para realizar actos de verificación por la Secretaría en coordinación con las dependencias competentes.

XIX. *Verificación*: La constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

TITULO SEGUNDO

METROLOGIA.

Capítulo 1: Del Sistema General de Unidades de Medida.

Artículo 5º.- En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio.

Artículo 6º.- Excepcionalmente la Secretaría podrá autorizar el empleo de unidades de medida de otros sistemas, por estar relacionados con países extranjeros que no hayan adoptado el mismo sistema. En tales casos deberán expresarse, conjuntamente con las unidades de otros sistemas, su equivalencia con las del Sistema General de Unidades de Medida, salvo que la propia Secretaría exima de esta obligación.

Artículo 7º.- Las Unidades base, suplementarias y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida así como su simbología se consignarán en las normas oficiales mexicanas.

Artículo 9º.- La Secretaría tendrá a su cargo la conservación de los prototipos nacionales de unidades de medida, metro y kilogramo, asignados por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas a los Estados Unidos Mexicanos.

Capítulo 2: De los instrumentos para medir.

Artículo 11.- La Secretaría podrá requerir de los fabricantes, importadores, comercializadores o usuarios de instrumentos de medición, la verificación o

calibración de éstos, cuando se detecten ineficiencias metrológicas en los mismos, ya sea antes de ser vendidos, o durante su utilización.

Para efectos de lo anterior, la Secretaría publicará en el Diario Oficial de la Federación, con la debida anticipación la lista de instrumentos de medición y patrones cuyas verificaciones inicial, periódica o extranjera o calibración serán obligatorias, sin perjuicio de ampliarla o modificarla en cualquier tiempo.

“El trámite de verificación debe llevarse a cabo cada año (los detalles de éste trámite serán comentados más adelante en la sección 3.1.7.2 Lista de instrumentos de medición cuya verificación inicial, periódica o extraordinaria es obligatoria, así como las reglas para efectuarla, debido a que la Secretaría debe de asegurarse que todos los instrumentos que sean utilizados en las empresas sean aptos para su utilización, ya sea para clientes internos y/o externos”.

Artículo 12.- La Secretaría, así como las personas acreditadas por la misma, al verificar los instrumentos para medir, dejarán en poder de los interesados los documentos que demuestren que dicho acto ha sido realizado oficialmente.

“La verificación deberá ser llevada a cabo por personal autorizado para ello, en éste caso por personal de la PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor)”.

Artículo 14.- Los instrumentos para medir cuando no reúnan los requisitos reglamentarios, serán inmovilizados antes de su venta o uso hasta en tanto los satisfagan. Los que no puedan acondicionarse para cumplir los requisitos de esta Ley o de su reglamento serán inutilizados.

“En caso de que en la verificación resultara que existen instrumentos/ equipos que no son aptos para su uso entonces se procederá a sellarlos para evitar su uso, después de adecuarlos nuevamente para su uso (en caso de que esto sea posible), se tendrá que hacer nuevamente el trámite de verificación para

ese (esos) equipo(s) y solicitar una nueva visita, a fin de que sea verificado nuevamente, se retiren los sellos colocados por el personal de la PROFECO y sean nuevamente aptos para ser utilizados”.

Capítulo 3: De la medición obligatoria de las transacciones.

Artículo 15.- En toda transacción comercial, industrial o de servicios que se efectúe basado en cantidad, ésta deberá medirse utilizando los instrumentos de medir adecuados, excepto en los casos que señale el reglamento, atendiendo a la naturaleza o propiedades del objeto de la transacción.

La Secretaría determinará los instrumentos para medir apropiados en razón de las materias objeto de la transacción y de la mayor eficiencia de la medición.

“Para el cumplimiento de éste artículo puede ser necesario el tener registro de los requisitos metrológicos de cliente, ya que éste aspecto nos ayudará a transformar sus necesidades de proceso en propiedades metrológicas requeridas de los instrumentos/ equipos”.

Artículo 16.- Los poseedores de los instrumentos para medir tienen obligación de permitir que cualquier parte afectada por el resultado de la medición se cerciore de que los procedimientos empleados en ella son los apropiados.

“En caso de requerirse información acerca del control metrológico de los EIMP, la dirección de la función metrológica, deberá contar con documentación que sea evidencia para demostrar dicho control”.

Artículo 19.- Los poseedores de básculas con alcance máximo de medición igual o mayor a cinco toneladas deberán conservar en el local en que se use la báscula, taras o tener acceso a éstas, cuyo mínimo equivalente sea el 5% del alcance máximo de la misma.

La Secretaría podrá exigir que la operación de dicha báscula se efectúe por personas que reúnan los requisitos de capacidad que se requieran.

“Para tener un control adecuado de los EIMP antes mencionados, es indispensable el uso de taras (o marco de pesas) que se encuentren calibradas y su informe sea vigente.

“Además de contar con condiciones adecuadas de almacenamiento, uso, transporte, etc.”.

Artículo 20.- Queda prohibido utilizar instrumentos para medir que no cumplan con las especificaciones fijadas en las normas oficiales mexicanas.

El uso inadecuado de instrumentos para medir en perjuicio de persona alguna será sancionado conforme a la legislación respectiva.

Capítulo 4: Del Sistema Nacional de Calibración.

Artículo 24.- Se instituye el Sistema Nacional de Calibración con el objeto de procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país, tanto en lo concerniente a las transacciones comerciales y de servicios, como en los procesos industriales y sus respectivos trabajos de investigación científica y de desarrollo tecnológico.

La Secretaría autorizará y controlará los patrones nacionales de las unidades básicas y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida y coordinará las acciones tendientes a determinar la exactitud de los patrones de instrumentos para medir que utilicen los laboratorios que se acrediten, en relación con la de los respectivos patrones nacionales, a fin de obtener la uniformidad y confiabilidad de las mediciones.

Artículo 25.- El Sistema Nacional de Calibración, se integrará con el Centro Nacional de Metrología, los laboratorios de calibración acreditados y los demás expertos en la materia que se consideren convenientes. En apoyo de dicho Sistema, la Secretaría realizará las siguientes acciones.

I. Acreditar laboratorios para que presten servicios técnicos de medición y calibración.

II. Integrar con los laboratorios acreditados cadenas de calibración, de acuerdo con los niveles de exactitud que se les haya asignado.

III. Difundir la capacidad de medición de los laboratorios acreditados y la integración de las cadenas de calibración.

IV. Autorizar métodos y procedimientos de medición y calibración y establecer un banco de información para difundirlos en los medios oficiales, científicos, técnicos e industriales.

V. Establecer convenios con las instituciones oficiales, extranjeras e internacionales para el reconocimiento mutuo de los laboratorios de calibración;

“Es importante que al utilizar los servicios de un laboratorio, éste se encuentre acreditado, ya que esto indica que el personal es técnicamente competente para realizar las evaluaciones que les sean solicitadas (de acuerdo a su acreditamiento), además deberá de proporcionar documentos que más adelante se verán, por ejemplo: Copia de carta de trazabilidad al CENAM, Copia del Certificado ante la EMA, etc.”.

Artículo 26.- La Secretaría acreditará los laboratorios que integran el Sistema Nacional de Calibración mediante comités de evaluación en los términos del artículo 69, siempre que cuenten con las instalaciones, equipo, patrones de

medida, personal técnico, organización y métodos operativos adecuados para asegurar la confiabilidad de los servicios que presten.

La acreditación se otorgará por cada prueba específica de calibración o medición que esté en condiciones de efectuar al laboratorio.

Artículo 27.- Los laboratorios acreditados podrán prestar servicios de calibración y de operaciones de medición. El resultado de la calibración de patrones de medida y de instrumentos para medir se hará constar en dictamen del laboratorio, suscrito por el responsable del mismo, en el que se indicará el grado de precisión correspondiente, además de los datos que permitan la identificación del patrón de medida o del instrumento para medir.

En Las operaciones sobre medición se hará constar en dictámenes que deberá expedir, bajo su responsabilidad, la persona física que cada laboratorio autorice para tal fin.

Capítulo 5: Del Centro Nacional de Metrología

Artículo 30.- El Centro Nacional de Metrología tendrá las siguientes funciones:

- I. Fungir como laboratorio primario del Sistema Nacional de Calibración.
- II. Conservar el patrón nacional correspondiente a cada magnitud, salvo que su conservación sea más conveniente en otra institución.
- III. Proporcionar servicios de calibración a los patrones de medición de los laboratorios, centros de investigación o a la industria, cuando así se solicite, así como expedir los certificados correspondientes.
- IV. Promover y realizar actividades de investigación y desarrollo tecnológico en los diferentes campos de la metrología, así como coadyuvar a la formación de recursos humanos para el mismo objetivo.

V. Asesorar a los sectores industriales, técnicos y científicos en relación con los problemas de medición y certificar materiales patrón de referencia.

2.4.6. NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

“Las Norma Oficiales Mexicanas como se mencionó anteriormente en la Ley de metrología, se definen como los documentos que expidan las dependencias competentes, de carácter obligatorio”.

A continuación se realiza el análisis de las NOM relacionadas con el área de metrología, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.
- c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

2.4.6.1) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-SCFI-1993, "SISTEMA GENERAL DE UNIDADES DE MEDIDA."

3. Definiciones fundamentales.

3.1 Sistema Internacional de Unidades (SI): Sistema coherente de unidades adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

Este sistema está compuesto por:

- Unidades SI base.
- Unidades SI suplementarias.
- Unidades SI derivadas.

3.2 Unidades SI base: Unidades de medida de las magnitudes de base del Sistema Internacional de Unidades.

3.6 Unidades suplementarias: Son unidades que se definen geoméricamente y pueden tener el carácter de unidad de base o de unidad derivada.

3.7 Unidades derivadas: Son unidades que se forman combinando entre sí las unidades de base, o bien, combinando las unidades de base, con las unidades suplementarias según expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes de acuerdo a leyes simples de la física.

4. Tablas de unidades.

“Para efecto del presente trabajo, solo se colocará la tabla de las unidades fundamentales, en caso de mayor información consultar la referencia citada”.

4.1 Unidades SI base.

Actualmente las unidades base del SI son 7, correspondiendo a las siguientes magnitudes; *Longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, intensidad luminosa y cantidad de sustancia*. Los nombres de las unidades son respectivamente: *metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin, candela y mol*. Las magnitudes, unidades, símbolos y definiciones se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Nombres, símbolos y definiciones de las unidades SI base

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición
Longitud	metro	m	Es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo [17a. CGPM (1983) Resolución 1].
masa	kilogramo	kg	Es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo [1a. y 3a. CGPM (1989) y 1901]].
tiempo	segundo	s	Es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos de estado fundamental del átomo de cesio 133 [13a. CGPM (1987), Resolución 1].
Corriente eléctrica	ampere	A	Es la intensidad de una corriente eléctrica constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos de longitud infinita, cuya área de sección circular es despreciable, colocados a un metro de distancia entre si, en el vacío, producirá entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud [9a. CGPM, (1948), Resolución 2].
Temperatura	kelvin	K	Es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua [13a. CGPM (1967) Resolución 4].
Cantidad de sustancia	mol	mol	Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existen átomos en 0,012 kg de carbono 12 [14a. CGPM (1971), Resolución 3].
Intensidad luminosa	candela	cd	Es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 watt por esterradián [16a. CGPM (1979), Resolución 6].

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1993).

Prefijos.

El Cuadro 4 contiene la relación de los nombres y los símbolos de los prefijos para formar los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades, cubriendo un intervalo que va desde 10^{-24} a 10^{24} .

Cuadro 4. Prefijos para formar múltiplos y submúltiplos

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
Yota	Y	10^{24} : 1 000 000 000 000 000 000 000 000
zeta	Z	10^{21} : 1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	10^{18} : 1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15} : 1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12} : 1 000 000 000 000
giga	G	10^9 : 1 000 000 000
mega	M	10^6 : 1 000 000
kilo	k	10^3 : 1 000
hecto	h	10^2 : 100
deca	da	10^1 : 10
deci	d	10^{-1} : 0,1
centi	c	10^{-2} : 0,01
mili	m	10^{-3} : 0,001
micro	μ	10^{-6} : 0,000 001
nano	n	10^{-9} : 0,000 000 001
pico	p	10^{-12} : 0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15} : 0,000 000 000 000 001
Atto	a	10^{-18} : 0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	10^{-21} : 0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	10^{-24} : 0,000 000 000 000 000 000 000 001

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1993).

Reglas para la escritura de las unidades del SI

Cuadro 5. Reglas generales para la escritura de los símbolos de las unidades del SI.

N°	REGLA
1	<p>Los símbolos de las unidades deben ser expresados en caracteres romanos, en general, minúsculas, con excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales se utilizan caracteres romanos en mayúsculas.</p> <p>(Ejemplo: m, cd, K, A).</p>
2	<p>No se debe colocar punto después del símbolo de la unidad.</p>
3	<p>Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse.</p> <p>Ejemplos: 8 kg, 50 kg, 9 m, 5 m</p>
4	<p>El signo de multiplicación para indicar el producto de dos ó más unidades debe ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación de los símbolos de las unidades que intervengan en el producto, no se preste a confusión.</p> <p>Ejemplos: N.m o Nm, también m.N pero no: mN que se confunde con milinewton, submúltiplo de la unidad de fuerza, con la unidad de momento de una fuerza o de un par (newton metro).</p>
5	<p>Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas.</p> <p>Ejemplos: m/s o ms^{-1} Para designar la unidad de velocidad: metro por segundo</p>
6	<p>No debe utilizarse más de una línea inclinada a menos que se agreguen paréntesis. En los casos complicados, deben utilizarse potencias negativas o paréntesis.</p> <p>Ejemplo: m/s^2 o $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, pero no: m/s/s $\text{m}\cdot\text{kg}/(\text{s}^3\cdot\text{A})$ o $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$, pero no: $\text{m}\cdot\text{kg}/\text{s}^3/\text{A}$</p>
7	<p>Los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman anteponiendo al nombre de éstas, los prefijos correspondientes con excepción de los nombres de los múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa en los cuales los prefijos se anteponen a la palabra "gramo".</p> <p>Ejemplos: dag, Mg (decagramo; megagramo) ks, dm (kilosegundo; decimetro)</p>
8	<p>Los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad.</p> <p>Ejemplos: mN (milinewton) y no m N</p>

Cuadro 5. Reglas generales para la escritura de los símbolos de las unidades del SI (continuación).

9	<p>Si un símbolo que contiene a un prefijo está afectado de un exponente, indica que el múltiplo de la unidad está elevado a la potencia expresada por el exponente.</p> <p>Ejemplos: $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ $1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$</p>
10	<p>Los prefijos compuestos deben evitarse.</p> <p>Ejemplo: 1 nm (un nanómetro).</p> <p>Pero no: 1 mµm (un milimicrómetro).</p>

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1993).

Cuadro 6. Reglas para la escritura de los números y su signo decimal

ASPECTO	REGLA
Números	<p>Los números deben ser generalmente impresos en tipo romano. Para facilitar la lectura de números con varios dígitos, estos deben ser separados en grupos apropiados preferentemente de tres, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda, los grupos deben ser separados por un pequeño espacio, nunca con una coma, un punto o por otro medio.</p> <p>Ejemplos:</p> <p>1 000 000,00 y no como comúnmente se escribe 1,000,000.00</p> <p>956 478,56 y no como comúnmente se escribe 956,478.56</p>
Signo	<p>El signo decimal debe ser una coma sobre la línea decimal (,). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero.</p> <p>Ejemplos:</p> <p>1 000,01 (mil unidades <i>coma</i> 01) y no como comúnmente se escribe: 1000.01</p>

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1993).

“Actualmente en México éste sistema no es utilizado por la población en general, aunque las empresas por requerimientos oficiales ya lo están adoptando, por lo tanto, es necesario implementarlo al nivel educativo en la práctica, ya que si no acostumbra su uso será muy difícil su implementación y puede llevar a errores en la interpretación de los resultados de las mediciones de otros países en donde ya ha sido adoptado”.

2.4.7. NORMAS MEXICANAS.

A continuación se realiza el análisis de las NMX relacionadas con el área de metrología, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.
- c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

2.4.7.1) NORMA MEXICANA “METROLOGÍA-VOCABULARIO DE TERMINOS FUNDAMENTALES Y GENERALES NMX - Z- 055: 1996 IMNC

De ésta Norma Mexicana se incluyen en el **Anexo I** los términos que son relevantes para el presente trabajo.

2.4.7.2) NORMA MEXICANA “GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES (NMX-CH-140:1996 IMNC).

Para comenzar con ésta norma de referencia veremos algunas definiciones que son básicas para su entendimiento, las cuales transcribiremos a continuación.

3. Definiciones.

3.7 Incertidumbre en la medición: Es la duda, que tiene la persona que mide, acerca de la calidad y reproducibilidad de los valores que informa. Prácticamente, se cuantifica mediante un procedimiento convencional aceptado, validado y se informa como un parámetro asociado al valor del resultado de la medición. Por razones históricas y por costumbre se utilizan algunos conceptos estadísticos para la cuantificación. La evaluación debe tomar en cuenta la variabilidad a corto plazo, normalmente mediante la desviación estándar (típica) de todos los factores de influencia, de las magnitudes independientes, y de la información disponible acerca del proceso de medición. Nótese que la incertidumbre es una duda acerca de un resultado relacionado con la utilización del mismo. No pueden existir incertidumbres aleatorias o sistemáticas, ya que el concepto no pertenece ni a la medición ni al resultado, ni al dominio matemático, sino al proceso de obtención y a su utilización práctica. Existen diferentes definiciones de incertidumbre. Se estima que la actual responde a las necesidades de ésta guía y contribuye a la equidad comercial.

3.12 Proceso de medición: Conjunto de recursos materiales y humanos, actividades, programas y factores de influencia que permiten realizar mediciones y producir valores numéricos.

3.13 Incertidumbre estándar: Incertidumbre relacionada con el valor de un mesurando o una variable de influencia expresada como una desviación estándar.

3.14 Incertidumbre estándar compuesta: La incertidumbre relacionada con el resultado de una medición cuando el valor numérico del mensurando se obtiene mediante la medición de otras magnitudes. Todas las incertidumbres en las variables se estiman mediante el mismo proceso de cuantificación, utilizando una unidad conceptual única de dispersión o falta de nitidez: la desviación estándar. Luego, se componen por un proceso de concatenación definido tomando en cuenta todas las incertidumbres en las variables. A cualquier valor numérico, aunque sea de lectura directa, se le puede y debe asociar incertidumbres de 2 fuentes de vaguedad o carencia de información, la primera puede ser de origen estadístico por la repetibilidad que pueda lograrse en unas condiciones determinadas, y la segunda relacionada con la incertidumbre de la calibración del instrumento, es decir en la realización específica de la disseminación de la unidad física, tal como se logró en el instrumento particular utilizado.

3.15 Incertidumbre expandida: Es el producto de la incertidumbre estándar compuesta por el factor de cobertura. Se utiliza el resultado como parámetro que define el medio intervalo dentro del cual se espera que se encuentre el valor convencional con un cierto nivel de confianza, aunque éste último no esté cuantificado y/o enunciado (ya que depende de la distribución de los posibles valores, la cual es, normalmente, desconocida).

3.16 Evaluación Tipo A: Método de evaluación que utiliza los principios estadísticos frecuentistas, basado en una serie de observaciones. Se utiliza la desviación estándar (típica) como representante de la incertidumbre. Puede provenir de la información que se recolecta cuando se efectúa un control de calidad de las mediciones, por ejemplo con el uso de repeticiones de la medición de alguna característica de un patrón de verificación, cuando éstas se efectúan al mismo tiempo que la determinación del valor del mensurando de interés.

3.17 Evaluación de tipo B: Método de evaluación que toma en cuenta la información disponible acerca del comportamiento del proceso de medición. En muchos casos se utiliza este tipo de evaluación por razones económicas, en

particular cuando se tiene experiencia práctica del proceso. Se utilizan datos históricos del proceso obtenidos del comportamiento del proceso de medición, información de fabricantes de los instrumentos, acervos técnicos publicados y otros. En cualquier proceso de medición existe, por lo menos, una fuente de incertidumbre tipo B.

3.19 Coeficiente de sensibilidad: la derivada parcial del mensurando por la variable de interés determina el coeficiente de sensibilidad. Éste se utiliza para estimar la incertidumbre estándar compuesta del resultado de la magnitud sujeta a medición, multiplicando el cuadrado del coeficiente de sensibilidad por la “varianza” correspondiente a la variable en cuestión.

3.20 Factor de cobertura: La incertidumbre estándar compuesta no es un intervalo de confianza estadístico. Para cubrir la mayoría de las manifestaciones de las desviaciones de los valores obtenidos mediante la aplicación de un proceso de medición específico, dispersiones que razonablemente pueden esperarse, suele usarse un factor de cobertura, símbolo k , el cual multiplica el valor de la incertidumbre estándar compuesta para dar un intervalo de confianza. Se selecciona, para el factor de cobertura valores como 2, 3 o más, según la amplitud de los riesgos. Si se supone y/o si se dispone de alguna evidencia que la distribución de los datos sigue una ley conocida, puede utilizarse un coeficiente de confianza determinado. Es común que éste nivel se escoge de un valor de 95%. En la práctica, algunos procedimientos de cuantificación de incertidumbre no precisan el factor de cobertura, el cual suele tomar valores entre 2,5 a 4,0.

3.25 Correlación: Los datos obtenidos de un mismo mensurando o de mensurandos diferentes entre sí, medidos simultánea o consecutivamente, pueden ser correlacionados entre sí por la actuación de variables de influencia normalmente ocultas y/ o desconocidas. Cada dato se ve influenciado de manera parcial por la magnitud de éstas variables. Esto significa que un valor se ve parcialmente relacionado por otro mediante las intervenciones mencionadas. Estas últimas tienen un aspecto aleatorio.

3.26 Estado de control estadístico: Se dice que un proceso está en control estadístico cuando las variaciones observadas de los valores del mensurando son debidas a eventos incontrolables aleatorios que representan parámetros independientes del tiempo.

4. Preliminares.

La evaluación de la incertidumbre que puede asociarse a los valores obtenidos mediante un proceso de medición, debe efectuarse, si y solo si, se cumplen una serie de requisitos que se enuncian a continuación.

4.1 Personal: Las personas que realizan el análisis de incertidumbre deben tener un buen conocimiento del proceso de medición y de sus limitaciones, así como de la naturaleza de las magnitudes que deben medirse. Además, deben conocer el propósito de la medición y del uso último que se le dé. Hasta la fecha, los conceptos básicos que se utilizan para cuantificar son de naturaleza estadística, por lo tanto, el personal de evaluación debe tener un conocimiento regular de ésta disciplina.

“El personal que labore en un área de metrología, se debe seleccionar en base a un perfil que contemple el tener conocimientos básicos de estadística para que pueda comprender las tareas que se le van a asignar, sin embargo, si no la tiene, para una mayor comprensión de dichas tareas, deberá entonces haber una etapa de entrenamiento sobre éstos conceptos, para crear y/o desarrollar la competencia”.

4.2 Proceso: la instalación, los recursos, el tipo de equipo, los aditamentos y las condiciones ambientales deben estar definidas, así como sus posibles variaciones, el proceso debe estar definido, descriptible y en control estadístico.

“Se debe contar con registros de las condiciones arriba mencionadas y que existan o se generen de manera periódica, además de contar con procedimientos documentados”.

4.3 Instrumentos y equipos: Los tipos de los instrumentos y de los equipos deben ser estipulados. El comportamiento de los mismos, a largo plazo, así como bajo la acción de las variables de influencia, deben ser conocidos o por lo menos enmarcados dentro de ciertos valores.

“Debe haber registros de los resultados históricos de los equipos, por ejemplo, comportamiento sobre la incertidumbre de la medición a través del tiempo para poder determinar periodos de calibración, ajustes de equipos, mantenimientos preventivos, bajas y/o altas, etc.”.

4.4 Reducción de los datos: El método de procesamiento de la información recolectada debe estar definido.

“Debe existir un procedimiento documentado basado en la normatividad aplicable para la evaluación de la incertidumbre”.

6. Método de evaluación normal.

6.2 Cuantificación de las incertidumbres de las variables:

Según la información que se disponga, la evaluación de la importancia de las incertidumbres asociadas estándares a cada magnitud independiente y de las variables de influencia, pueden ser del tipo A o del tipo B.

“Debe de existir un procedimiento documentado en el cual se incluya la metodología para saber cuales son las magnitudes a tomar en cuenta para la evaluación de la incertidumbre, así como el tipo de incertidumbre de éstas”.

6.2.1 para las variables de las cuales pueden estimarse una parte de la incertidumbre asociado al mensurando mediante la evaluación tipo A, se reconoce 2 situaciones diferentes.

a) Cuando se quiere informar de la incertidumbre que se tiene un valor determinado, único, se utiliza la media como valor central convencional y la desviación estándar muestral de la serie de datos obtenidos por repeticiones en la medición. En todos los casos, se registran los grados de libertad de la muestra.

b) Cuando la determinación del mensurando se logra mediante la medición de las magnitudes independientes, y realizando una regresión estadística, se utiliza la desviación estándar de los valores medios tal como calcula con los residuos de regresión. En todos los casos se registran los datos de la muestra.

6.2.2 Por razones de costo, de tiempo y de lógica no es posible evaluar todas las magnitudes de las incertidumbres mediante la evaluación tipo A. Sin embargo, es común que se disponga de un acervo bastante completo del comportamiento del proceso de medición. Se utilizará esta información que resulta tan válida como la que se obtiene mediante las repeticiones de medición. A las incertidumbres que se quieren evaluar, se les debe asociar una determinación a priori; puede ser normal, rectangular, triangular, trapezoidal u otras como se estima que sea más representativo de la realidad. Además, se le asocian parámetros cuantitativos. De ello resulta que la distribución tiene una desviación estándar. Se calcula ésta que se utiliza como incertidumbre estándar para la variable en cuestión. En la Tabla 1 (no incluida en éste trabajo) de la presente norma, se proporciona la información sobre las distribuciones comúnmente utilizadas y las desviaciones estándar correspondientes.

“Entre mayor número de mediciones se tengan acerca de un proceso de medición, mayor exactitud se tendrá acerca de sus resultados (partiendo del hecho de que se lleva a cabo mediante un método establecido y éste es ejecutado correctamente), sin embargo como se menciona en el párrafo anterior, es no-costeable hacer un gran número de mediciones, por lo cual es necesario tomar en cuenta otro tipo de parámetro, como lo es la incertidumbre de tipo B, para lograr acercarnos más a la realidad de la incertidumbre de las mediciones”.

6.3 Las posibles fuentes de incertidumbre que pueden contemplarse, se enlistan a continuación.

a) Variabilidad aleatoria del proceso de medición con cambios rápidos y que se reflejan, normalmente, en la dispersión de los valores del mensurando en las repeticiones de la medición. En éste caso, la incertidumbre se evalúa como tipo A. Se toma la desviación estándar como medida de su importancia. La variabilidad aleatoria con cambios lentos se puede estimar mediante los registros de patrones de verificación, materiales de referencia y otros. Como se utilizan datos históricos para la cuantificación, la evaluación de la importancia de la incertidumbre es del tipo B.

b) Incertidumbre asociada con los valores de los patrones y materiales de referencia y los valores proporcionados por los instrumentos. La fuente de información común son los informes de confirmación metrológica, los estudios de estabilidad y deriva de los valores de los valores realizados por los fabricantes de los patrones y en su defecto la información proporcionada por los fabricantes de los equipos de medición y pruebas. Estas son siempre de tipo B.

c) Variables de influencia como lo son, por ejemplo, la temperatura ambiental, la humedad ambiental, la presión atmosférica, la gravedad del lugar, las fluctuaciones de la alimentación neumática, eléctrica, hidráulica u otras, las vibraciones, los ruidos acústicos, el polvo en el ambiente, el nivel de la iluminación, las radiaciones electromagnéticas y otros factores que se sabe pueden afectar los resultados. Según la manera de realizar las mediciones la evaluación puede ser de tipo A o de tipo B, aunque es más frecuente ésta última categoría.

d) Las inestabilidades debidas a derivas en equipos y patrones. Cuando éstas son bien determinadas y existe evidencia de su constancia, se pueden efectuar correcciones para reducir la vaguedad de los valores obtenidos.

e) Prácticas de laboratorio, limpieza, efecto del manejo de las muestras, efectos de almacenamiento y de envejecimiento.

f) Incertidumbre por el muestreo que se realiza en una población. La cuantificación de ésta incertidumbre depende de la distribución que presenta el lote donde se escoja la muestra de tamaño n .

g) Incertidumbre relacionada con la reducción de los datos. Estas se relacionan normalmente, con la lectura de las gráficas para obtener factores de corrección, con los errores de redondeo, con la falta de precisión de los números utilizados en computadoras.

h) Incertidumbre debida al modelado. Es frecuente que se efectúen suposiciones para establecer el modelo. Se suprimen términos cuando se estima que tiene una influencia muy pequeña en el resultado final. Los errores que pueden presentarse por éstas causas son siempre sistemáticos.

i) Incertidumbre relacionada con la intrusión, es decir las perturbaciones del mensurando por la presencia del sensor y la colocación, es decir la posible no representatividad de los valores del mensurando en relación con el propósito de la medición.

j) Incertidumbre producida por la resolución limitada de los instrumentos. Se aplica tanto a los equipos de presentación digital como a los instrumentos analógicos.

k) Incertidumbre asociada a los problemas de fricción en partes mecánicas o materiales y de histéresis en materiales. Suelen presentar una distribución bimodal.

No se incluyen los errores por equivocaciones que pueden generarse por cálculos, mal registro de valores, mal lectura y otros que no son parte del proceso de medición. No significa que no tienen importancia, pero se supone que existe un sistema de control que detecta este tipo de errores y los elimina antes de que se transmitan los resultados a la medición de los usuarios.

“El tomar en cuenta las variables arriba mencionadas depende de que tan exacto queramos el resultado de la incertidumbre en la prueba, además de que tanto control tengamos sobre dichas condiciones, con lo cual se hará más o menos complejo la evaluación de la incertidumbre”.

7. Método de evaluación alterna.

El procedimiento anterior del inciso 6 (ver referencia) puede ser costoso y sin justificación real o cuando la modelización puede resultar tan compleja, por la cantidad de magnitudes esenciales y de variables de influencia que intervienen en el proceso, que resulta, prácticamente imposible de formular un modelo. Para estos casos, se utilizará un procedimiento simplificado aunque la incertidumbre informada puede ser muy superior a la razonable.

7.1 Con la utilización de patrones de verificación y elementos con parámetros representativos de las muestras y los equipos normalmente evaluados (para calibración y/o prueba) se conduce un experimento del tipo reproducibilidad y repetibilidad durante un tiempo suficiente para que las variables de influencia incluyendo equipos diferentes y operadores, que cambian de manera aleatoria puedan tomar valores dentro de su dominio de definición. Se realizan una cantidad suficiente de éstos experimentos, separados por un tiempo adecuado, para eliminar las posibles correlaciones. Se analizarán estadísticamente para separar la varianza de la reproducibilidad R_r de la repetibilidad r a largo plazo.

7.2 la incertidumbre estándar en los valores de los valores de los mensurandos obtenidos con el proceso de medición será la raíz cuadrada de las varianzas encontradas en 7.1 sumada a la varianza de la reproducibilidad R_e obtenida en verificaciones interlaboratorio o publicadas por organizaciones reconocidas relacionadas con mediciones y pruebas. O sea que se informará, para la capacidad del método de medición un valor igual a

$$\sqrt{R_e^2 + R_r^2 + r^2}$$

Cuando se desea señalar la incertidumbre estándar de un valor del mensurando individual y no la capacidad del servicio, se estimará la varianza muestral s^2 obtenido de una serie de la medición (cuadrado de la desviación estándar muestral). Este valor vendrá a reemplazar el valor de la varianza de la repetibilidad obtenido durante el experimento indicado en 7.1, o sea, se informa de una incertidumbre estándar compuesta igual a:

$$\sqrt{R_e^2 + R_r^2 + s^2}$$

9.6 Evaluación y cuantificación de las incertidumbres en las variables.

Para cada magnitud y variable de la lista que componen la fórmula, se proporciona un valor absoluto o relativo para la incertidumbre estándar que se puede tener de los valores de éstos parámetros. La evaluación puede ser de tipo A o de tipo B.

9.6.1 Evaluación del Tipo A: Con aquellas cuantificaciones de incertidumbres que se obtienen por medios estadísticos. Formalmente se aplica únicamente al mensurando informado. Pueden utilizarse métodos de análisis de regresión, cálculos de varianza de una serie de datos, análisis de varianzas y covarianzas. Cuando el parámetro p que se utiliza en la cuantificación del mensurando es una media, la estimación de la incertidumbre sobre ésta es la desviación estándar muestral dividida por la raíz cuadrada del número de repeticiones.

Si se realizaron n repeticiones de medición p , la media y la desviación estándar s se obtienen de la forma clásica.

Se asociará a la incertidumbre i_p en la medición del valor d . En ésta etapa, no se utiliza factor de cobertura. El valor obtenido es el valor manifestado en éste lapso de las repeticiones, puede ser no representativo de la repetibilidad de los valores del proceso de medición.

Algunas incertidumbres se cuantifican utilizando la información histórica que se tiene del proceso. Estas tienen sentido únicamente si, cuando se realizaron las mediciones el proceso estuvo en control estadístico. Si existe evidencia estadística suficiente para sostener la hipótesis de representatividad, se puede, por extensión, considerar la evaluación histórica como una evaluación del tipo A. El atribuir valor será, si S_i es la desviación estándar muestral obtenida en la i -ésima medición con n_i repeticiones y si son m determinaciones.

$$i_p = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (n_k - 1) s_k^2}{\sum_{k=1}^m n_k - m}}$$

Las regresiones y análisis de varianzas son fuentes de información para cuantificar estas fuentes de incertidumbre.

“Al llevar a cabo el cálculo de incertidumbre se deben de tomar en cuenta sólo las magnitudes que se consideren tengan una mayor influencia en el resultado de la medición, ya que si elaboramos un modelo muy complejo, puede resultar no-costeable y por otro lado tomar en cuenta que se tenga el suficiente historial para afirmar que el proceso está estadísticamente controlado”.

9.6.2 Evaluación de Tipo B: Es frecuente que no se puede recolectar información estadística sobre un proceso o bien que sea imposible por definición, como son por ejemplo la incertidumbre sobre la calibración. En estos casos, se efectúa una evaluación de las incertidumbres de Tipo B, es decir, utilizando la mejor información que se tenga del comportamiento de los parámetros. Se estima el grado de desconocimiento que se tiene y se asocia a una distribución a priori. Es frecuente que sea una distribución rectangular (uniforme) con límites simétricos. Según la información de la cual se dispone se pueden asociar otras. Para todas y cada una de las incertidumbres en las variables se calcula la incertidumbre estándar.

Si se encuentra necesario estimar un intervalo de dispersión con un cierto nivel de confianza se asociará a cada evaluación los grados de libertad n_i . Estos se establecen en función de la confianza en los valores de incertidumbre, a mayor confianza, mayor será el valor a asociar. Si C es la confianza a que el valor de incertidumbre esté dentro del valor asignado, por ejemplo si se estima que el valor no debería desviarse más que un 10% ($C=0,10$) de los señalado, los grados de libertad aproximados a asociar están dados por

$$v_i = \frac{1}{2C_i^2}$$

“Para saber que tipo de distribución será la que se utilice para cada tipo de dato, En la Tabla 1(no incluida en éste trabajo) de la presente norma, se podrá encontrar dicha clasificación y ser asignado un valor”.

9.8 Informe de la incertidumbre.

9.8.1 Selección del factor de cobertura: Según el propósito y las evidencias relacionadas con la posible distribución de probabilidad que siga el mensurando, se selecciona el factor de cobertura. Si se dispone de los grados de libertad pueden utilizarse los valores críticos de la función t de Student para un nivel de confianza determinado.

“La selección del factor de cobertura, va de acuerdo como se menciona arriba, del nivel de confianza que queramos de las mediciones, a continuación en el cuadro 7 se muestra los diferentes factores de cobertura y el nivel de confianza que representan, esto es suponiendo una distribución normal”.

Cuadro 7. Nivel de confianza en un conjunto de mediciones

K	1	2	3
Nivel de confianza	68,3 %	95,4 %	99,7 %

(CENAM, División de Óptica y Radiometría, 2002).

9.8.2 Incertidumbre expandida: El producto del factor de la cobertura k por la incertidumbre estándar combinada obtenida en 9.7, se informa como incertidumbre expandida. Se señala el valor del factor de cobertura o el nivel de confianza junto con los grados de libertad si se utilizó una distribución t .

2.4.7.3) NORMA MEXICANA “REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y DE CALIBRACIÓN” (NMX-EC-17025-IMNC-2000, ISO/IEC 17025:1999).

Dentro del sistema de gestión de las mediciones, se deben de contemplar algunos aspectos a cumplir con respecto a instalaciones, personal, informes de resultados, etc. Y esto también aplica a los laboratorios que dan servicio a la organización, por lo cual, se incluyen a continuación los puntos que aplican a dichos aspectos y que nos dan información de éste rubro.

5.4.2 El laboratorio debe usar métodos de ensayo/calibración, incluyendo métodos para muestreo, que satisfagan las necesidades del cliente y que sean apropiadas para los ensayos y calibraciones que realice. Deben usarse preferentemente los métodos publicados en normas internacionales, regionales o nacionales. El laboratorio debe asegurarse que usa la última edición vigente de una norma, a menos que esto no sea apropiado o posible de hacer.

2.4.7.4) NORMA MEXICANA “SISTEMA DE GESTIÓN DE LAS MEDICIONES-REQUISITOS PARA PROCESOS DE MEDICIÓN Y EQUIPOS DE MEDICIÓN (PROY-NMX-CC-10012-IMNC-2003)

A continuación, analizaremos el Proyecto de Norma “Sistemas de gestión de mediciones-requisitos para procesos de medición y equipos de medición” (PROY-NMX-CC-10012-IMNC 2003), el cual nos servirá de guía para el desarrollo de los lineamientos generales de un sistema documental de confirmación metrológica.

El presente proyecto de norma cuenta con **118 “Debes”** a cumplir, algunos de éstos se interrelacionan, por lo cual puede presentarse el que se haga más de una vez cierto requerimiento, lo cual no quiere decir que sean iguales, más bien que cuenta con varios aspectos a cumplir, por lo cual, es necesario tomar en cuenta todos los aspectos en los que el proyecto de norma puede manejarlos para su cumplimiento efectivo.

Como se ha mencionado anteriormente, el análisis será llevado a cabo de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de un análisis en letras cursivas y con comillas de su aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.

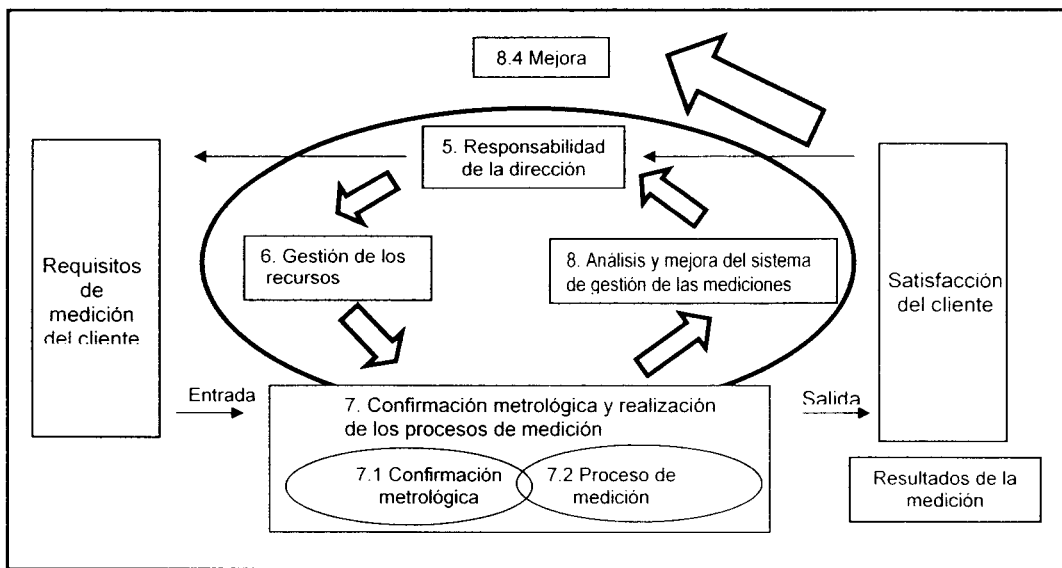


Figura 4. Modelo del sistema de gestión de las mediciones (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C., 2003).

Para entender la estructura que se va a seguir en un sistema de gestión de las mediciones basado en procesos, se presentó anteriormente el modelo esquemático del sistema de gestión de las mediciones.

Debido a que el presente proyecto de Norma es la base para la implementación del sistema documental, se transcribe a continuación su objeto y campo de aplicación.

1. Objeto y campo de aplicación.

La norma NMX-CC-10012-IMNC tiene el propósito de proporcionar requisitos genéricos y orientaciones para gestionar los procesos de medición y la confirmación metrológica del equipo de medición utilizado para apoyar y demostrar el cumplimiento con los requisitos metrológicos.

Especifica los requisitos de gestión de la calidad de un sistema de gestión de las mediciones que puede ser utilizado por una organización que lleva a cabo mediciones, como parte de su sistema de medición global y para asegurarse que se cumpla con los requisitos metrológicos.

3. Definiciones.

Para los propósitos de esta norma mexicana, se aplican los términos y definiciones dados en las referencias normativas, así como los siguientes.

3.1 *Sistema de gestión de las mediciones:* Conjunto de elementos interrelacionados, necesarios para lograr la confirmación metrológica y el control continuo de los procesos de medición.

3.2 *Proceso de medición:* Conjunto de operaciones para determinar el valor de una magnitud.

3.3 Equipo de medición: Instrumento de medición, software, patrón de medida, material de referencia o aparato auxiliar o combinación de éstos, necesario para llevar a cabo el proceso de medición.

3.4 Característica metrológica: Característica identificable que puede influir en los resultados de la medición.

3.5 Confirmación metrológica: Conjunto de operaciones requeridas para asegurarse que el equipo de medición es conforme a los requisitos de uso previstos.

3.6 Función metrológica: Función con responsabilidades administrativas y técnicas para definir e implementar el sistema de gestión de las mediciones.

4. Requisitos generales.

“Dentro de ésta sección se habla del control que debe de tener con el sistema de gestión de las mediciones, apoyado en los requisitos metrológicos del cliente, los cuales son aquellos que nos indican las características metrológicas que deben de cumplir los equipos y/o instrumentos utilizados en la organización (ya sean patrón, de trabajo, etc.) para lo cual se requiere la elaboración de un inventario general y la priorización si así se cree conveniente de equipos críticos para los procesos productivos. De esto se desprende el que se deba especificar cuales son los instrumentos que formarían parte del sistema de confirmación metrológica, además de saber cuales son los problemas que se pueden tener al no cumplir con dichos controles, por otro lado, se debe de contar con un método de control, el cual se planteará en la sección 7.2. Se elaborará un método para la confirmación metrológica de los instrumentos considerados dentro del sistema y Se contará con un procedimiento el cual nos indique como elaborar los cambios en los documentos, ya sea que se establezca conforme a la presente norma o se encuentre dentro del sistema de calidad de la planta (Por ejemplo si se cuenta con el sistema ISO 9000)”.

5.1 Función metrológica.

“El contar con un área de metrología nos da la ventaja de que la información está concentrada en un solo sitio, de lo cual se puede desprender una mayor velocidad de respuesta. Y a raíz de lo anterior, para el cumplimiento del propósito del área de metrología, debemos asegurarnos que cuente con los recursos tanto materiales como humanos que nos aseguren que pueda cumplir con lo establecido y por lo tanto la(s) persona(s) a cargo de la función metrológica, tendrá(n) la responsabilidad de establecer programas de trabajo que incluyan la revisión periódica de los procesos documentados e incluir la mejora continua dentro de los mismos, para asegurar su continua efectividad y eficiencia”.

5.2 Enfoque al cliente.

“Los requisitos del cliente son aquellos los cuales nos van decir que deben de cumplir los equipos que requerimos tanto en planta como patrones, son los requisitos del cliente, con los cuales vamos a trabajar y mejorar su desempeño. Por lo tanto, se harán documentos los cuales nos aseguren el cumplimiento y la mejora continua de éstos”.

5.3 Objetivos de la calidad.

“En ésta sección lo que se llevará a cabo es la definición de objetivos que se desprenderán de los programas de trabajo y el método para obtenerlos, así como también puede ser de utilidad el establecer tiempos para la elaboración de los mismos, puede ser factible al terminar el año después de haber revisado los resultados de los planes anteriores, los cuales nos aseguren el funcionamiento correcto de los equipos, mejorar tiempos de operación, confiabilidad tanto en los equipos como en los operadores que los utilizan así como en el personal que efectúa las pruebas.

Aunado a lo anterior, aquí nos dice que debe de haber para efecto de los indicadores anteriores, documentación y procedimientos pertinentes que nos indiquen cual es la manera de cumplir, además el establecimiento de las metas y el mecanismo para su cumplimiento”.

5.4 Revisión por la dirección.

“En este punto nos solicitan que haya un procedimiento escrito para la realización de auditorias programadas, tanto internas como externas (aplica para las empresas que cuentan con un sistema de calidad establecido, por ejemplo ISO 9000, QS 9000, etc.), contar con un presupuesto asignado para llevar a cabo éstas actividades. Además de que dentro de las revisiones establecidas por la dirección de la organización se obtendrán conclusiones acerca de los objetivos de la calidad establecidos, por lo tanto se deberán tomar en cuenta estas conclusiones. Y Para que se tenga evidencia de la realización de dichas evaluaciones, debe de contarse con la documentación pertinente y en caso de que hubiese alguna inconformidad, cuales fueron las acciones correctivas y/o preventivas para el cierre de éstas”.

6. Gestión de los recursos.

6.1 Recursos humanos.

6.1.1 Responsabilidad del personal.

“Dentro de la organización debe establecerse el organigrama que nos indique cual es la posición de los involucrados dentro del sistema metrológico, así como tener la documentación pertinente que nos indique las responsabilidades que va a cumplir cada uno de los ocupantes. esto bajo el conocimiento del área de personal (Recursos Humanos), ya que en una auditoría las áreas involucradas deben poseer la misma información”.

6.1.2 Competencia y formación.

“En ésta sección nos indican que debe haber evaluaciones o algún otro método para verificar las aptitudes del personal involucrado en el sistema de gestión de las mediciones (entiéndase aptitud como la capacidad de realizar las tareas que les son asignadas a cada persona que forma parte del sistema metrológico). Además es responsabilidad de la dirección de la función metrológica que dentro de la selección del personal debe contarse con lo indispensable necesario para que el personal pueda desarrollar de manera adecuada las tareas que se le asignen.

Por lo que aquí nos refiere a que se lleven registros de cuales son las necesidades de formación para el personal, de la capacitación proporcionada y de su eficacia práctica.

Por otro lado, la dirección de la función metrológica debe asegurarse que el personal sepa del impacto en la correcta realización de sus funciones, ya que de esto depende la calidad del producto a fabricar (dentro del plano de las mediciones) Dentro de la formación laboral del personal es importante que sea supervisado adecuadamente, ya que pudiesen surgir dudas en cuanto al cumplimiento de sus responsabilidades y por ende esto se vería reflejado en el resultado que se espera de él”.

6.2 Recursos de formación.

6.2.1 Procedimientos.

“Aquí nos dice que debe de estructurarse un sistema documental de acuerdo a las necesidades del área, puede involucrar desde procesos de administración hasta instrucciones con formatos definidos y/o instructivos de trabajo específicas por equipo utilizado.

Ese esquema incluye el mecanismo de su control, actualización y autorización, además de su disponibilidad en el área y al personal que los requiera”.

6.2.2 Software.

“Dentro de las necesidades del área se encuentra el requerir de software, ya sea para administrar el área o hacer cálculos estadísticos, (por ejemplo: Programas de calibración, elaboración de informes de calibración, cálculo de incertidumbre), por lo tanto, si el software utilizado es elaborado dentro de la misma, es necesario tanto su validación como su protección para evitar los errores durante su utilización y por ende en la expedición de resultados oficiales del área (el software comercial por lo general no requiere pruebas)”.

6.2.3 Registros.

“Se establecerá un procedimiento de trabajo con un método para aseguramos que los documentos que componen el sistema estén resguardados, éste procedimiento puede desarrollarse dentro del sistema de metrología o ser parte del sistema de gestión de la calidad de la organización”.

6.2.4 identificación.

“Se especifica la identificación de los documentos que componen el sistema, (por ejemplo: Proced. 01, 02, 03, etc. y los equipos pueden serlo con un código alfanumérico). Y por otro lado nos indican que debemos identificar si los equipos están confirmados, lo cual nos autoriza a su utilización, en caso contrario señalarlo. Puede ser de Ayuda el que el personal de la organización tuviese acceso directo a los archivos donde se encontrara el estatus de los instrumentos que están dentro del sistema de confirmación metrológica (solo como lectura)”.

6.3 Recursos materiales.

6.3.1 Equipo de medición.

“Debe de existir un método estandarizado para identificar los instrumentos y equipos que conformen el sistema, debe estar confirmado metrológicamente, identificar y cumplir las condiciones ambientales de trabajo que el fabricante recomienda así como contar con un método para registrar dicha condiciones.

Dentro del sistema debe de existir ya sea una sección o un procedimiento que nos indique los cuidados que se deben de seguir con el transporte, recibo, distribución de los EIMP”.

6.3.2 Medio ambiente.

“Cuando se realizan pruebas en los equipos o instrumentos, se deben de considerar las condiciones ambientales, ya que éstas afectan los resultados de las mediciones, y cuando se reporten los resultados, indicar para que condiciones son válidos”.

6.4 Proveedores externos.

“Cuando en la organización surge la necesidad de utilizar los servicios de proveedores externos, de acuerdo a ello, se debe de documentar cuales son los requisitos (tanto técnicos así como administrativos) que cumplirán dichos proveedores, para lo cual se tendrá que contar con un método de selección, aprobación, seguimiento, cumplimiento, y en caso de que lo amerite, recomendaciones para mejorar su sistema o necesidades particulares de la organización con respecto a sus servicios.

Por otro lado, de lo anterior deben de mantenerse registros (dichos registros también contarán con una vigencia que será determinada por la dirección de la función metrológica)”.

7. Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición.

7.1 Confirmación metrológica.

7.1.1 Generalidades.

“La confirmación metrológica, como se mencionó anteriormente, está formada de manera general de la calibración de los equipos y su verificación, por lo tanto debemos asegurarnos que se encuentren con ésta confirmación, con el fin de cumplir con los requisitos metrológicos ya establecidos con anterioridad.

Dicha información debe de estar disponible para el operador del equipo, un método puede ser mediante el uso de etiquetas donde se proporcione dicha información o un método alterno es si la organización cuenta con los medios adecuados para colocar en documentos electrónicos la información”.

7.1.2 Intervalos de confirmación metrológica.

“Para el establecimiento de los intervalos de confirmación metrológica pueden utilizarse:

- a) La carga de trabajo del instrumento o equipo en cuestión.*
- b) Características metrológicas como linealidad, estabilidad, etc.*
- c) Recomendaciones del fabricante o de algún proveedor con experiencia suficiente.*

Independientemente de ello, se debe documentar el método o conjuntos de métodos para el establecimiento de los intervalos de los Equipos y/o instrumentos, con el fin de cumplir en todo momento con los requisitos metrológicos”.

7.1.3 Control de ajustes del equipo.

“Para garantizar un correcto funcionamiento de los EIMP aparte de contar con su confirmación metrológica, es indispensable establecer métodos para que se evite que personal no autorizado realice ajustes que puedan afectar el resultado de la medición de manera negativa, por lo cual se debe contar con un método de protección de las funciones que solo el personal autorizado pueda cambiar, el sellado debe ser visible y también debe existir la forma de cómo actuar en caso de que haya ocurrido un evento de ésta naturaleza(cambio, rotura, etc)”.

7.1.4 Registros del proceso de confirmación metrológica.

“Los registros de confirmación metrológica deben estar firmados por una persona autorizada para tal efecto, a fin de que tengan validez los resultados reportados, estos también deben estar disponibles para su consulta, puede ser que se guarden en carpetas o en electrónico (o en cualquier otro medio).

Otro punto importante con respecto a lo anteriormente mencionado, es que se debe contar con un procedimiento el cual nos indique cuanto tiempo se van a retener dichos documentos (por aspectos legales, de calidad, etc.), se recomienda que los registros de calibración de patrones sean retenidos de manera indefinida, para observar el comportamiento a través del tiempo. Ya que estos son los equipos patrón y en ellos nos basamos para obtención de resultados del sistema.

En cuanto al contenido de los reportes de calibración, deben de contener mínimo los datos señalados anteriormente, para contar con información suficiente y determinar si el equipo cumple o no con los requerimientos que de él se piden”.

7.2 Proceso de medición.

7.2.1 Generalidades.

“Dentro de los procesos de medición existen varios aspectos que deben ser

cumplidos, como son:

- Planificados: se debe contar con un programa de cuando llevar a cabo cierta medición, por ejemplo, la verificación de equipos por magnitud, por áreas, etc.

- Validados: Se debe de contar con un método de validación para verificar que los procesos son adecuados para el fin que es perseguido.

- Implementados: Se debe de asegurar que los procesos estén implementados en planta, que se cumpla con lo establecido en cuanto a método y tiempos.

- Documentados y controlados: Se deben de contar con los documentos que soporten la información antes mencionada y además de un método para mantener bajo control dichas actividades de manera sistemática”.

7.2.2 Diseño del proceso de medición.

“Es indispensable que cuando sean especificados los requisitos del cliente, se cuente con las bases documentales (normas, reglamentos, etc.) mediante las cuales se tenga evidencia de su cumplimiento, puede ser también que éstos requisitos sean acordados con el cliente en concordancia con los procesos que éste realiza y por otro lado, que los métodos para su obtención se encuentren validados.

Se debe de contar con la identificación puntual que cada proceso requiere para su control, por ejemplo: si se trata de un elemento o instrumento que mide temperatura saber cuales son los puntos críticos de éste y también saber que tan crítico es para la calidad del producto, de modo que se cuente con controles más ó menos estrictos de acuerdo a la importancia de éste proceso en el impacto de la calidad.

Por otro lado para establecer éstos controles se deben desarrollar métodos

que incluyan tanto la medición y cuantificación de las variaciones, así como la que pueda ser causada por el método y los operadores (Ej. Calibraciones, estudios R&R, etc).

Los procesos de medición deben de contar con puntos específicos para saber como actuar en caso de alguna desviación, por ejemplo: si es que un equipo se encuentra desajustado aunque su periodo de calibración sea todavía vigente, si algún instrumento se avería a quien y como se le tiene que comunicar para evitar el uso de instrumentos no aptos, etc.

Se debe de contar con métodos para establecer los límites de control de cada uno de los equipos que se encuentran dentro del sistema de gestión de las mediciones (ya sea de manera estadística ó en base a lo ya establecido por alguna otra área), por otro lado, también es posible el que se acuerde con el cliente directamente (esto también debe estar soportado de manera documental). Aquí también puede ser conveniente, en caso de ser posible el comunicarse con otras áreas ya sea dentro o fuera de la organización para tomar algún Benchmark de quien cuente con éste tipo de procesos”.

7.2.3 Realización del proceso de medición.

El proceso de medición debe ser llevado a cabo bajo condiciones controladas diseñadas para cumplir los requisitos metrológicos.

Las condiciones a controlar deben incluir:

- q) El uso de equipo confirmado.
- r) La aplicación de procedimientos de medición validados.
- s) La disponibilidad de recursos de información requeridos.

- t) El mantenimiento de las condiciones ambientales requeridas.
- u) El uso de personal competente.
- v) El informe apropiado de los resultados.
- w) La implementación de seguimiento según se especifique.

“De acuerdo a lo anterior, se debe de contar con cada uno de estos aspectos para la realización confiable de los procesos de medición”.

7.2.4 Registros de los procesos de medición.

La función metrológica debe mantener registros para demostrar el cumplimiento de los requisitos de los procesos de medición, incluyendo:

- x) La descripción completa de los procesos de medición implementados, incluyendo todos los elementos utilizados, por ejemplo: Operadores, cualquier equipo de medición o patrón de control utilizado y las condiciones de operación pertinentes.
- y) Los datos pertinentes obtenidos de los controles del proceso de medición, incluyendo cualquier información pertinente a la incertidumbre de la medición.
- z) Las acciones tomadas como resultado de los datos de control del proceso de medición.
- aa) La(s) fecha(s) en las cuales se llevaron a cabo las actividades de control del proceso de medición.
- bb) La identificación de los documentos de verificación pertinentes.

cc) La identificación de la persona responsable de proveer la información de los registros.

dd) Las aptitudes (requeridas y logradas) del personal.

La función metrológica debe asegurarse de que solamente se permita a personas autorizadas generar modificar, emitir y borrar registros.

“Los registros y el control de los resultados que se emiten en la función metrológica, deben cumplir con los requisitos arriba descritos, ya que sin estos y sin la capacitación adecuada del personal éstos carecerían de la confiabilidad y validez requerida”.

7.3 Incertidumbre de la medición y trazabilidad.

7.3.1 Incertidumbre de la medición.

“El cálculo de la incertidumbre debe ser realizado a los equipos y/ o procesos que estén incluidos dentro del sistema de gestión, las contribuciones a la incertidumbre de la medición pueden ser:

- *Incertidumbre del patrón.*
- *Temperatura.*
- *Presión.*
- *Tiempo.*
- *Posición, etc.*

“De la cual alguna puede hasta llegar a ser despreciable y no ser tomada en cuenta. En la Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición (NMX-CH-140-IMNC, analizada en la sección 2.4.7.2) se puede encontrar el método para el desarrollo adecuado, para lo anterior hay que realizar un análisis de cuales son los variables que podemos controlar y cuales no, por ejemplo, si el equipo está en

campo (instalado en la planta), es poco probable que podamos mantener las condiciones que se tienen en un laboratorio y podría ser que se tenga que realizar la estimación de la incertidumbre con los datos de planta, para lo cual se debe de especificar en el reporte las condiciones a las cuales fue realizada la prueba”.

7.3.2 Trazabilidad.

“Dentro de los documentos desarrollados en el sistema debe haber uno el cual nos asegure que las mediciones son trazables al sistema SI, esto se logra mediante la verificación de que los patrones de trabajo utilizados sean trazables a instrumentos de un laboratorio secundario acreditado ante algún organismo autorizado para tal fin en el caso de México puede ser por la EMA (Entidad de Acreditación Mexicana) y que cumpla por ende con la Norma 17025”.

“En cuanto a los registros éstos deben de especificarse el tiempo a las necesidades mencionadas en la norma (puede el sistema auxiliarse de una matriz donde se coloquen dicha información)”.

8 Análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones.

8.1 Generalidades.

“Dentro de los documentos rectores del sistema debe haber una sección donde se especifique de alguna manera el compromiso de mejora mediante el análisis sus componentes y adecuaciones derivadas de los cambios dentro de la organización”.

8.2 Auditoría y seguimiento.

La función metrológica debe utilizar la auditoría, el seguimiento y otras técnicas apropiadas para determinar la adecuación y eficacia del sistema de gestión de las mediciones.

“Si el sistema se encuentra formando parte de ISO 9000, entonces nos podemos auxiliar de ésta sección ya desarrollada y determinar cual sería la frecuencia para revisión mediante auditorías”.

8.2.1 Satisfacción del cliente.

“Esta sección puede cumplirse mediante el desarrollo de un procedimiento el cual nos indique cuales son los requerimientos metrológicos del cliente, si se está cumpliendo con éstos y en caso de que no de lo anterior, cuales serán las acciones a tomar [mediante un plan de trabajo desarrollado junto con el(los) cliente(s)]”.

8.2.2 Auditoría del sistema de gestión de las mediciones.

“Como ya se mencionó anteriormente, ésta sección puede alinearse con un sistema de gestión de la calidad ya establecido, en caso contrario se desarrollaría un procedimiento el cual nos dirá cuales serán los requerimientos para llevar a cabo una auditoría, su frecuencia, auditores, etc.”

“Por otro lado, la comunicación de los resultados de estas evaluaciones, asegurarse de conocerlos (puede ser de manera electrónica ó en papel, etc.). La Norma NMX-CC-SAA-19011-IMNC proporciona orientación sobre sistemas de auditoría”.

8.2.3 Seguimiento del sistema de gestión de las mediciones.

“En ésta sección se indica que se debe de ser consistente con los procesos de confirmación metrológica y medición, y esto debe de hacerse de acuerdo a métodos y periodos establecidos, además debe incluir una sección donde nos diga que hacer en caso de una desviación y que la acción sea rápida, efectiva y de acuerdo a la criticidad del evento además de documentarla”.

8.3 Control de no conformidades.

8.3.1 Sistema de gestión de las mediciones no conformes.

“En caso de que se presenten no conformidades durante el (los) proceso(s) de medición se contará con métodos de trabajo establecidos para detectarlas (éstas pueden ser verificaciones periódicas o aleatorias, acuerdos con otras áreas, etc.) y corregirlas (posteriormente haciendo un análisis para su prevención en otro(s) equipo(s) ó sistema(s)”.

8.3.2 Procesos de medición no conformes.

“Cuando se encuentre un equipo/ sistema que no esté metrológicamente confirmado, debe de retirarse de uso, identificarlo y además comunicar a los involucrados que se hizo ese hallazgo, para que éstos a su vez realicen las acciones correctivas/ preventivas pertinentes [éstas pueden incluir rastrear el/ los producto(s) que utilizaron éste equipo/ sistema para verificar el(los) efecto(s) de la (s) desviación(es)]”.

8.3.3 Equipo de medición no conforme.

“En ésta sección se trata de que el equipo que tenga alguna falla sea identificado de alguna manera, (evitando su uso ya sea por descuido o intencional), se elabore un reporte de la falla, se corrija ésta situación (confirmándolo metrológicamente) y en caso de que no pueda adecuarse al uso al que se tenía destinado anteriormente, sea cambiado a otro (degradado) o en su defecto sea desechado”.

8.4 Mejora.

“La mejora continua debe estar presente en los procesos de medición de forma escrita (textualmente), y además llevarse a cabo en la práctica mediante

planes de trabajo que nos indique la realización de revisiones del sistema periódicamente para identificar oportunidades de mejora, esto también abarca la práctica en los procedimientos o su extensión (nuevos equipos, nuevas técnicas, etc.)”.

8.4.1 Acción correctiva.

“Cuando se lleve a cabo alguna acción correctiva, debe tomarse en cuenta que se tendrá que llegar a la raíz del problema ó hacer un análisis de falla, con el fin de eliminar ese problema encontrando la causa raíz, esto puede llevarse mediante algún método como por ejemplo diagrama de pescado o Ishikawa, lluvia de ideas, etc. Y el equipo antes de su uso debe ser confirmado metrológicamente, además de documentarse para evitar fallas recurrentes por ésta causa (o en el caso de que vuelva a presentarse por alguna situación extraordinaria, que se facilite su adecuación nuevamente para su uso)”.

8.4.2 Acción preventiva.

“Se debe desarrollar un método para llevar a cabo un análisis el cual nos pueda decir cuales acciones preventivas son necesarias llevar a cabo en un equipo/ instrumento del sistema de gestión de las mediciones, esto podría ser a través de apoyo con los fabricantes del equipo, experiencia de proveedor(es) ó personal de la organización además las medidas preventivas deben ser comprobadas, monitoreadas (para asegurar su efectividad) y documentadas (para aseguramos de su permanencia)”.

CAPITULO 3. MAGNITUDES METROLOGICAS BASICAS EN UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.

Como se mencionó al principio del presente trabajo, existen magnitudes básicas que se tienen en una industria de alimentos, a continuación se describirán algunos aspectos básicos de éstas, los instrumentos que podrían ser utilizados y la normatividad a la cual están sujetas.

3.1. Metrología de masa. (6, 7, 17, 18)

3.3.1. Definición.

La metrología de masa es aquella que se encarga de establecer escalas, crear patrones, mantenimiento y cuidado de los equipos que miden esta magnitud.

La magnitud masa "m", es la propiedad de la materia de un cuerpo que se expresa tanto por la inercia respecto a toda alteración de su estado de movimiento, como por la acción ejercida por la atracción ejercida sobre otros cuerpos.

La masa es independiente del lugar, para determinar la masa de un cuerpo se le compara con cuerpos de masa conocida, por ejemplo, por pesaje.

3.1.2. Principios de pesaje.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se darán las bases para comprender los principios de pesaje utilizados en los equipos de medición de ésta magnitud.

Peso: Es el valor medido en una pesada. El efecto de la flotación en el aire no es tomado en cuenta. En el caso de una pesada dentro de un fluido (gas o líquido) de densidad ρ_1 , el valor del peso W y la masa m de la muestra pesada se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$W = m \left[\frac{1 - \left(\frac{\rho_1}{\rho} \right)}{1 - \left(\frac{\rho_1}{\rho_G} \right)} \right]$$

Donde:

ρ_1 = Densidad de un fluido utilizado dentro de una pesada

ρ = Densidad de la muestra pesada

ρ_G = Densidad de las pesas

m = Masa

Fuerza: La fuerza F es el producto de la masa m de un cuerpo por la aceleración a la que éste se sujeta.

$$F = m \cdot a$$

El peso de un cuerpo es la fuerza ejercida por éste provocada por la aceleración de la gravedad.

La ley de Arquímedes nos indica que "Todo cuerpo inmerso en un medio gaseoso o líquido (dentro de un campo gravitacional) recibe un empuje igual al peso del medio por él desplazado".

Para la determinación de la masa de un objeto, se utilizan diferentes principios de pesaje, los cuales son:

Comparación de masas: La fuerza debida al peso de la carga se compensa por las fuerzas debidas a las pesas marcadas, incorporadas o no a la balanza o por la fuerza debida a un peso pendular que actúa sobre un brazo de palanca cuya longitud útil varía con la inclinación.

Compensación de fuerzas: La fuerza debida a la masa del cuerpo, se compensa por fuerzas electromagnéticas o por la deformación de un material elástico.

Otros principios de medida: Un ejemplo de éstos es el que mide la atenuación de las emisiones radioactivas de un cuerpo. En ciertas condiciones de atenuación la radiación es función de la masa del cuerpo cuyo peso quiere conocerse.

3.1.3. Instrumentos.

Para llevar a cabo la operación de pesaje se utilizan balanzas ó básculas. Enseguida se dará una breve descripción de éstas.

Balanza o báscula: Es un instrumento mecánico utilizado para medir la masa de un objeto determinado, mediante la medición de la fuerza ejercida por un objeto, en el campo de la gravitación terrestre, la diferencia del nombre radica en la resolución del equipo, la balanza tiene una resolución menor a 1 gramo.

Todas las balanzas o básculas son instrumentos delicados, por lo que el usuario debe tener precaución para su uso y operación. Es importante que los operadores de éstos instrumentos (ya sean de laboratorio o industriales), tengan conocimiento de su funcionamiento y mantenimiento para garantizar su correcto uso.

En el cuadro siguiente podemos apreciar que existe un instrumento para cada tipo de necesidad, aunque depende del uso, en general los cuidados y

recomendaciones son las mismos, más adelante se mencionarán los cuidados que deben tenerse.

Las balanzas y básculas se clasifican bajo los siguientes criterios:

Cuadro 8. Clasificación de los instrumentos de pesaje

	Principios de la medida física	Clase de exactitud	Tipo de funcionamiento	Indicación	Equilibrio	Dispositivo medidor de carga	Receptor de carga	Aplicación
a	Comparación directa de masas	Especial I	Automática	Sin dispositivo indicador	Equilibrio no automático	Pesa cursora	Plataforma	De baño
b	Comparación de fuerzas	Fina II	No automática	Con dispositivo indicador	Equilibrio semiautomático	Pesa incorporada	Tolva	Analítica
c	Otros (radiometría)	Media III			Equilibrio automático			Pesa de hilos
d		Ordinaria IV						Cuenta-piezas

(Martínez, 2001).

3.1.4. Principio de funcionamiento.

Los instrumentos de pesaje pueden tener uno o más principios de funcionamiento, los cuales mencionaremos a continuación.

De resorte: Este se basa en la utilización de resortes y una correlación utilizando el principio de la Ley de Hooke que indica que la deformación de un elemento elástico es directamente proporcional al efecto ejercido.

Mecánico: Su principio de funcionamiento se basa en la comparación directa de masa utilizando sistemas mecánicos, generalmente son de indicación analógica y utilizan brazos de palanca y contrapesos para multiplicar su capacidad.

Electrónico: Su principio de operación se basa en la utilización de dispositivos Electromecánicos (celdas de carga, bobinas eléctricas, etc.) en las que la señal

analógica es convertida a una señal digital, los equipos de éste tipo, funcionan bajo el principio de galgas extensométricas el cual será explicado más adelante.

Electromecánico: Es una integración de los 2 principios anteriormente mencionados, o sea es aquél que al colocar una carga sobre el receptor de carga ejerce una fuerza sobre una palanca o sistema de palancas conectadas a un transductor de esfuerzos o conjunto de ellos que a su vez conectado al dispositivo indicador proporciona lecturas en unidades de masa.

Recomendaciones prácticas para el uso de balanzas y básculas.

Para el uso u operación de balanzas y básculas se deben considerar las siguientes precauciones, aunque cabe aclarar que la criticidad de éstas, dependen del equipo a utilizar.

- Se deben de mantener en perfectas condiciones de limpieza y mantenimiento, el polvo y restos de materiales son los principales enemigos de estos equipos.
- Nunca dejar caer bruscamente sobre el receptor de carga el objeto a pesar. Esto aplica en general a todo tipo de equipos (en los de gran capacidad, pueden dañarse las celdas de carga).
- Antes de utilizar el equipo, se deberá verificar que se encuentre nivelado (en caso de que cuente con burbuja de nivel, en caso de que sea una de plataforma, se puede utilizar un nivel de mano y hacer dicha operación).
- Colocar el objeto a pesar en el centro del receptor de carga para evitar errores por carga descentrada.
- Comprobar que el equipo señale exactamente cero antes pesar corregir si es necesario. Al terminar, verificar nuevamente el cero.

- Antes de tomar la lectura de la pesada, verificar que el equipo esté perfectamente equilibrado.

- Siempre que se esté realizando una pesada, hay que esperar un tiempo mínimo de equilibrio, el cual depende del tipo de equipo. Es recomendable establecer en los métodos de operación de cada instrumento éste tiempo.

3.1.5. Propiedades metrológicas de los instrumentos.

Dentro de ésta sección, veremos cuales son las propiedades metrológicas de los instrumentos en general (esto aplicará también a las secciones de temperatura y presión, por lo cual ya no se incluirá).

Linealidad: Esta se define como la magnitud de la señal de entrada con respecto a la de salida, esto es, que se está pidiendo al equipo que evalúe y que se está obteniendo, teóricamente si graficáramos el resultado de la prueba, se debería de obtener una línea de 45° con respecto al origen como se muestra en la Figura 5.

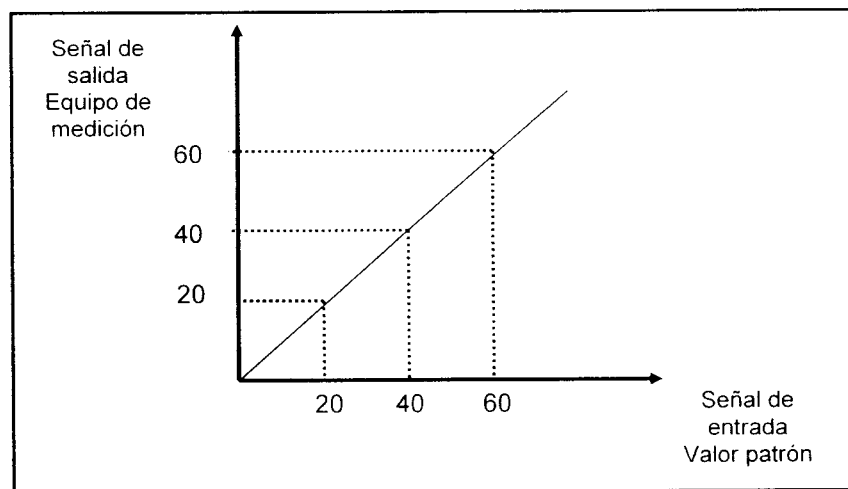


Figura 5. Comportamiento ideal de la linealidad de un instrumento (Martínez, 2001).

Estabilidad: La propiedad de estabilidad consiste en saber cuanto tiempo conserva de manera aceptable sus características metrológicas con respecto al tiempo (en caso de que sea algún otro aspecto, se deberá mencionar). Se evaluará cual es el mayor tiempo posible que el equipo conserva sus características metrológicas de modo que se obtenga un comportamiento que no rebase los EMT (Errores Máximos Tolerados) establecidos.

Repetibilidad (de medición): Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mesurando, efectuadas con la aplicación de la totalidad de las condiciones siguientes:

- Mismo método de medición.
- Mismo observador.
- Mismo instrumento de medición.
- Mismo lugar.
- Misma condición de uso.
- Repetición en periodos cortos de tiempo.

Reproducibilidad (de los resultados de mediciones): Proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, con las mediciones realizadas haciendo variar las condiciones de medición.

Para que una expresión de la reproducibilidad sea válida, es necesario especificar las condiciones que se hacen variar, as condiciones que se hacen variar 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.

Excentricidad: La excentricidad de un instrumento se refiere a la propiedad de poder dar la misma lectura al aplicar la misma carga en diferentes posiciones sobre el receptor de carga (NOM-010-SCFI-1994).

Incertidumbre: Por definición, la incertidumbre significa duda, en el caso de metrología, significa la duda que se tiene de que un resultado sea el declarado, gráficamente se muestra a continuación.

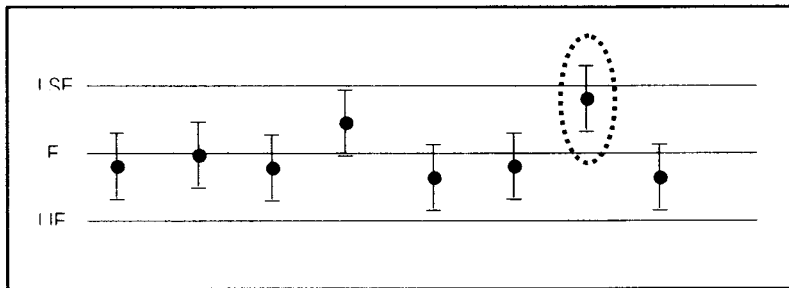


Figura 6. Valor de la medición e incertidumbre asociada (Martínez, 2002).

Los círculos muestran las mediciones realizadas, y las líneas indican el valor de la duda que tenemos sobre esas mediciones, por ejemplo: medimos 1 cm, y la duda (incertidumbre) que tenemos de que sea realmente 1 cm es de $\pm 0,05$ cm (líneas con borde).

3.1.6. Propiedades a determinar.

- a) Linealidad.
- b) Estabilidad.
- c) Repetibilidad.
- d) Reproducibilidad.
- e) Excentricidad.
- f) Incertidumbre.

3.1.7. Normas aplicables.

A continuación se realiza el análisis de las normas aplicables relacionadas con el área de metrología de masa, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.
- c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

3.1.7.1) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-010-SCFI-1994, INSTRUMENTOS DE MEDICION-INSTRUMENTOS PARA PESAR DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMATICO-REQUISITOS, TECNICOS Y METROLOGICOS.

La presente norma hace la referencia a las características que deben tener los instrumentos para pesar, tanto técnica como metrológicamente.

3. Definiciones.

3.1 Definiciones generales.

3.1.2 *Instrumento para pesar o para determinar masa:* Instrumento de medición que se utiliza para determinar la masa de un cuerpo usando la acción de la gravedad sobre ese cuerpo.

El instrumento puede usarse también para determinar otras cantidades, magnitudes, parámetros o características relacionadas con masa.

De acuerdo con el método de operación, un instrumento para pesar se clasifica en automático o no automático.

3.1.3 Instrumento para pesar no automático: Instrumento que requiere la intervención de un operador durante el proceso para pesar, por ejemplo para depositar o remover del receptor la carga a ser pesada y obtener el resultado.

3.1.5 Clasificaciones según el Alcance de Medición

3.1.5.1 Instrumento para pesar de bajo alcance de medición: Instrumento para pesar con alcance máximo igual o menor a 20 kg.

3.1.5.2 Instrumento para pesar de mediano alcance de medición: Instrumento para pesar con alcance máximo de más de 20 kg a 5 000 kg.

3.1.5.3 Instrumento para pesar de alto alcance de medición: Instrumento para pesar con alcance máximo o mayor de 5 000 kg.

“Estas definiciones son utilizadas en el formato con el cual se hace la verificación anual ante la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) de manera anual, el procedimiento para realizar dicho trámite se verá en la sección 3.1.7 inciso b”.

3.2 Construcción de un instrumento.

3.2.1 Dispositivos principales.

3.2.1.1 Receptor de carga: Parte del instrumento destinado a recibir la carga.

3.2.1.2 Dispositivo transmisor de carga: Parte del instrumento que sirve para transmitir la fuerza producida por la carga que actúa sobre el receptor de carga que la transmite al dispositivo medidor de carga.

3.2.1.3 *Dispositivo medidor de carga*: Parte del instrumento que sirve para medir la masa de la carga por medio de un dispositivo de equilibrio para balancear la fuerza transmitida a un dispositivo indicador o impresor.

3.2.1.3.3 *Transductor de esfuerzos*: Parte del instrumento que sirve para medir la masa a través de la conversión del esfuerzo mecánico en una señal de cualquier tipo.

3.2.3 *Dispositivo indicador*: Parte del dispositivo medidor de carga en donde se indica la lectura directa del resultado.

3.2.3.1 *Marca de la escala*: Es una línea u otra marca sobre un componente indicador correspondiente a un valor específico de la masa.

3.2.6 Dispositivos suplementarios.

3.2.6.1 *Dispositivo de nivel*: Dispositivo que permite nivelar un instrumento a su posición de referencia.

3.2.6.7 *Dispositivo auxiliar de ajuste*: Dispositivo que permite ajustar separadamente una o más partes principales de un instrumento.

3.2.6.9 *Dispositivo estabilizador de la indicación*: Dispositivo para mantener estable una indicación bajo condiciones determinadas.

3.3 Características metrológicas de los instrumentos.

3.3.1 Capacidad de medición.

3.3.1.1 *Alcance máximo [Máx]*: Capacidad máxima, sin tomar en cuenta la capacidad aditiva de tara.

3.3.1.2 *Alcance mínimo [Mín]*: Valor de la carga, abajo de la cual los resultados de la pesada pueden estar sujetos a un error relativo excesivo.

3.3.1.4 *Alcance de medición*: Intervalo entre el alcance máximo y el mínimo.

3.3.1.7 *Carga límite [Lím]*: Carga estática máxima que puede soportar el instrumento sin alteración de sus cualidades metrológicas.

3.3.2 Divisiones de la escala.

3.3.2.1 Espaciado de la escala (instrumento con indicación analógica): Distancia entre dos marcas de la escala consecutivas, medidas a lo largo de la base de la escala.

3.3.2.2 División real de la escala [d]: Valor expresado en unidades de masa de.

- La diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas consecutivas de la escala, para indicación analógica.
- La diferencia entre dos indicaciones consecutivas, para indicación digital.

3.3.2.3 División de verificación [e]: Valor, expresado en unidades de masa, usado para determinar la clase de exactitud del instrumento y sus errores máximos tolerados.

3.3.2.5 Número de divisiones de verificación [n] (instrumentos de un solo intervalo). Cociente del alcance máximo y la división de verificación:

$$n = \frac{\text{Máx}}{e}$$

Donde:

- n es el número de divisiones de verificación.
- e es la división de verificación.
- Máx es el alcance máximo de medición.

3.3.2.6 Instrumento con intervalos múltiples (multi-intervalo): Instrumento donde el alcance de medición se divide en intervalos de pesaje parciales, cada uno con división de escala diferente.

4. Principios que fundamentan las especificaciones.

4.1 Unidades de medida.

Las unidades de masa que deben ser usadas en un instrumento son la tonelada [t], el kilogramo [kg], el gramo [g], el miligramo [mg] y el microgramo [μ g]. Para aplicaciones especiales, por ejemplo para el comercio de piedras preciosas, puede utilizarse el quilate métrico [ct] (1 ct = 0,2 g) como unidad de medida.

4.2 Principios de los requisitos metrológicos.

Los requisitos se aplican a todos los instrumentos independientemente de sus principios de medición. Los instrumentos se clasifican de acuerdo a:

- La división de verificación, representativo de la exactitud absoluta.
- El número de divisiones de verificación, representativo de la exactitud relativa.

Los errores máximos tolerados son del orden de la magnitud de la división de verificación. Se especifica un alcance mínimo [Min] que indica que el uso del instrumento en cargas menores a [Min] es susceptible de dar errores relativos fuera de los errores máximos tolerados (EMT).

4.3 Principios de los requisitos técnicos.

Los requisitos generales se aplican a todos los tipos de instrumentos, mecánicos o electrónicos, y son modificados con requisitos adicionales para instrumentos usados para aplicaciones específicas o diseñados para una tecnología especial. Están destinados a especificar el funcionamiento, no el diseño de un instrumento, de tal manera que no se impida el progreso técnico.

En particular, las funciones de instrumentos electrónicos que no están cubiertas por esta norma, deben considerarse como funciones que no interfieren con los requisitos metroológicos.

4.4 Aplicación de los requisitos.

Los requisitos de esta norma se aplican a todos los dispositivos que realizan las funciones relevantes, ya sea que estén incorporados en un instrumento o fabricados en unidades separadas. Algunos ejemplos son:

- Dispositivo medidor de carga.
- Dispositivo indicador.
- Dispositivo impresor.
- Dispositivo predeterminador de tara.
- Dispositivo calculador de precio.

Asimismo, los dispositivos que no están incorporados dentro de un instrumento pueden, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley Federal de Metrología y Normalización, ser exentos de los requisitos por aplicaciones especiales.





4.5 Capacidad seccional en instrumentos de alto alcance de medición.

- a) Hasta 10 [t] de alcance máximo, la capacidad seccional debe diseñarse estructuralmente para resistir 100% del alcance máximo de medición y demostrarlo mediante memoria técnica del cálculo.
- b) Mayores a 10 [t] de alcance máximo, la capacidad seccional debe diseñarse estructuralmente para resistir 50% del alcance máximo de medición y demostrarlo mediante memoria técnica del cálculo.

5. Requisitos metrológicos.

5.1 Principios de la clasificación.

5.1.1 Clases de exactitud: Las clases de exactitud para instrumentos y sus símbolos son las siguientes.

Exactitud especial  Exactitud media 
Exactitud fina  Exactitud ordinaria 

Con excepción de las básculas de alto alcance que deben clasificarse en clase de exactitud media u ordinaria, para lo cual el fabricante debe de indicar $e = 2d$.

Pueden usarse óvalos de cualquier forma o dos líneas horizontales unidas por dos medios círculos, no deben usarse un círculo, porque de conformidad con el lineamiento internacional correspondiente, está reservado para clases de exactitud de instrumentos de medición cuyos errores máximos tolerados se expresan por un error relativo constante en %.

5.1.2 División de verificación: La división de verificación para los diferentes tipos de instrumentos se da en el Cuadro 9.

Cuadro 9. División de verificación

Tipo de instrumento	División de verificación
Graduado, sin dispositivo indicador auxiliar	$e = d$

Cuadro 9. División de verificación (continuación).

Graduado, con dispositivo indicador auxiliar	[e] es elegido por el fabricante de acuerdo con los requisitos indicados en 5.2 y 5.4.2 (no incluidos en el presente trabajo).
No graduado	[e] es elegido por el fabricante de acuerdo con los requisitos establecidos en 5.2 (no incluidos en el presente trabajo).

(Secretaría de Economía y Fomento Industrial, 1994).

Un instrumento con Máx 500 kg y $d = 200$ g tiene $n = 2\ 500$ divisiones, por lo que su exactitud es Clase Media III.

Otro con Máx 60 000 kg, $d=5$ kg tiene $n=12\ 000$ divisiones y clasificaría como instrumento Clase Fina II.

Para clasificar los instrumentos que por su número de divisiones queden en el límite entre una clase y otra, debe asignarse la clase inmediata inferior, o sea superior en número, a menos que el fabricante o importador solicite lo contrario.

5.3 Requisitos adicionales para un instrumento multi-intervalo (Ver ejemplo al inicio de la sección 5.3.2).

5.3.1 Alcance parcial de pesada: Cada alcance parcial de pesada (índice $i = 1,2,\dots$) se define por:

* No es normalmente posible probar y verificar un instrumento para el cual $e < 1$ mg, debido a las incertidumbres de las cargas de ensayo.

** Ver excepción en el punto 5.4.4.

Cuadro 10. Clasificación de los instrumentos

Clase de exactitud	División de verificación	Número de divisiones de verificación		Alcance mínimo Min (límite inferior)
		Minimo	Máximo	
Especial (i)	$0,001 g \leq e^*$	50 000**	---	100 e
Fina (ii)	$0,001 g \leq e \leq 0,05 g$	100	100 000	20 e
	$0,1 g \leq e$	5 000	100 000	50 e
Media (iii)	$0,1 g \leq e \leq 2 g$	100	10 000	20 e
	$5 g \leq e$	500	10 000	20 e
Ordinaria (iiii)	$5 g \leq e$	100	1 000	10 e

(Secretaría de Economía y Fomento Industrial, 1994).

Cuadro 11: Clasificación de los instrumentos para pesar

VALOR DE [e]	> 5 g	Clase de exactitud Ordinaria (iiii) Min 10 e	Media y ordinaria	Clase de Exactitud Media (iii) Min 10 e	Fina y media				
	5 g				Clase de Fina exactitud (ii) Min 50 e	Especial y Fina		Clase de exactitud Especial (i)	
	2 g								
	100 mg	Clase de Exactitud Media (iii) Min 20 e			Fina y Media				
	50 mg								
	1 mg	Clase de exactitud (ii) Min 20 e					Especial y Fina		
	100	500	1000	5000	10000	50000	100000		
	Número de divisiones mínimas n								

(Secretaría de Economía y Fomento Industrial, 1994).

- Subdivisión de verificación e_i , $e_{i+1} > e_i$
- Su alcance máximo $Máx_i$
- Su alcance mínimo $Mín_i = Máx_{i-1}$ (para $i = 1$ el alcance mínimo es $Mín_i = Mín$)

El número de divisiones de verificación n_i para cada alcance parcial es igual a:

$$n_i = \frac{Máx_i}{e_i}$$

5.3.2 Clases de exactitud: e_i y n_i en cada intervalo parcial de pesada y $Mín_i$ deben cumplir con los requisitos dados en el Cuadro 10 de acuerdo a la clase de exactitud del instrumento.

Ejemplo De un instrumento multi-intervalo:

Alcance máximo $Máx = 15$ kg clase (m)

Divisiones de verificación $e_1 = 1$ g de 0 a 2 kg

$e_2 = 2$ g de 2 kg a 5 kg

$e_3 = 10$ g de 5 kg a 15 kg

Este instrumento tiene un Alcance máximo y un Alcance mínimo desde $Mín = 20$ g a 15 kg

Los alcances parciales son:

$Mín_1 = 20$ g, $Máx_1 = 2$ kg, $e_1 = 1$ g, $n_1 = 2\ 000$;

$Mín_2 = 2$ kg, $Máx_2 = 5$ kg, $e_2 = 2$ g, $n_2 = 2\ 500$;

$Mín_3 = 5$ kg, $Máx_3 = Máx = 15$ kg, $e_3 = 10$ g, $n_3 = 1\ 500$.

Los errores máximos tolerados [EMT] en verificación inicial son: (véase 5.1)

Para $m = 400 \text{ g} = 400 e_1$: EMT = 0,5 g

Para $m = 1\,600 \text{ g} = 1\,600 e_1$: EMT = 1,0 g

Para $m = 2\,100 \text{ g} = 1\,050 e_2$: EMT = 2,0 g


Para $m = 4\,250 \text{ g} = 1\,125 e_2$: EMT = 3,0 g

Para $m = 5\,100 \text{ g} = 510 e_3$: EMT = 10,0 g

Para $m = 15\,000 \text{ g} = 1\,500 e_3$: EMT = 10,0 g

Cuando la variación de la indicación debido a ciertos factores de influencia se limita a una fracción o múltiplo de [e]; en este caso, en un instrumento multi-intervalo, [e], debe tomarse de acuerdo con la carga aplicada; en particular, a, o cerca de cero $e = e_1$.

5.4.3 Alcance mínimo: El alcance mínimo del instrumento se determina de conformidad con los requisitos del Cuadro 10. Asimismo en la última columna de este cuadro, la división de verificación [e] se reemplaza por la división real [d].

5.4.4 Número mínimo de divisiones de verificación: Para un instrumento de clase  con $d < 0,1 \text{ mg}$, n puede ser menor de 50 000.

5.5 Errores máximos tolerables.

5.5.1 Errores máximos tolerables en verificación inicial: Los errores máximos tolerables para cargas ascendentes o descendentes se dan en la Cuadro 12 y Figura 7.

5.5.2 Valores de los errores máximos tolerables en servicio: Los errores máximos tolerables en servicio deben ser del doble de los errores en verificación inicial.

5.5.3 Reglas básicas relacionadas con la determinación de los errores.

5.5.3.1 Factores de influencia: Los errores deben determinarse bajo condiciones nominalmente constantes variando sólo un factor de influencia, cada uno de los otros factores debe estar fijado a su valor nominal o a un valor dado dentro de las condiciones de prueba asignadas.

5.5.3.2 Eliminación del error de redondeo: El error de redondeo incluido en cualquier indicación digital debe eliminarse si la verdadera división es mayor de 0,2 [e].

5.5.3.3 Errores máximos tolerables para valores netos: Los errores máximos tolerables se aplican al valor neto para cada carga de tara posible, excepto valores de tara predeterminados.

5.5.3.4 Dispositivo pesador de tara: Los errores máximos tolerables para un dispositivo pesador de tara son los mismos para cualquier valor de la tara, que los del instrumento, para el mismo valor de la carga.

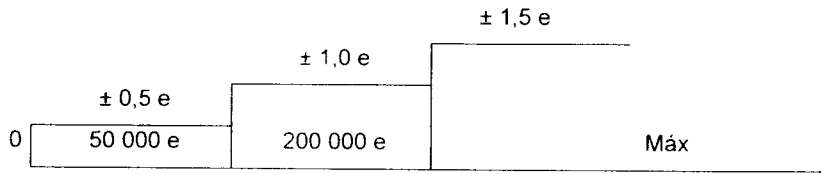
Cuadro 12. Errores máximos tolerados en verificación inicial

Errores máximos tolerados en verificación inicial	Para carga m expresados en divisiones de verificación (e)			
	Clase (i)	Clase (ii)	Clase (iii)	Clase (iiii)
$\pm 0,5 e$	$0 \leq m \leq 50\,000$	$0 \leq m \leq 5\,000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1 e$	$50\,000 < m \leq 200\,000$	$5\,000 < m \leq 200\,000$	$500 < m \leq 2\,000$	$50 < m \leq 200$
$\pm 1,5 e$	$200\,000 < m$	$20\,000 < m \leq 100\,000$	$2\,000 < m \leq 10\,000$	$200 < m \leq 1\,000$

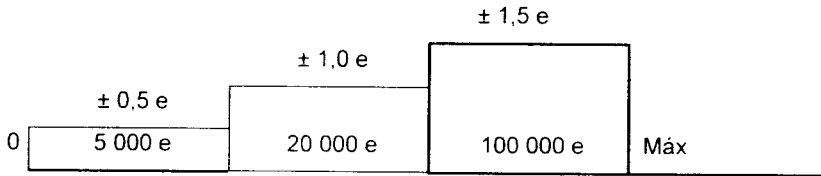
(Secretaría de Economía y Fomento Industrial, 1994).

CLASE DE EXACTITUD

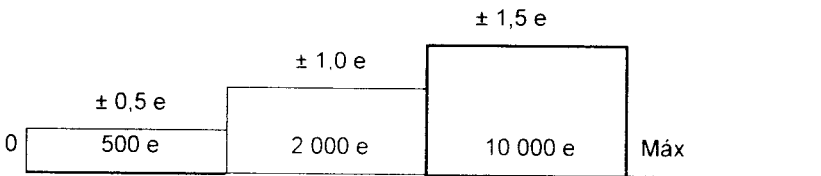
ESPECIAL (I)



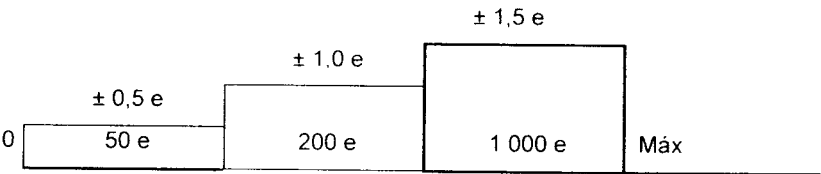
FINA (II)



MEDIA (III)



ORDINARIA (III)



Máx es el alcance máximo de medición.

e es la división de verificación.

d es la división mínima.

Figura 7. Errores máximos tolerados de los instrumentos para pesar, en verificación inicial

(Secretaría de Economía y Fomento Industrial, 1994).

5.6 Diferencias toleradas entre resultados: Independientemente de la variación que entre resultados se permita, el error de cualquier pesada simple no debe exceder por sí misma el error máximo tolerable para la carga dada.

“En ésta sección se expresan los valores máximos de evaluación permitidos para cada una de las pruebas realizadas, lo cual debería de incluirse en cada uno de los reportes de trabajo generados para saber si el equipo cumple o no con lo requeridos dentro del sistema “.

5.6.1 Repetibilidad: La diferencia entre los resultados de varias pesadas de la misma carga, no debe ser mayor que el valor absoluto del error máximo tolerable del instrumento para la carga dada.

5.6.2 Excentricidad: Las indicaciones para diferentes posiciones de una carga deben permanecer dentro de los errores máximos tolerables.

5.6.2.1 A menos que se indique otra cosa, se debe aplicar una carga correspondiente a $1/3$ de la suma del alcance máximo y el correspondiente efecto máximo aditivo de tara.

5.6.2.2 En un instrumento con un receptor de carga que tenga n puntos de soporte, con $n > 4$, se debe aplicar la fracción $1/(n-1)$ de la suma del alcance máximo y el efecto máximo aditivo de tara a cada punto de soporte.

Solución aceptable: Se podrá realizar esta prueba sin considerar el efecto máximo aditivo de tara.

Observaciones:

1) Para instrumentos de alto alcance de medición se debe aplicar cuando menos una carga equivalente al 10% de pesas patrón del alcance máximo.

2) Esta prueba aplica únicamente para instrumentos donde el receptor de carga es una plataforma.

5.7 Patrones de verificación.

5.7.1 Pesas: Las pesas o masas patrón utilizadas en la verificación de un instrumento no deben tener un error mayor a $1/3$ del error máximo tolerado del instrumento para la carga aplicada.

5.7.2 Dispositivo auxiliar de ajuste: Cuando un instrumento tiene un dispositivo auxiliar de verificación, o cuando se verifica con un dispositivo auxiliar separado, los errores máximos tolerados de este dispositivo deben ser de $1/3$ de los errores máximos tolerados del instrumento para la carga aplicada. Si se usan pesas, el efecto de sus errores no debe exceder $1/5$ de los errores máximos tolerados del instrumento a ser verificado para la misma carga.

5.7.3 Sustitución de pesas patrón: Cuando se prueban instrumentos con [Máx] mayor a 1 tonelada, en lugar de pesas patrón puede ser usado cualquier carga constante, de tal forma que las pesas patrón sean como mínimo 1 tonelada o el 50% de [Máx].

En lugar del 50% del [Máx], la división de pesas patrón puede ser reducida a:

35% del [Máx] si el error de repetibilidad no es mayor de 0,3 [e]

20% del [Máx] si el error de repetibilidad no es mayor que 0,2 [e]

El error de repetibilidad puede ser determinado con una carga alrededor del 50% del [Máx], colocando tres veces las cargas en el receptor.

5.9 Variaciones debido a magnitudes de influencia y al tiempo.

5.9.1 Desnivelamiento.

5.9.1.1 Desnivelamiento sin carga (instrumento de clases III y III): Para un instrumento susceptible a ser desnivelado, el instrumento sin carga, previamente ajustado a cero en su posición de referencia (no inclinado), no debe mostrar una variación en su indicación, mayor a dos veces la división de verificación bajo los efectos de un desnivelamiento longitudinal o transversal igual a 1/1000.

5.9.1.2 Desnivelamiento con carga (instrumentos de clases II , III y III): Para un instrumento susceptible de ser desnivelado, previamente ajustado a cero en la posición inclinada, sin carga, la indicación no debe variar por más de una división de verificación bajo los efectos de desnivelamiento longitudinal o transversal igual a:

2/1000 para todos los instrumentos.

5.9.2 Temperatura.

5.9.2.1 Límites de temperatura reglamentarios.: Si no se declara una temperatura particular en los datos descriptivos de un instrumento, dicho instrumento debe de mantener sus propiedades metrológicas dentro del intervalo de 263 K a 313 K (de -10 °C a 40 °C).

5.9.2.2 Límites especiales de temperatura: Un instrumento que tiene declarados límites particulares de temperatura de trabajo en sus datos descriptivos, debe cumplir con los requisitos metrológicos dentro de tales límites.

Los límites pueden elegirse de acuerdo a la aplicación del instrumento.

Los intervalos dentro de los cuales deben estar, deben ser al menos igual a:

278 K (5 °C) para instrumentos de clase (i).

288 K (15 °C) para instrumentos de clase (ii).

303 K (30 °C) para instrumentos de clase (iii) y (iiii).

5.9.2.3 Efecto de temperatura sobre la indicación sin carga: La indicación a cero o cerca de cero no debe variar por más de una división de verificación [e] para una diferencia en la temperatura ambiente de 274 K (1 °C) para instrumentos de clase I y 278 K (5 °C) para las otras clases.

5.9.3 Alimentación de energía eléctrica principal: Un instrumento operado con una fuente de energía eléctrica principal debe cumplir con los requisitos metrológicos si la alimentación varía:

- En tensión de – 10 % a + 10 % del valor marcado sobre el instrumento.
- En frecuencia de –2 % a +2 % del valor marcado sobre el instrumento si se usa corriente alterna.

5.9.4 Tiempo de prueba: Bajo condiciones ambientales razonablemente constantes, un instrumento de clase (ii), (iii) o (iiii), debe cumplir con los requisitos siguientes:

5.9.4.1 Para toda carga mantenida en un instrumento, la diferencia entre la indicación obtenida inmediatamente después de colocar la carga y cualquier indicación obtenida durante los siguientes 30 min, no debe exceder de 1 [e].

5.9.4.2 La diferencia al retornar a cero tan pronto como la indicación se ha estabilizado después de remover cualquier carga que ha permanecido sobre el instrumento por 30 min, no debe exceder 1 [e].

Para un instrumento multi-intervalo, $e = e_i$.

5.9.5 Otras magnitudes de influencia y restricciones: Los instrumentos deben cumplir con los requisitos de los capítulos 5 y 6 aún cuando ocurran otras magnitudes de influencia o restricciones tales como:

- Vibraciones.
- Presión barométrica y corrientes de aire.
- Perturbaciones y restricciones mecánicas.

Siempre y cuando hayan sido diseñados para operar correctamente en presencia de estas influencias, o por tener protección contra su acción.

Los instrumentos que no especifiquen estos requisitos por el fabricante, no deben ser sometidos a factores de influencia no especificados.

5.10 Exactitud.

Para instrumentos de bajo y mediano alcance de medición se debe efectuar esta prueba, debiendo aplicar lo establecido en el inciso 6.4.2 de la NMX-CH-9.

Para instrumentos de alto alcance de medición se debe utilizar por lo menos el 10% del alcance máximo de medición en pesas patrón. Esto aplica únicamente para instrumentos donde el receptor de carga es una plataforma. Se puede utilizar material de sustitución después del 10% del [Máx].

3.1.7.2) LISTA DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN CUYA VERIFICACIÓN INICIAL, PERIÓDICA O EXTRAORDINARIA ES OBLIGATORIA, ASÍ COMO LAS REGLAS PARA EFECTUARLA.

“Debido a las repercusiones legales y técnicas que puede conllevar el no cumplir ésta verificación ante PROFECO para las organizaciones, se coloca en

tipo de letra negrita y/o subrayado los textos a cumplir de acuerdo al marco legal vigente hasta el momento de la elaboración del presente trabajo”.

Los instrumentos de medición cuya verificación inicial, periódica o extraordinaria es obligatoria, son los siguientes:

1. Instrumentos para pesar de bajo, mediano y alto alcance de medición.
2. Relojes registradores de tiempo.
3. Entre otros.

Para los efectos de la presente lista, se entiende por:

- *Ajuste*: El conjunto de operaciones realizadas durante la verificación, por una autoridad competente o las unidades de verificación acreditadas y aprobadas, destinadas a acondicionar un instrumento de medición a un nivel de funcionamiento y exactitud de cero error o, de no ser ello posible, en el punto más próximo a cero dentro de las tolerancias de exactitud establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables, mediante los mecanismos predispuestos para ello.

- *Dictamen de verificación*: El documento que consigna los resultados de la verificación, expedido por una unidad de verificación acreditada y aprobada o por la autoridad competente.

- *Instrumentos de medición*: Los medios técnicos por los cuales se efectúan las mediciones y que comprenden las medidas materializadas y los aparatos medidores, que sirvan de base para transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio.

- *Instrumento verificado*: El instrumento que ha sido verificado y, en su caso, ajustado, conforme a lo establecido en las reglas a que se refiere la presente Lista.

- *Ley*: La Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

- *Profeco*: La Procuraduría Federal del Consumidor.

- *Secretaría*: La Secretaría de Economía.

- *Unidades de verificación*: Las personas morales que cuentan con la acreditación

- *Usuario*: La persona física o moral que utiliza instrumentos de medición que sirvan de base para transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio.

“En el caso de la organización a la cual se está haciendo referencia en el presente trabajo, aplica el término arriba resaltado, debido a que los instrumentos para pesar pueden utilizarse para la recepción de Materias primas a utilizarse durante los procesos de fabricación de los productos, además de utilizarse para controlar las cantidades de ingredientes”.

- *Verificación*: La constatación ocular, o comprobación a través de muestreo, medición, pruebas de laboratorio o exámen de documentos que se realiza para evaluar la conformidad en un momento determinado. Comprenderá la constatación de las características metrológicas y de operación del instrumento de medición dentro de las tolerancias y demás requisitos establecidos en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas y, en su caso, el ajuste de los mismos cuando cuenten con los dispositivos adecuados para ello.

La verificación se debe realizar en el equipo, vehículo o lugar en donde se encuentre instalado el instrumento de medición y sea utilizado en una transacción comercial o para determinar el precio de un bien o tarifa de un servicio.

- *Verificación extraordinaria*: La verificación que no siendo inicial o periódica, se realiza respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de los instrumentos de medición para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas

aplicables, cuando lo soliciten los usuarios de los mismos, cuando pierdan su condición de "instrumento verificado" o cuando así lo determine la autoridad competente.

- *Verificación inicial:* La verificación que, por primera ocasión y antes de su utilización para transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio, debe realizarse respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de los instrumentos de medición, para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables, siendo responsabilidad de los usuarios de los mismos.

- *Verificación periódica:* La verificación que, una vez concluida la vigencia de la inicial, se debe realizar en los intervalos de tiempo que determine la Secretaría, respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de los instrumentos de medición para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas aplicables, siendo responsabilidad de los usuarios de los mismos.

Reglas generales.

1. Es obligatoria la verificación de los instrumentos de medición a que se refiere la presente Lista que se utilicen en transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio en toda la República Mexicana, conforme a lo dispuesto en estas reglas.

La verificación inicial, periódica o extraordinaria y, en su caso, el ajuste de los instrumentos de medición, se llevará a cabo únicamente por unidades de verificación acreditadas y aprobadas o por la PROFECO, ante quienes los usuarios deberán presentar la solicitud correspondiente.

La verificación de los instrumentos de medición referidos, deberá realizarse una vez al año.

Los propietarios de los demás instrumentos de medición a que se refiere la presente lista, deberán presentar su solicitud de verificación, ante las Unidades de verificación acreditadas y aprobadas, o bien ante la PROFECO, del 1° de enero al 31 de mayo de cada año.

“Para que el trámite de verificación periódica sea anual, podrá establecerse un periodo de tiempo dentro del cual se realicen las actividades pertinentes, y al llegar el límite de ese plazo establecido, se cuente ya con instrumentos verificados”.

2. La utilización de cualquier sistema de control a distancia en instrumentos de medición, que no cuenten con aprobación de la Secretaría, independientemente de las acciones que conforme a derecho procedan, dará lugar a la inmovilización del instrumento de que se trate y a la colocación de los sellos a que se refiere la regla décima segunda.

La utilización de cualquier sistema de control a distancia en instrumentos de medición, que contando con aprobación de la Secretaría incorporen partes o mecanismos diferentes al modelo o prototipo se esté utilizando en transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio, dará lugar a la inmovilización del instrumento de que se trate y a la colocación de los sellos a que se refiere la Regla Décima Segunda, independientemente de que la Secretaría lleve a cabo las acciones o procedimientos que correspondan.

3. Para la verificación de instrumentos para pesar, se debe constatar que los mismos cumplan con la exactitud y características metrológicas establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-SCFI-1994, Instrumentos de medición- Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático-Requisitos técnicos y metrológicos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 9 de junio de 1999, o en la que en su momento la sustituya.

10. Una vez efectuada la verificación, si los resultados demuestran que el instrumento de medición funciona adecuadamente y con la exactitud que establece la norma oficial mexicana aplicable, la unidad de verificación o la PROFECO, deberá expedir un dictamen de verificación donde consten los resultados de la misma y colocar un holograma en el instrumento de medición que lo acredite, con la leyenda: "INSTRUMENTO VERIFICADO" y, en su caso, un dispositivo de inviolabilidad en los mecanismos de ajuste del propio instrumento de medición. Las unidades de verificación deberán, además, adherir calcomanía, etiqueta o distintivo de su empresa.

Los hologramas a que se refiere el párrafo anterior, serán diseñados, elaborados, asignados y controlados por la PROFECO, quien los asignará a las unidades de verificación conforme los soliciten. Para tal efecto, las unidades de verificación presentarán ante la PROFECO, en los meses de diciembre, marzo, junio y septiembre de cada año, la solicitud de entrega de los hologramas que requerirán para el primer, segundo, tercer y cuarto trimestres, respectivamente, con base en sus propias proyecciones. Las unidades de verificación deberán reportar a la PROFECO, por medios electrónicos, un listado en el que se especifique el destino de cada holograma, describiendo el instrumento de medición verificado, su alcance, el nombre del propietario del instrumento, el domicilio en que el instrumento se encuentra ubicado y los resultados de la verificación, con el fin de constatar los resultados de las verificaciones y levantar un censo confiable sobre los instrumentos de medición sujetos a verificación en el país.

No podrán utilizarse hologramas correspondientes a un año distinto en el que se lleve a cabo la verificación.

12. Cuando los resultados de la verificación determinen que el instrumento de medición no cumple con las características metrológicas y condiciones de funcionamiento asignadas que establece la Norma Oficial Mexicana aplicable, se procederá a su ajuste. Cuando no sea posible ajustar el instrumento de medición,

se procederá a adherir en forma ostensible y en lugar visible, una o varias etiquetas, calcomanías o sellos con la leyenda "Instrumento de medición no apto para transacciones comerciales", de tal manera que no sea posible su utilización.

En los casos anteriores, se indicará al usuario que deberá proceder a la reparación del instrumento de medición de que se trate o, en su caso, al retiro de los sistemas de control a distancia a que se refiere la regla segunda, y una vez hecha la reparación o el retiro, podrá acudir a la unidad de verificación o a la PROFECO, según sea quien haya colocado la etiqueta, calcomanía o sello indicado, para solicitar una nueva verificación.

La etiqueta, calcomanía o sello a que se refiere la presente Regla, sólo podrán ser retirados por quien realizó la verificación o por la autoridad competente, después de comprobar mediante una verificación extraordinaria que el instrumento de medición cumple con la exactitud y características metrológicas y condiciones de funcionamiento asignadas que establece la norma oficial mexicana aplicable.

Las unidades de verificación o la PROFECO, no podrán prestar los servicios de reparación de instrumentos de medición.

13. La condición de instrumento verificado se pierde cuando:

- a) Se destruya, remueva, viole o altere de cualquier forma el holograma correspondiente a la verificación o el dispositivo de inviolabilidad, aun cuando esto hubiere ocurrido por caso fortuito o por reparación del instrumento de medición.

- b) Se alteren por cualquier medio los mecanismos de funcionamiento y uso del instrumento de medición en detrimento de sus características metrológicas y condiciones de funcionamiento asignadas.

- c) ...Cuando se pierda la condición de instrumento de medición verificado, su propietario o quien lo utilice deberá solicitar una verificación extraordinaria.

14. La PROFECO cobrará por la prestación de sus servicios conforme a las tarifas aprobadas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para cada tipo de instrumento de medición, mismas que deberán exhibirse en forma visible y ostensible al público.

b) Los nombres y fotografías de los verificadores autorizados en los términos de la acreditación y aprobación correspondiente.

c) La tarifa aplicable por los servicios que presta.

16. Los usuarios podrán denunciar cualquier irregularidad que se presente durante la verificación y exteriorizar sus quejas sobre el servicio que les sea prestado ante la Dirección General de Normas, sita en avenida Puente de Tecamachalco número 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, código postal 53950, Naucalpan de Juárez, Estado de México.

3.2. Metrología de temperatura. (3, 19, 34, 35, 38, 40)

3.2.1. Definición.

La termometría es una rama de la metrología que se ocupa de los métodos y medios para medir la temperatura, cuya misión consiste en:

- Asegurarle la unidad de mediciones de la temperatura.
- Establecer las escalas de temperatura.
- Crear patrones.
- Elaborar metodologías de graduación.
- La verificación de los medios de medida de la temperatura.

3.2.2. Principios de temperatura.

La sensación fisiológica de calor y frío es el origen del concepto primario de temperatura. Para un gas ideal la temperatura se mide por la expresión $T = p V / n R$, pero el verdadero concepto de la temperatura se alcanza con la teoría molecular, según la cual esta magnitud mide la energía cinética media de las moléculas de una sustancia o mediante la mecánica estadística que la define como la sensibilidad de la energía a los cambios de entropía a volumen constante, $T = \delta U / \delta S$. No obstante, el principio cero de la termodinámica permite definir de un modo operacional la temperatura de un sistema sin hacer hipótesis sobre la estructura de la materia.

Todas las sustancias están compuestas de pequeñas partículas denominadas moléculas, que se encuentran en continuo movimiento. Cuanto más rápido es el movimiento de las moléculas, mayor es la temperatura del cuerpo. Por lo tanto podemos definir a la temperatura como el grado de agitación térmica de las moléculas. La temperatura no puede medirse directamente. La variación de la temperatura puede ser determinada por la variación de otras propiedades físicas de los cuerpos, como son:

- Volúmen.
- Presión.
- Resistencia eléctrica.
- Fuerza electromotriz.
- Intensidad de radiación.

Relacionados con ella de manera unívoca. Cualquier método aplicado para la medición de temperatura está relacionado con la determinación de la escala de temperaturas, a continuación, se presentan tanto las diferentes escalas así como la relación entre éstas.

a) Escalas de temperatura.

Como ya se ha indicado, las variaciones de temperatura de un cuerpo van casi siempre acompañadas de una variación de las magnitudes observables o macroscópicas que caracterizan el estado de dicho cuerpo. Así ocurre, por ejemplo, con la longitud de una columna líquida o de un alambre, la resistencia eléctrica de un metal, la fuerza electromotriz de un par termoelectrónico, la presión (o el volumen) de un gas a volumen (o presión) constante, el poder emisor de un filamento incandescente, el índice de refracción de una sustancia, etc.

Las propiedades físicas de los materiales dependen de la temperatura a la que se encuentren y, por tanto, siempre es posible definir una escala de temperaturas basándose en la variación térmica de una de las características de un determinado cuerpo elegido como patrón y a la cual referiríamos todas las demás. Sin embargo esta escala sería totalmente arbitraria y no permitiría obtener de la temperatura todo su significado intrínseco. Por tanto, es necesario utilizar las leyes de la termodinámica para definir una escala de temperaturas de carácter universal.

Si se expresa ésta en una escala termodinámica o absoluta, se encuentra que $P V = R T$ siendo R la constante de los gases perfectos, cuyo valor no depende más que de la unidad en que se exprese la temperatura. Por lo tanto, para definir una escala será suficiente definir el valor numérico que se asocia a un determinado fenómeno fácilmente reproducible (por ejemplo la temperatura en que se encuentran en equilibrio las tres fases del agua, sólido, líquido y vapor, es decir, el punto triple del agua).

En el Cuadro 13, se muestran las equivalencias entre las diferentes escalas termométricas que han sido utilizadas en diversos momentos del desarrollo científico.

Cuadro 13. Equivalencia entre escalas termométricas

Referencias	Kelvin K	Celsius °C	Rankine °R	Fahrenheit °F
Cero absoluto	0	-273,15	0	-459,67
Congelación del agua, P = 1 atm	273,15	0	491,67	32
Punto triple del agua	273,16	0,01	491,69	32,018
Ebullición del agua, P = 1 atm	373,15	100	671,67	212

(Carrascal; Terán, 1998).

La máquina térmica reversible, lo mismo que el gas perfecto, son conceptos ideales y como tales no pueden dar lugar a ninguna realización experimental de dispositivos termométricos. Sin embargo, las características del gas ideal han sido obtenidas por extrapolación de las de los gases reales a baja presión, y, por tanto, es posible la utilización de termómetros basados en las variaciones de presión y volumen de un gas. Sin embargo la utilización de un termómetro de gas requiere unos conocimientos previos y sobre todo un uso delicado, lo que hace que sea poco frecuente y se encuentre relegada su utilización a los laboratorios de investigación. Sin embargo, ha sido utilizado para determinar de forma precisa la temperatura de diversos puntos termométricos con los que se pueden calibrar otros dispositivos de utilización más sencilla.

a.1 Escala Celsius.

La escala Celsius está relacionada con la escala termodinámica (o centígrada), de cómodo empleo porque evita cifras complicadas a las temperaturas normales. En esta escala el punto triple del agua es 0,01 °C. La magnitud de un Kelvin es la misma que la del grado de la escala centígrada (o Celsius); el cero absoluto de esta escala es ~ -273,15 °C.

Como el cero absoluto no se puede alcanzar en la práctica, hay que determinar otros puntos fijos en la definición de una escala de temperaturas práctica. Además, los termómetros tienen diferentes gamas de temperaturas, en las que se

puede emplear eficientemente, siendo necesaria toda una serie de puntos fijos para calibrarlas. La escala práctica internacional de temperaturas tiene 11 puntos fijos principales, y se extiende desde $-259,34\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto triple del hidrógeno (temperatura de coexistencia en equilibrio de hidrógeno sólido, líquido y gaseoso) hasta $1\ 064,83\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto de fusión del oro puro.

a.2 Escala Fahrenheit.

La escala Fahrenheit se emplea todavía en algunos países, aunque no a nivel científico. En esta escala el punto de congelación del agua está en los $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ y el de ebullición en $212\text{ }^{\circ}\text{F}$. Su unidad de temperatura, el grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) es igual a $5/9$ de un grado Celsius o Kelvin.

a.3 Escala de Reaumur.

El termómetro original de Reaumur se parecía muy poco al actual. No era de mercurio, sino de alcohol. Reaumur graduó su escala partiendo de un solo punto de referencia constante, o sea, de la temperatura de fusión del hielo, marcado con el número 1 000, y utilizando alcohol cuyo coeficiente de dilatación térmica era igual a 0,0008.

El inventor estableció que la división de un grado de la escala termométrica ha de equivaler al aumento del volumen de alcohol en una milésima parte. En este caso el punto de ebullición del agua debería estar 80 grados más alto que el punto de fusión del hielo y correspondería a 1 080 grados. Posteriormente señaló el punto de fusión del hielo con 0, por lo cual el de ebullición del agua fue designado (y lo es hasta hoy día) con 80 grados.

a.4 Escala Kelvin.

Existen varias escalas de temperatura, pero la que se utiliza en física es la escala termodinámica absoluta (o de Kelvin), basada en la cantidad de energía

térmica que poseen los cuerpos. Tiene dos puntos fijos, que son valores dados a temperaturas precisas, en las que se producen efectos determinados; unas divisiones existentes entre esos puntos fijos (los grados) señalan los intervalos de la escala. El más bajo es el cero absoluto, temperatura a la que la molécula tiene una energía térmica igual a cero. La unidad de temperatura es el Kelvin (K), siendo el cero absoluto (0 K). El punto fijo superior es el punto triple del agua, una temperatura única en la que pueden coexistir en equilibrio hielo, agua líquida y vapor de agua. Se le ha dado el valor de 273,16 K.

Según la mecánica estadística la temperatura termodinámica es estrictamente proporcional a la energía contenida en un volumen dado de un gas perfecto. La temperatura es cero cuando la energía es cero y se asigna por convenio el valor 273,16 K a la temperatura del punto triple del agua.

b. Escala Internacional de Temperaturas.

Para poder expresar las leyes de la termodinámica, fue creada una escala basada en los fenómenos de cambio de estado físico de sustancias puras, que ocurren en condiciones únicas de temperatura y presión. Son los denominados puntos fijos de temperatura.

Esta escala, denominada Escala Práctica Internacional de Temperatura (IPST) fue inicialmente presentada en 1927. Luego de sucesivas modificaciones, en 1968, una nueva escala entra en vigencia (IPST-68). El cambio de estado de las sustancias puras (fusión, ebullición), es normalmente desarrollado sin alteración de la temperatura. Todo el calor recibido o cedido por la sustancia, es utilizado por el mecanismo de cambio de estado. Los puntos fijos utilizados por la IPST-68 son dados en el siguiente cuadro.

Cuadro 14. Puntos fijos de temperatura de la IPTS-68

Estado de Equilibrio	Temperatura (°C)
Punto triple del hidrógeno	-259,34
Punto de ebullición del hidrógeno	-252,87
Punto de ebullición del neón	-246,048
Punto triple del oxígeno	-218,769
Punto de ebullición del oxígeno	-182,952
Punto triple del agua	0,01
Punto de ebullición del agua	100
Punto de Solidificación del Zinc	419,58
Punto de Solidificación de la Plata	961,83
Punto de Solidificación del Oro	1 064,83

(Vignoni, 2000).

El punto triple es el punto en el cual las fases sólida, líquida y gaseosa se encuentran en equilibrio.

La hoy existente Escala Internacional de Temperatura (ITS-90), establece algunas variaciones respecto de algunos puntos fijos anteriores.

Cuadro 15. Puntos fijos de temperatura de la ITS-90

Puntos Fijos	IPTS-68	ITS-90
Ebullición del oxígeno	-182,952	-182,954
Punto triple del agua	0,01	0,010
Solidificación del estaño	231,958	231,928
Solidificación del Zinc	419,58	419,527
Solidificación de la plata	961,83	961,780
Solidificación del oro	1 064,83	1 084,180

(Vignoni, 2000).

3.2.3. Instrumentos.

Existen varios tipos de termómetros, según el margen de temperaturas a estudiar o la exactitud exigida. Como ya hemos señalado, todos se basan en una propiedad termométrica de alguna sustancia: que cambie continuamente con la temperatura (como la longitud de una columna de líquido o la presión de un volumen constante de gas).

a) Termómetros de líquido: Los termómetros de líquido encerrado en vidrio son, ciertamente, los más familiares, el de mercurio se emplea mucho para tomar la temperatura de las personas, y, para medir la de interiores suelen emplearse los de alcohol coloreado en tubo de vidrio.

Los de mercurio pueden funcionar en la gama que va de $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto de congelación del mercurio) a $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ (su punto de ebullición), con la ventaja de ser portátiles y permitir una lectura directa. No son, desde luego, muy exactos para fines científicos.

El termómetro de alcohol coloreado es también portátil, pero todavía menos exacto; sin embargo, presta servicios cuando más que nada importa su cómodo empleo. Tiene la ventaja de registrar temperaturas desde $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto de congelación del etanol, el alcohol empleado en él) hasta $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ (su punto de ebullición), cubriendo por lo tanto toda la gama de temperaturas que hallamos normalmente en nuestro entorno.

b) Termómetros de gas: El termómetro de gas de volumen constante es muy exacto, y tiene un margen de aplicación extraordinario, desde $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1\ 477\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pero es más complicado, por lo que se utiliza más bien como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros.

El termómetro de gas a volumen constante se compone de una ampolla con gas (helio, hidrógeno o nitrógeno, según la gama de temperaturas deseada) y un

manómetro medidor de la presión. Se pone la ampolla del gas en el ambiente cuya temperatura hay que medir, y se ajusta entonces la columna de mercurio (manómetro) que está en conexión con la ampolla, para darle un volumen fijo al gas de la ampolla.

La altura de la columna de mercurio indica la presión del gas. A partir de ella se puede calcular la temperatura.

En un termómetro de gas de volumen constante el volumen del hidrógeno que hay en una ampolla metálica se mantiene constante levantando o bajando un depósito. La altura del mercurio del barómetro se ajusta entonces hasta que toca justo el indicador superior: la diferencia de los niveles (h) indica entonces la presión del gas y a través de esto, su temperatura.

c) Termómetros de resistencia de platino: El termómetro de resistencia de platino depende de la variación de la resistencia a la temperatura de una espiral de alambre de platino. Es el termómetro más preciso dentro de la gama de -259°C a 631°C , y se puede emplear para medir temperaturas hasta de $1\ 127^{\circ}\text{C}$. Pero reacciona despacio a los cambios de temperatura, debido a su gran capacidad térmica y baja conductividad, por lo que se emplea sobre todo para medir temperaturas fijas.

d) Par térmico: Un par térmico (pila termoeléctrica o termopar) consta de dos cables de metales diferentes unidos, que producen un voltaje que varía con la temperatura de la conexión. Se emplean diferentes pares de metales para las distintas gamas de temperatura, siendo muy amplio el margen de conjunto: desde -248°C hasta $1\ 477^{\circ}\text{C}$. El par térmico es el termómetro más preciso en la gama de -631°C a $1\ 064^{\circ}\text{C}$ y, como es muy pequeño, puede responder rápidamente a los cambios de temperatura.

Tipos y características de los termopares.

Existen varias combinaciones de metales conductores que son utilizados como termopares, desde los más corrientes de uso industrial hasta los más sofisticados para usos especiales de laboratorio.

Cuadro 16. Tipos de termopares

Termopares Básico					
Tipo	Norma-tividad	Composición	Intervalo de trabajo (° C)	f.e.m. (mV)	Aplicaciones
T	NSI	Cobre y constantan	- 200 a 370	- 5,603 a +19,027	Criometría, refrigeración, investigaciones agronómicas y ambientales, química y petroquímica.
J	ANSI	Hierro y constantan	-40 a 760	-1,960 a +42,922	Centrales de energía, metalúrgica, química, petroquímica etc.
Termopares nobles					
S	ANSI	Rhodio y platino	0 a 1 600	0 a 16,771	Metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc. Entre 1200 y 1600 °C, en algunos casos se utilizan sensores descartables.
E	ANSI	Chromel y constantan	-200 a 870	-8,824 a +66,473	Química y petroquímica.
K	ANSI	Chromel y alumel	-200 a 1 260	-5,891 a +50,99	Metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.

Cuadro 16. Tipos de termopares (continuación).

R	ANSI	Rhodio y platino	0 a 1 600	0 a 18,872	Metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.
B	ANSI	Rodio y platino con rhodio	600 a 1 700	1,791 a 12,426	Altas temperaturas en general

(Vignoni, 2000).

Las combinaciones de conductores deben poseer una relación razonablemente lineal entre temperatura y f.e.m. y que las variaciones de esta f.e.m. puedan ser detectadas por instrumentos de medida. Además, cada combinación tiene un rango ideal de trabajo, el cual debe ser respetado para prolongar la vida útil del termopar. Los termopares, pueden ser clasificados en tres grupos: básicos, nobles y especiales, como se mostró en el cuadro 16.

e) Pirómetros.

e.1. Radiación: Son unos aparatos que miden la temperatura de un cuerpo a distancia, basándose en el principio de que todas las sustancias por encima del cero absoluto radian energía como resultado de la agitación atómica asociada con su temperatura, por lo tanto, consiste en un sistema óptico que recoge la energía irradiada y la concentra sobre un detector, el cual genera una señal proporcional a la temperatura. Se emplea para medir temperaturas muy elevadas. Por cada temperatura, la mencionada energía se emite normalmente mediante ondas electromagnéticas de diferente longitud, predominando la intensidad de unas más que otras. A bajas temperaturas, la energía radiante es principalmente de longitud de onda relativamente larga; al subir la temperatura, la intensidad aumenta, pero la longitud de onda se acorta, lo que explica el cambio de color que experimenta un cuerpo al aumentar la temperatura, pasando del rojo al blanco o incluso azul.

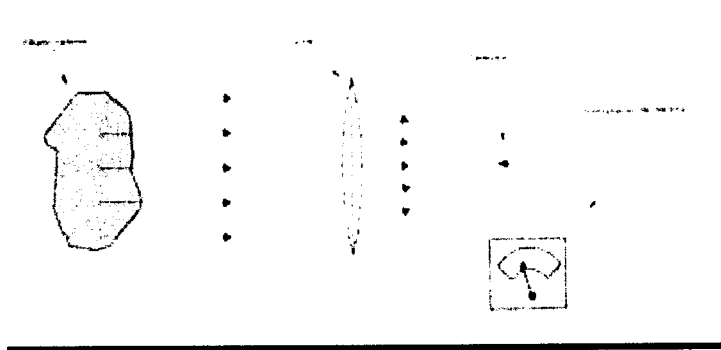


Figura 8. Pirómetro de radiación
(Sánchez, Rincón, Fernández, 1998).

e.1. Óptico: Estos pirómetros trabajan en la banda de las ondas visibles, 0,65 micras, siendo el detector un elemento fotosensible como fotocélulas, fototubos o más actualmente fosemiconductores. Se utiliza principalmente para medir cuerpos metálicos.

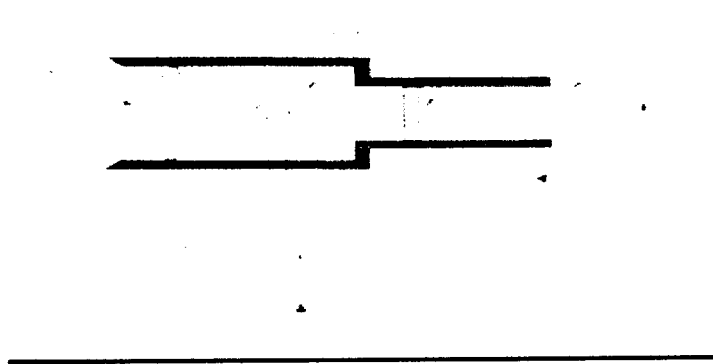


Figura 9. Pirómetro óptico
(Sánchez, Rincón, Fernández, 1998).

3.2.4. Principios de funcionamiento.

Los instrumentos antes mencionados, señalan que existen podremos saber cual es la temperatura de determinado cuerpo por alguna propiedad termométrica con la cual es medida.

a) Medición de temperatura por dilatación/ expansión.

a.1 Termómetro por dilatación de líquido.

Los termómetros de dilatación de líquidos, se basan en la ley de expansión volumétrica de un líquido con la temperatura, en un recipiente cerrado.

La ecuación que rige esta relación es:

$$V_t = V_0 [1 + b_1 Dt + b_2 Dt^2 + b_3 Dt^3 \dots b_n Dt^n]$$

Donde:

t = Temperatura del líquido en °C.

V_0 = Volumen del líquido a la temperatura de referencia t_0 .

V_t = Volumen del líquido a temperatura t .

b_1, b_2, b_3, b_n = Coeficientes de expansión del líquido en $1/(\text{°C})$.

Si bien esta relación es no lineal, los términos de segundo y tercer orden son despreciables y podemos considerar:

$$V_t = V_0 (1 + b_1 Dt)$$

Los tipos de termómetros pueden variar de acuerdo al tipo de recipiente.

a.1.1 Termómetros de dilatación de líquidos en recipientes de vidrio.

Está conformado por un recipiente, cuyo tamaño depende de la sensibilidad deseada y un tubo capilar de sección lo más uniforme posible, cerrado en la parte superior.

El recipiente y parte del capilar se llenan con el líquido. La parte superior del capilar, posee un alargamiento que protege al termómetro en caso de que la

temperatura sobrepase su límite máximo. Luego de la calibración, la pared del capilar es graduada en grados o fracciones de este. La medición de temperatura se realiza leyendo la escala en el tope de la columna de líquido.

Los líquidos más usados son: mercurio, tolueno, alcohol y acetona. En termómetros industriales, el bulbo de vidrio es protegido por un recubrimiento metálico.

Por su fragilidad y por ser imposible registrar su indicación o transmitirla a distancia, el uso de estos termómetros es más común en laboratorios.

Cuadro 17. Sustancias utilizadas para termómetros de vidrio

Líquido (°C)	Punto de solidificación (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Intervalo de uso (°C)
Mercurio	-38	357	-38 a 550
Alcohol etílico	-115	78	-100 a 70
Tolueno	-92	110	-80 a 100

(Vignoni, 2000).

a.1.2 Termómetro de dilatación de líquido en recipiente metálico.

En este caso, el líquido llena todo el recipiente y con un aumento de la temperatura se dilata, deformando un elemento extensible (sensor volumétrico).

Cuadro 18. Sustancias utilizadas para termómetros de recipiente metálico

Líquido	Intervalo de utilización (°C)
mercurio	-35 a 550
xileno	-40 a 400
tolueno	-80 a 100
alcohol	50 a 150

(Vignoni, 2000).

Las características de los elementos básicos de este tipo de termómetros son:

Bulbo: Sus dimensiones varían de acuerdo con el tipo de líquido y principalmente con la sensibilidad deseada.

Capilar: Sus dimensiones son variables, aunque el diámetro interno debe ser lo menor posible, a fin de evitar la influencia de la temperatura ambiente, aunque no debe ofrecer resistencia al pasaje del líquido en expansión.

Elemento de medición: El elemento utilizado es el Tubo de Bourdon, pudiendo ser capilar, espiral y capilar o helicoidal y capilar.

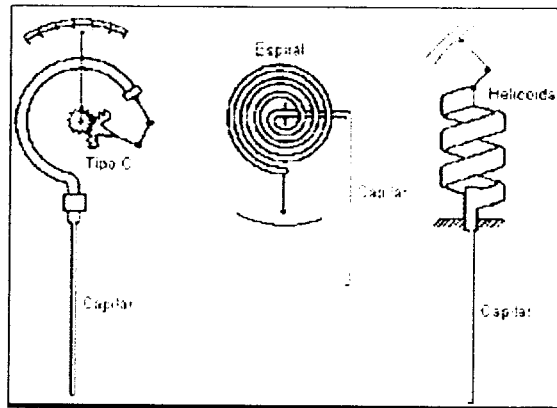


Figura 10. Elementos de medición tipo tubo de Bourdon
(Vignoni, 2000).

Los materiales mas utilizados son bronce fosforoso, cobre-berilio, acero inoxidable y acero al carbono. Las aplicaciones de estos termómetros, se encuentran en la industria en general para indicación y registro siendo los más exactos de los sistemas mecánicos. Por otro lado, su tiempo de respuesta relativamente grande no los hace aptos para funciones de control.

a.2 Termómetro a presión de gas.

Es físicamente idéntico al termómetro de dilatación de líquidos, consiste en un bulbo, un elemento de medida y un capilar que los une.

El volumen del conjunto es constante y llenado con gas a presión. Con variaciones de temperatura, la presión del gas varía aproximadamente según la ley de los gases perfectos, y el elemento de medición opera como medidor de presión. La ley de Gay-Lussac expresa matemáticamente este concepto.

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 = \dots = P_n/T_n$$

Las variaciones de presión, son linealmente dependientes de la temperatura, si se mantiene el volumen constante.

El gas mas utilizado es el nitrógeno, presurizado entre 20 y 50 atmósferas. El intervalo de medida va desde -100 a 600 °C.

Cuadro 19. Temperaturas críticas de gases utilizados en termómetros

Gas	Temperatura crítica (°C)
Helio (He)	- 267,8
Hidrógeno (H ₂)	- 239,9
Nitrógeno (N ₂)	- 147,1
Dióxido de Carbono (CO ₂)	- 31,1

(Vignoni, 2000).

a.2.1 Termómetro a presión de vapor.

Su construcción es similar a los anteriores, su funcionamiento se basa en la Ley de Dalton: "La presión de un vapor saturado, depende solamente de su temperatura y no de su volumen".

Por lo tanto, para cualquier variación de temperatura, habrá una variación de la tensión del gas licuado en el bulbo del termómetro y en consecuencia, una variación de presión dentro del capilar.

Cuadro 20. Sustancias utilizadas en termómetros a presión de vapor

Líquido	Punto de fusión	Punto De ebullición
Clorato de metilo	- 139	- 24
Butano	- 135	- 0,5
Eter etílico	- 119	34
Tolueno	- 95	110
Propano	- 180	- 42

(Vignoni, 2000).

a.3. Termómetros de dilatación de sólidos (Termómetros bimetálicos).

Su principio de funcionamiento, se basa en el fenómeno de dilatación lineal de los metales con la temperatura.

$$L_t = L_0 (1 + a Dt)$$

Donde:

t = temperatura del metal en °C.

L₀ = Longitud Del metal a la temperatura de referencia.

L_t = Longitud del metal a la temperatura t.

a = Coeficiente de dilatación.

Dt = (t – t₀).

El termómetro bimetálico esta compuesto de dos láminas metálicas, con coeficientes de dilataciones diferentes, superpuestas formando una sola pieza. Al variar la temperatura del conjunto, se produce una deformación proporcional a la temperatura.

En la práctica, la lámina bimetalica esta enrollada en forma de espiral o hélice, con lo que aumenta bastante la sensibilidad. El termómetro mas utilizado es el de lámina helicoidal.

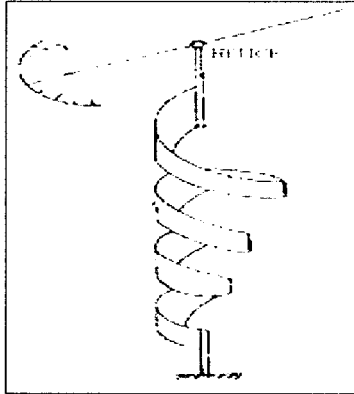


Figura 11. Termómetro bimetalico
(Vignoni, 2000).

El intervalo de trabajo de los termómetros bimetalicos es, aproximadamente entre -50 y 800 °C y se pueden conseguir exactitudes del orden del 1%.

b) Medición de temperatura con termocupla (termopar).

b.1 Efecto termoeléctrico.

Cuando se conectan dos metales distintos, y sus uniones son mantenidas a distintas temperaturas, cuatro fenómenos ocurren simultáneamente: el efecto Seebek, el efecto Peltier, el efecto Thompson y el efecto Volta.

b.1.1 Efecto Seebek.

El fenómeno de la termoelectricidad fue descubierto por T.J. Seebek, cuando notó que, en un circuito cerrado, formado por dos conductores diferentes A y B hay circulación de corriente cuando existe una diferencia de temperaturas ΔT entre sus uniones. Denominando unión de medición T_m y unión o juntura de

referencia T_r . La existencia de una f.e.m térmica AB en el circuito, es conocida como efecto Seebek. Cuando la temperatura de la junta de referencia se mantiene constante, se puede verificar que la f.e.m. térmica es función de la temperatura de la junta de medición. Este hecho permite utilizar un par termoeléctrico como un termómetro.

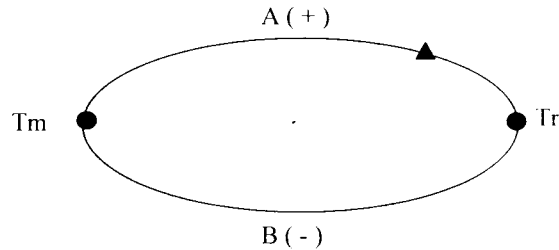


Figura 12. Efecto Seebek
(Vignoni, 2000).

Este efecto es debido a que los electrones libres de un metal, difieren de un conductor a otro. Cuando dos conductores diferentes son unidos y las juntas se mantienen a temperaturas diferentes, la difusión de electrones en las juntas se produce a ritmos diferentes.

b.1.2 Efecto Peltier.

En 1834, Peltier descubrió que, dado un par termoeléctrico, con ambas juntas a la misma temperatura, si mediante una batería exterior se generaba una corriente en el termopar, la temperatura de las juntas variaba en una cantidad que no dependía exclusivamente del efecto Joule. Esta variación adicional de temperatura es denominada efecto Peltier. Este efecto se produce tanto por la corriente proporcionada por una batería exterior como por el propio par termoeléctrico.

El coeficiente Peltier depende de la temperatura y de los metales que forman la junta, siendo independiente de la temperatura de la otra junta. El efecto es reversible invirtiendo el sentido de la corriente.

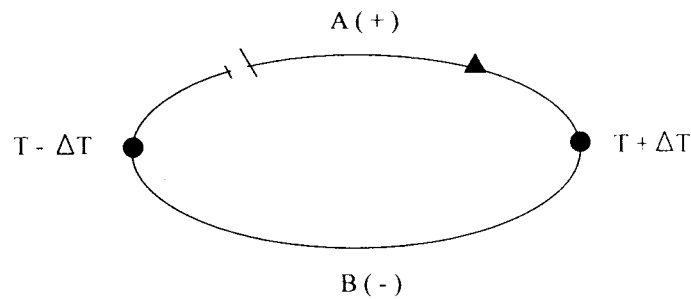


Figura 13. Efecto Peltier
(Vignoni, 2000).

b.1.3 Efecto Thompson.

En 1854, Thompson concluyó, por medio de las leyes de la termodinámica que la conducción de calor, a lo largo de los dos conductores metálicos de un par termoeléctrico, por los que no circula corriente, origina una distribución uniforme de temperatura en cada conductor.

Cuando circula corriente, se modifica la distribución de temperatura, en una cantidad no enteramente debida al efecto Joule. Esta variación adicional en la distribución de temperatura se denomina efecto Thompson.

Este efecto, depende del metal del conductor y de la temperatura media de una pequeña región considerada. En ciertos metales, existe absorción de calor cuando la corriente fluye desde la punta fría hacia la caliente y viceversa. En otros metales sucede lo contrario. Se puede concluir que, cuando existe circulación de corriente a lo largo de un conductor, la temperatura de este será modificada, tanto por el calor disipado por efecto Joule como por el efecto Thompson.

b.1.4 Efecto Volta.

La experiencia de Peltier, puede ser explicada por medio del efecto Volta, cuyo enunciado dice: "Cuando dos metales en contacto, se encuentran en

equilibrio térmico y eléctrico puede existir entre ellos una diferencia de potencial del orden de Volts”.

Esta diferencia de potencial es dependiente de la temperatura y no puede ser medida en forma directa.

Como conclusión, con la aplicación de los principios de la termodinámica y el enunciado de las tres leyes que rigen la teoría termoeléctrica es posible comprender los fenómenos que ocurren en la medida de la temperatura, con este tipo de sensores.

b.1.7 Correlación de la f.e.m. (Fuerza electromotriz) en función de la temperatura.

Hemos visto que la f.e.m. generada en un termopar depende de la composición química de los conductores y de la diferencia de temperatura entre las juntas, podemos entonces construir una tabla de correlación entre temperatura y f.e.m. para distintas combinaciones.

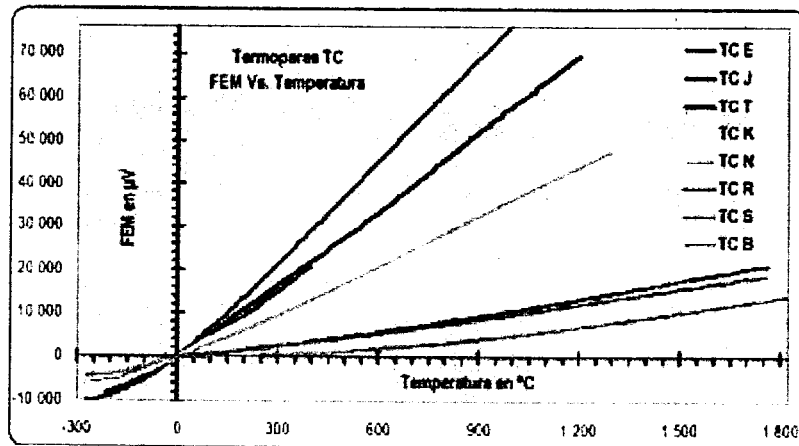


Figura 14. Comportamiento de la f.e.m en función de la temperatura

(www.metas.com.mx, 2002).

Esta figura, responde a distintos estándares internacionales y fue actualizada por la ITS-90 para los termopares mas utilizados.

c. Pirómetros:

c.1 Pirómetros de radiación: Se fundan en la ley de Stefan-Boltzmann, que dice que la intensidad de la energía radiante emitida por la uperficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir, $W=KT^4$.

c.2 Pirómetros ópticos: Estos se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararlo visualmente con la imagen del objeto enfocado.

3.2.5 Propiedades metrológicas de los instrumentos.

Ver la sección 3.1.5 de éste capítulo para la definición general de las propiedades metrológicas de los instrumentos. En el caso de temperatura los instrumentos poseen las propiedades de:

- Linealidad.
- Estabilidad.
- Repetibilidad.
- Exactitud.
- Incertidumbre.

3.2.6 Propiedades metrológicas a determinar.

- a) Linealidad.
- b) Estabilidad.
- c) Repetibilidad.
- d) Exactitud.
- e) Incertidumbre.

3.2.7 Normas aplicables.

A continuación se realiza el análisis de las normas aplicables relacionadas con el área de termometría, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

- a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.
- b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.
- c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

3.2.7.1) PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-011-SCFI-2003, "INSTRUMENTOS DE MEDICION-TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO PARA USO GENERAL".

4. Clasificación.

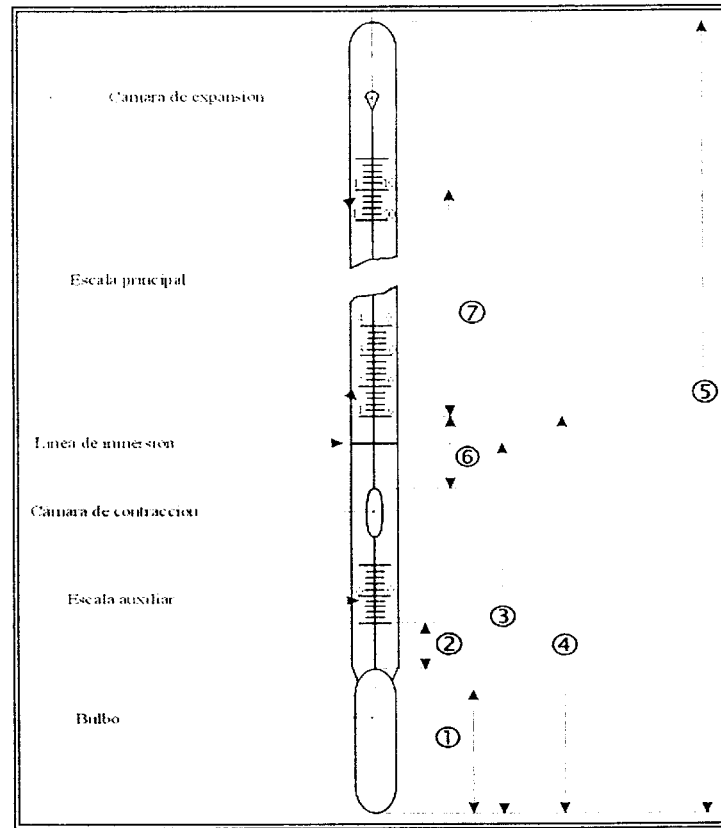
Los termómetros que cubre la presente Norma se clasifican en un solo tipo, termómetros rellenos de mercurio en vidrio.

5. Especificaciones.

5.2 Inmersión.

5.2.1. Los termómetros de inmersión total deben ajustarse para su uso de tal manera que sea posible sumergirlos hasta aproximadamente el menisco, es decir, hasta mantener el menisco unos cuantos milímetros por arriba del nivel del líquido.

5.2.2. Los termómetros de inmersión parcial deben ajustarse para su uso a la línea de inmersión o marca especificada (regularmente 76 ± 1 mm).



- | | |
|--|--|
| 1. Longitud del bulbo. | 5. Longitud total. |
| 2. Distancia del extremo superior del embudo del bulbo al límite inferior nominal de la escala auxiliar. | 6. Del extremo superior de la cámara de contracción al límite inferior nominal de la escala principal. |
| 3. Profundidad de inmersión (termómetro de inmersión parcial). | 7. Longitud de la escala nominal. |
| 4. Distancia de la base del bulbo al límite inferior nominal de la escala del termómetro. | |

Figura 15. Diseño general y terminología para termómetros de líquido en vidrio de vástago sólido

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2003).

Inscripciones

- a) Unidad de temperatura, el símbolo de grados Celsius, "C" o "°C".
- b) Tipo de termómetro.
- c) Marca del fabricante.
- d) Identificación del fabricante.
- e) País de origen.

Tipos de terminados superiores.

SIN ANILLO BOTON CON ANILLO

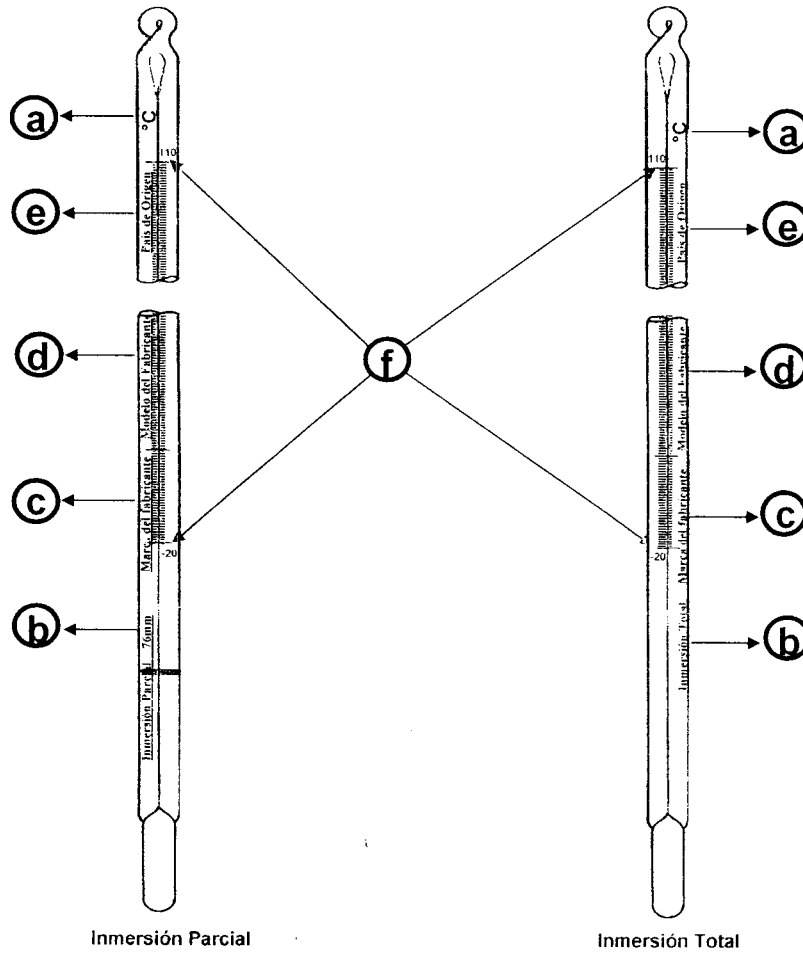
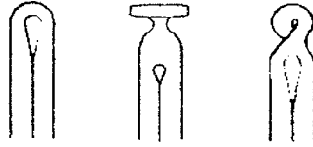


Figura 16. Inscripciones de los termómetros
(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2003).

Aspectos Normativos en la calibración de termómetros.

1.- Patrones: Todos los termómetros deben ser calibrados o verificados con termómetros u otros aparatos de medición de temperatura, los cuales han sido calibrados en términos de la EIT-90 (Escala Internacional de Temperatura de 1990), Para mediciones o calibraciones de mayor exactitud, es recomendable tener trazabilidad directa a un termómetro patrón de resistencia de platino calibrado con las recomendaciones y requerimientos de la EIT-90. Los termómetros de líquido en vidrio de menor exactitud deben ser calibrados por un laboratorio secundario con trazabilidad a un laboratorio nacional.

“Anteriormente se ha mencionado, uno de los aspectos más importante en el campo de la metrología (junto con la exactitud), es la trazabilidad, ya que el que se cumpla con esto nos asegura que las mediciones obtenidas con éstos equipos tienen validez y pueden ser comparados con otros patrones y su incertidumbre es conocida”.

2.- Selección de puntos de calibración: La experiencia con un particular tipo de termómetro provee la más confiable guía para seleccionar los puntos de calibración, pero de manera general cinco puntos de calibración o un punto por cada 100 divisiones de la escala que cubran al menos el 80% del intervalo del termómetro, pueden dar un aseguramiento del instrumento. Cuando se requiera alta exactitud o menor incertidumbre, los puntos se deben seleccionar cada 50 divisiones de la escala y se deben incluir las marcas indicadas por el fabricante.

“Como se menciona en éste punto, estadísticamente, si se tienen más puntos de medición, podemos tener una mayor exactitud en los resultados de las mediciones, por otro lado, se puede diseñar un procedimiento de calibración general para diferentes tipos de termómetros, y subsecciones con observaciones para tipos particulares de instrumentos”.

3. Termómetros de inmersión total: Los termómetros se deben calibrar preferentemente de acuerdo a las condiciones de inmersión especificadas por el instrumento. En la práctica, sin embargo, esto puede no ser posible debido a las limitaciones impuestas por el equipo de calibración y puede también ser inconveniente (por ejemplo al calibrar un número de instrumentos similares). En cualquiera de estas circunstancias el uso de una alternativa de inmersión, requiere la aplicación de una corrección en la indicación del termómetro, puede ser usado para las consideraciones en la práctica, ver la recomendación N° 3.

4. Termómetros de inmersión parcial: Los termómetros de inmersión parcial deben ser calibrados bajo condiciones que reproduzcan, lo más cerca posible a las condiciones especificadas. Una corrección se debe hacer para la diferencia entre la temperatura actual y de la temperatura predeterminada de la columna emergente.

“Como se mencionó anteriormente, para que las condiciones de medición sean semejantes y las mediciones reproducibles y repetibles, se debe de contar con un procedimiento documentado”.

Recomendaciones generales para uso de termómetros.

1. Antes del uso, un termómetro debe ser examinado para encontrar defectos visibles tales como daños en el vidrio del bulbo o del vástago, el líquido disperso en la cámara de expansión, gas atrapado en el bulbo, separación de la columna del líquido termométrico. Cuando sea posible el termómetro debe ser corregido antes de su uso, pero generalmente un termómetro dañado debe ser desechado.

2. Los termómetros de inmersión total deben sumergirse normalmente hasta el extremo de la columna líquida (véase 5.2 de ésta norma) a excepción de una

mínima longitud de columna líquida emergente (por ejemplo una o dos divisiones de la escala) que permita hacer la toma de lecturas.

3. Cuando se requiere usar un termómetro que se mantenga a una temperatura elevada (por ejemplo arriba de 100 °C) durante un periodo largo de tiempo, el líquido termométrico puede tender a deslizarse en el capilar o en la cámara de expansión. Idealmente, los termómetros deben ser usados bajo las mismas condiciones como se usaron durante la calibración. Si esto no es posible, se deben de tomar las medidas para reducir la destilación, sino la indicación será un error.

Puede ser conveniente colocar el termómetro de modo que una longitud pequeña de la columna líquida (por lo menos 10 mm) emerja del medio. Por lo anterior será necesario aplicar una corrección por columna emergente como si el termómetro se usará a inmersión parcial (véase recomendación N° 5)

4. Cuando es necesario sumergir un termómetro de inmersión total a inmersión parcial, se debe hacer una corrección por temperatura de la columna líquida emergente, la cual es diferente de la condición de inmersión especificada. La corrección de la indicación C_1 (la cual es estimada en un $\pm 10\%$) debe ser evaluada de la fórmula:

$$C_1 = k N(t_1 - t)$$

Donde:

k es el coeficiente de expansión diferencial entre el líquido y el tipo de vidrio en particular del cual está hecho el vástago (Ver Cuadro 21); para propósitos de evaluación, el valor de k puede ser considerado dependiendo en la media aritmética de t_1 y t .

N es el número de grados Celsius equivalentes a la longitud de la columna emergente y es la diferencia entre la indicación del termómetro y la escala al nivel líquido o extrapolando el valor de la escala correspondiente al nivel de inmersión especificada.

t es la temperatura promedio de la columna de líquido emergente.

t_1 es la temperatura del bulbo del termómetro a corregir.

Si este procedimiento da como resultado valores grandes de corrección, se debe hacer una segunda evaluación usando la indicación corregida de acuerdo a la primera evaluación.

En un termómetro de mercurio, la corrección C_1 se suma a la indicación del termómetro, si la temperatura media de columna emergente es más baja que la temperatura del termómetro a corregir, en caso contrario se restará.

Cuadro 21. Valores de coeficiente de expansión diferencial para termómetros de líquido en vidrio

Temperatura media $1/2 (t-t_1)$	Coficiente de expansión diferencial, $10^{-4} (^\circ\text{C}^{-1})$
	Mercurio
0	1,64
20	---
100	1,64
200	1,67
300	1,74
400	1,82
500	1,95

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2003).

5. Cuando un termómetro de inmersión parcial es usado a la profundidad especificada, puede haber una diferencia entre la temperatura actual y la especificada de la columna emergente. En este caso se debe hacer una corrección en la indicación C_2 , (el cual está estimado en $\pm 10\%$) por medio de la siguiente fórmula:

$$C_2 = k N (t_s - t_f)$$

Donde:

k y N están definidas en 4.

t_s es la temperatura promedio de la columna emergente especificada en el Cuadro 21.

t_f es la temperatura promedio de la columna emergente durante la calibración

Los valores típicos de k unidad 10^{-4} ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) los cuales para muchos propósitos darán correcciones suficientemente exactas, son los siguientes:

Mercurio y Mercurio con aleación de Talio: 1,6

3.2.7.2) NORMA MEXICANA NMX-CH-70-1993-SCF "INSTRUMENTOS DE MEDICION-TERMOMETROS BIMETALICOS DE CARATULA (MEASUREMENT INSTRUMENTS-BIMETALIC DIAL THERMOMETERS"

"A continuación, se colocarán las secciones relevantes de la mencionada norma, debido a que éste tipo de termómetros son utilizados ampliamente a nivel industrial".

3. Definiciones.

3.2 Termómetros bimetalicos de carátula: Instrumentos utilizados para la medición de temperatura, por medio de la contracción y expansión de dos diferentes aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación que al ser expuestos a

una misma temperatura, transmite un movimiento giratorio a la aguja indicadora de la escala graduada indicada en la carátula.

3.2 Escala de graduación: De acuerdo a su diseño, la escala de graduación sobre la carátula del termómetro indica la temperatura del instrumento desde el valor mínimo hasta el valor máximo.

3.3 Vástago: Parte exterior, metálica, que cubre el elemento bimetálico de longitud y diámetro de acuerdo a sus necesidades de aplicación.

3.4 Factor de seguridad: Es el dispositivo sobre el límite mayor o menor de la escala que debe tener el instrumento para su protección.

5. Especificaciones.

5.7 Unidades de graduación.

Las unidades de graduación deben de estar de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI vigente, utilizando la simbología siguiente:

Grados Celsius °C.

5.8 Parámetros de temperatura.

Los termómetros bimetálicos clasificados en ésta Norma, deben estar comprendidos dentro de los siguientes Parámetros de temperatura:

Menor amplitud: -100°C.

Mayor amplitud: 600°C.

Divisiones mínimas de $\frac{1}{4}$ °C a 5°C (según el alcance de medición de que se trate).

5.9 Exactitud.

Los termómetros bimetalicos de carátula, deben mantener la siguiente exactitud:

$\pm 1\%$ Del alcance de medición como máximo.

5.10 Factor de protección.

5.10.1 Cuando la escala del instrumento sea hasta de 260°C o menor, la protección por exceso de temperatura debe ser de 50% de la escala; cuando sea mayor de 260°C, la protección debe ser de 10%.

5.10.2 Cualquier golpe severo del termómetro podría curvar el vástago o la cabeza y existir la posibilidad de alternar su exactitud. (Un termómetro de vidrio expuesto a estas condiciones, podría romperse).

Cuando instale el termómetro dentro de la conexión, apriete siempre con la llave española o perico (nunca use la cabeza del termómetro para apretar).

Hay termómetros con alcance de medición entre 100 y 550 °C los cuales no son recomendados para uso continuo a más de 450 °C.

5.11 Error de paralaje.

La distancia entre el plano de graduación y la aguja debe ser tal, que no permita error de lectura por paralaje.

6. Procedimiento de calibración.

Para efectos de calibración debe usarse un termómetro patrón de alto grado de exactitud (ver 8.3 de ésta referencia).

Coloque el termómetro a calibrar a un lado del termómetro patrón sumérgase ambos termómetros a la misma profundidad en un líquido estabilizado durante 3 minutos. Compare las temperaturas.

8.3 Exactitud.

8.3.1 Equipo de prueba.

- Termómetro patrón con clase de exactitud y alcance de medición superior a la del termómetro a probar.
- Baños de temperatura constante.

8.3.2 Procedimiento.

El baño de temperatura, con las soluciones apropiadas para altas y bajas temperaturas, deben ponerse a la temperatura menor de prueba, siendo esta constante y homogénea. Se coloca el termómetro patrón en el centro del baño, estabilizando la temperatura en la escala. Los termómetros a verificar se colocan lo más cercano del termómetro patrón, dejando que se estabilice la temperatura en ambos durante 5 minutos, dando ligeros golpes en el termómetro de prueba con el fin de eliminar los errores por fricción del mecanismo de indicación.

La inmersión de los termómetros será la que indique en la información técnica de estos. En caso de no contar con ésta, la inmersión será como mínimo de 5 cm. En el fluido, se efectuarán 6 lecturas de temperatura 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90% de la escala partiendo de su límite menor.

8.3.3 Resultados.

Los termómetros que no cumplan con las especificaciones del inciso 5.9 serán rechazados para someterlos a otra calibración.

3.3 Metrología de presión. (7, 8, 20, 36, 37, 38, 39, 41, 42)

3.3.1. Definición.

La metrología de presión es aquella dedicada al establecimiento de patrones de medición, mantenimiento y mejora de los equipos e instrumentos de ésta área.

3.3.2. Principios de presión.

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósfera, kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) y psi (lb/inch^2). En el Sistema Internacional (SI) está normalizada el pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14 que tuvieron lugar en París en Octubre de 1970 y 1971, y según la Recomendación Internacional N° 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal.

El concepto de presión como una magnitud física fue introducido por el evangelista Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662). Probaron la existencia de presión en la atmósfera y mostraron su medida por medio de la altura de una columna de mercurio en un tubo de vidrio. En una columna de mercurio de Torricelli los diámetros son diferentes y se observa que el mercurio en ambos lados sube y tienen la misma altura. En este experimento las fuerzas gravitatorias que actúan descendentemente sobre las columnas de mercurio son proporcionales a los volúmenes de las columnas y en consecuencia a las áreas, ya que las alturas son las mismas. Esto significa que una cantidad física, que presiona al mercurio en el nivel de la superficie más baja, que se encuentra en

equilibrio con las fuerzas gravitacionales, se caracteriza por la fuerza sobre una unidad unitaria medida por el área de la columna de mercurio.

Por consiguiente, la presión está relacionada con la fuerza y el área. Es una magnitud escalar que se deriva de las cantidades base: masa, longitud y tiempo.

$$P = f(M, L, T)$$

Por definición es:

$$P = \text{Fuerza} / \text{Área}$$

La relación de los diferentes tipos de presión se expresa en la figura siguiente:

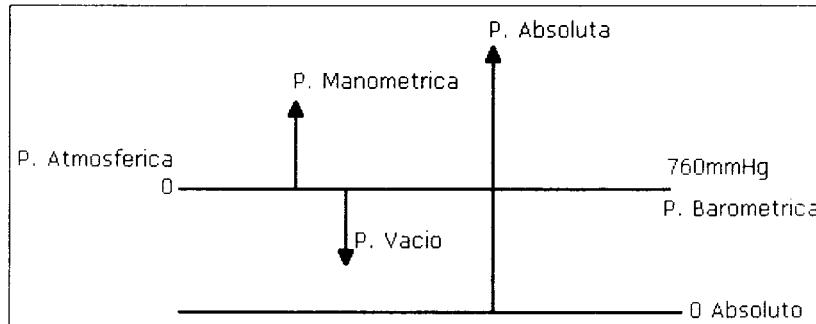


Figura 17. Relación entre niveles de presión

(<http://www.geocities.com/CollegePark/Pool/1549/instru1/d01.html>).

Presión absoluta: Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absoluto. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica que la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.

Presión atmosférica: El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una presión (atmosférica), la presión ejercida por la atmósfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas a este, el valor de la presión es cercano a 760 mmHg, disminuyendo estos valores con la altitud.

Presión atmosférica normalizada: Presión ejercidas por la atmósfera bajo condiciones normalizadas, igual a 101 325 kPa (760 mmHg). La cual idealmente se presenta a 0 m.s.n.m. (sobre el nivel medio del mar, temperatura ambiente de 20°C, humedad relativa de 65% y la densidad del aire de 1,2 kg/cm³).

Presión manométrica: Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que se define como la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

La presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

Presión Absoluta = Presión Manométrica + Presión Atmosférica.

Vacío: Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica (también llamado vacío relativo, ya que es medido con respecto a la presión atmosférica) que normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se miden las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente. Los valores que corresponden al vacío aumentan al acercarse al cero absoluto (el cual es llamado vacío

absoluto) y por lo general se expresa a modo de centímetros de mercurio, metros de agua, etc.

De la misma manera que para las presiones manométricas, las variaciones de la presión atmosférica tienen solo un efecto pequeño en las lecturas del indicador de vacío.

Sin embargo, las variaciones pueden llegar a ser de importancia, que todo el intervalo hasta llegar al cero absoluto solo comprende 760 mmHg.

En la sección 3.3.7.1 se verán otras definiciones.

3.3.3. Tipos de instrumentos de presión.

Los instrumentos de presión se clasifican en cuatro grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

a) Elementos mecánicos.

Estos se dividen en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas, por ejemplo: manómetro de tubo en U, manómetro de U inclinado, manómetro de campana, balanzas de pesos muertos, etc. Y elementos primarios elásticos, que se deforman por la presión interna del fluido que contienen, a manera de ejemplo, a continuación se muestra los siguientes equipos.

a.1 Elementos primarios de medida directa.

Manómetro de tubo en U: Para pequeñas diferencias de presión se emplea un manómetro que consiste en un tubo en forma de U con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera.

El tubo contiene un líquido, como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles del líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica local.

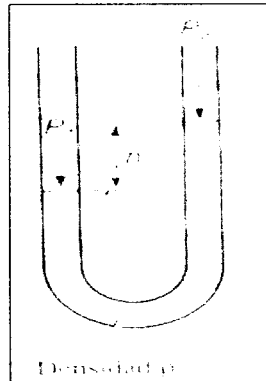


Figura 18. "Manómetro de Tubo U simple"

(<http://cipres.cec.uchile.cl/~fespinoz/taller/>).

a.2 Elementos primarios elásticos.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

- **Tubo de Bourdon:** El tubo Bourdon es un tubo de sección elástica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo.

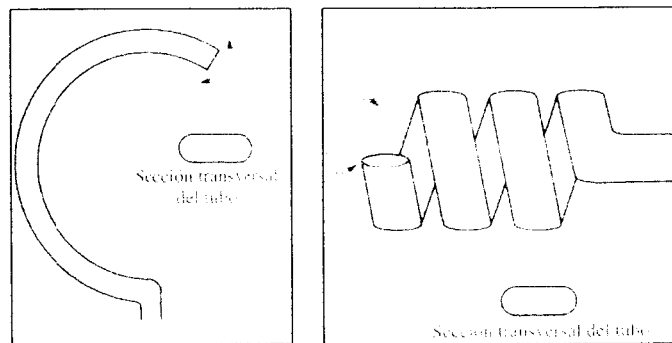


Figura 19. "Tubo Bourdon de forma C y forma helicoidal"

(<http://cipres.cec.uchile.cl/~fespinoz/taller/>).

El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como Hastelloy y monel. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.

- **Espiral:** El elemento en espiral se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común

- **Helicoidal:** El helicoidal se forma arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

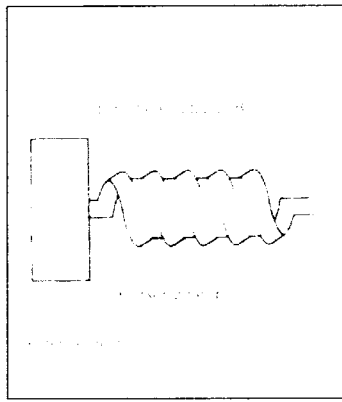


Figura 20. "Tubos de Bourdon acoplados a un sistema transmisor"

(<http://cipres.cec.uchile.cl/~fespinoz/taller/>).

- **Diafragma o cápsula:** El diafragma consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo mas amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento, el material del diafragma es normalmente aleación de níquel. Se utiliza para pequeñas presiones.

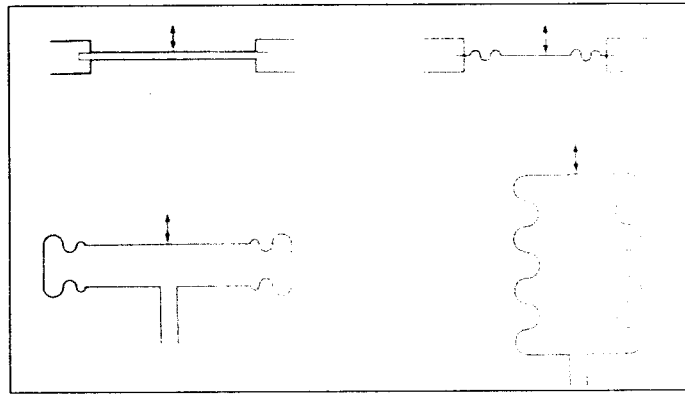


Figura 21. Tipos de Diafragmas

(<http://cipres.cec.uchile.cl/~fespinoz/taller/>).

- **Fuelle:** El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el muelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones.

b) Elementos neumáticos.

Como elementos neumáticos consideramos los instrumentos transmisores neumáticos.

b.1 Transmisores neumáticos:

El sistema tobera-obturador consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante P_s , con una reducción en su salida en forma de tobera, la

cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.

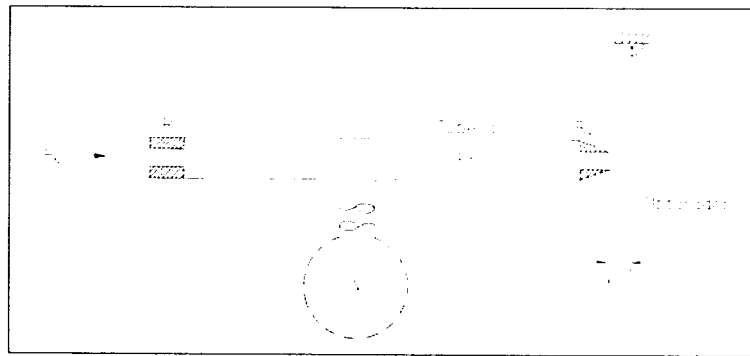


Figura 22. Conjunto del sistema tobera-obturador.

(Creus, 1989).

El aire de alimentación de presión normalizada 1,4 bar (20 psi) pasa por la restricción **R** y llena el volumen cerrado **V** escapándose a la atmósfera por la tobera **R_v**. Ésta tiene un diámetro muy pequeño, de unos 0,25-0,5 mm, mientras que la restricción **R** tiene un diámetro alrededor de 0,1 mm. Con el obturador abierto la presión posterior remanente es de aprox. 0,03 bar, lo cual indica que la relación de presiones diferenciales a través de la restricción **R** es de $1,4/0,03 \approx 50$ veces. El consumo de aire del conjunto tobera-obturador es relativamente pequeño, del orden de 3 NI/min.

El escape de aire a través de la tobera depende de la posición del obturador, es decir, del valor de **x**. Debido a este escape, el volumen **V** se encontrará a una presión **P₁** intermedia entre **P_s** y la presión atmosférica. En efecto: para $x = 0$ el obturador tapa casi totalmente a la tobera, con lo cual no hay escape de aire a la atmósfera y **P₁** llega a ser casi igual a la presión **P_s**, del aire de alimentación: para **x** relativamente grande el obturador está bastante separado de la tobera y no limita el escape a la atmósfera siendo la presión **P₁** próxima a la atmosférica.

En la Figura 23 se representa una curva de respuesta típica de un sistema tobera-obturador, pudiéndose ver que ésta no es lineal.

El aire que se escapa de la tobera ejerce una fuerza sobre el obturador $F = P_1 \times S$ que tiende a desplazarlo. Esta fuerza debe hacerse despreciable con relación a la fuerza del elemento de medida que posiciona el obturador.

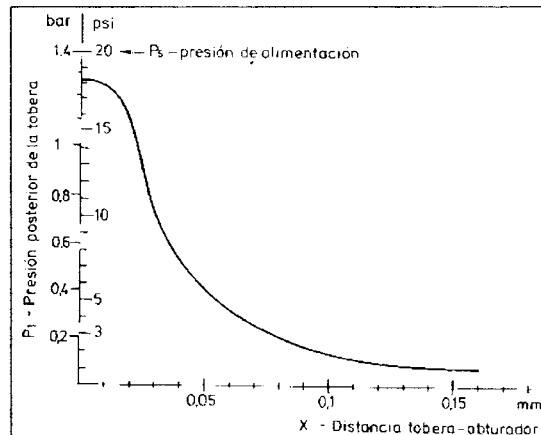


Figura 23. Curva de respuesta de un sistema Tobera-obturador (Creus, 1989).

c) Elementos electromecánicos.

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor (en una interpretación real de la palabra transductor, se puede decir, que es cualquier dispositivo que convierta un tipo de movimiento mecánico generado por fuerzas de presión a una señal eléctrica o electrónica para utilizarse en la medición o el control) eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un Tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

c.1 Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas.

En la Figura 24 puede verse que el elemento de medición ejerce una fuerza en el punto A sobre la palanca AC que tiene su punto de apoyo en D. Cuando aumenta la fuerza ejercida por el elemento de medición, la palanca AC se desequilibra, tapa la tobera, la presión aumenta y el diafragma ejerce una fuerza hacia arriba alcanzándose un nuevo equilibrio. Hay que señalar, como se ha dicho, que en este transmisor los movimientos son inapreciables.

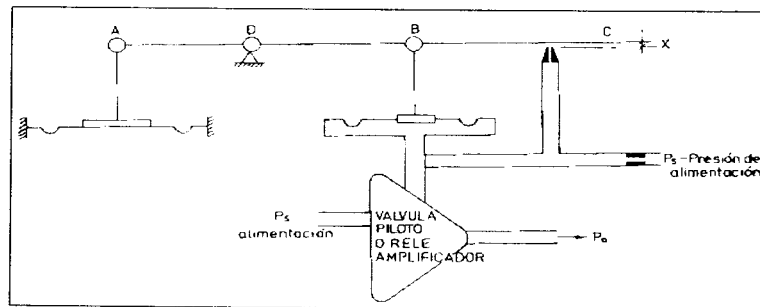


Figura 24. Transmisor de equilibrio de fuerzas
(Creus, 1989).

c.2 Transductores resistivos: Constituyen, sin duda, uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión.

En la Figura 25 puede verse un transductor resistivo representativo que consta de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse debe ser únicamente una función de la presión y además debe ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientes externos.

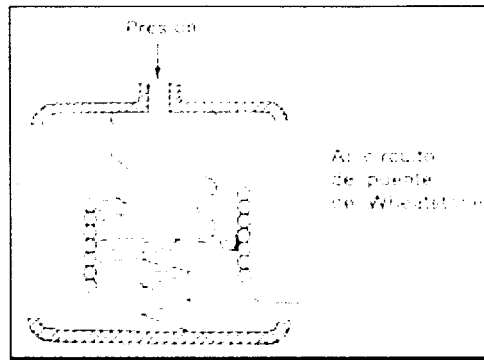


Figura 25. Transductor resistivo
(Creus, 1989).

El movimiento del elemento de presión se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro de precisión. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

Los transductores resistivos son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Sin embargo, son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

El intervalo de medida de estos transmisores corresponde al elemento de presión que utilizan (Tubo Bourdon, fuelle) y varía en general de 0 - 0,1 a 0 - 300 kg/cm². La exactitud es del orden de 1- 2 %.

c.3 Transductores magnéticos: Se clasifican en dos grupos según el principio de funcionamiento.

- **Transductores de inductancia variable:** En éstos el devanado de la bobina se alimenta con una corriente alterna y la f.e.m. de autoinducción generada se opone a la f.e.m. de alimentación, de tal modo que al ir penetrando el núcleo móvil dentro de la bobina la corriente presente en el circuito se va reduciendo por aumentar la f.e.m. de autoinducción (Ver Figura 26).

Los transductores de inductancia variable tienen las siguientes ventajas: no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y de construcción robusta y no precisan ajustes críticos en el montaje. Su exactitud del orden de $\pm 1\%$.

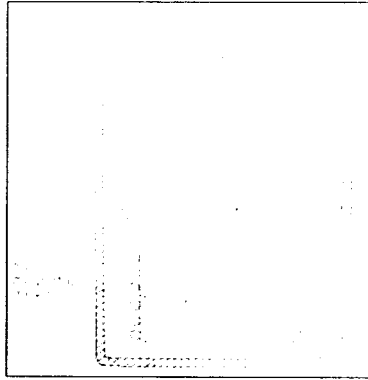


Figura 26. Transductor de inductancia variable
(Creus, 1989).

- **Transductores de reluctancia variable:** Consisten en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

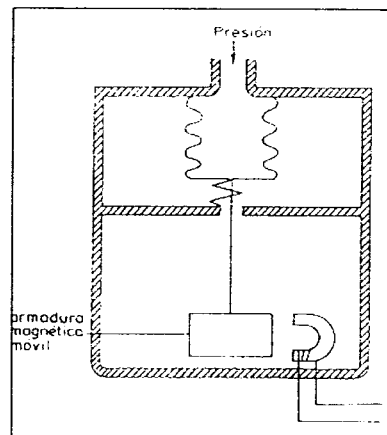


Figura 27. Transductor de reluctancia variable
(Creus, 1989).

El movimiento de la armadura es pequeño (del orden de un grado como máximo en armaduras giratorias) sin contacto alguno con las partes fijas, por lo cual no existen rozamientos eliminándose la histéresis mecánica típica de otros instrumentos. Los transductores de reluctancia variable presentan una alta sensibilidad a las vibraciones, una estabilidad media en el tiempo y son sensibles a la temperatura. Su exactitud es del orden de $\pm 0,5 \%$.

Ambos tipos de transductores posicionan el núcleo o la armadura móviles con un elemento de presión (tubo Bourdon, espiral) y utilizan circuitos eléctricos bobinados de puente de inductancias de corriente alterna.

c.4 Transductores capacitivos: Son aquellos en los que una placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna (Figura 28).

Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de c.a. a los que están acoplados.

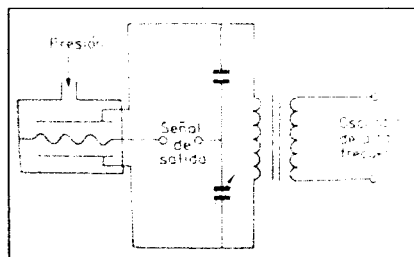


Figura 28. Transductor capacitivo
(Creus, 1989)

Su intervalo de medida es relativamente amplio, entre 0,05 - 5 a 0,5 - 600 bar y su exactitud es del orden de $\pm 0,2$ a $\pm 0,5$ %.

c.5 Galgas extensométricas: Existen dos tipos de galgas extensométricas:

- **Galgas cementadas:** Están formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico (Figura 29).

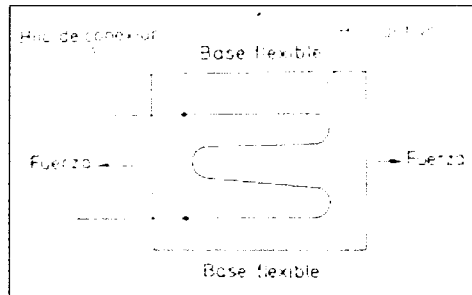


Figura 29. Galga cementada

(Creus, 1989).

- **Galgas sin cementar:** En las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial (Figura 30).

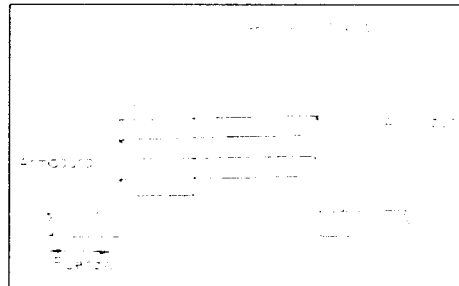


Figura 30. Galga sin cementar

(Creus, 1989).

En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente.

El intervalo de medida de estos transductores varía de 0 - 0,6 a 0 - 10 000 bar y su exactitud es del orden de $\pm 0,5\%$

Las galgas extensométricas pueden alimentarse con c.c. o c.a. Tienen una respuesta frecuencial excelente y pueden utilizarse en medidas estáticas y dinámicas. Presentan una compensación de temperatura relativamente fácil y generalmente no son influidas por campos magnéticos. Con excepción de las galgas de silicio difundido poseen las siguientes desventajas: señal de salida débil, pequeño movimiento de la galga, alta sensibilidad a vibraciones y estabilidad dudosa a lo largo del tiempo de funcionamiento. La galga de silicio difundido tiene la ventaja adicional de estar en contacto directo con el proceso sin mecanismos intermedios de medición de la presión pudiendo así trabajar correctamente aunque el fluido se deposite parcialmente sobre el diafragma del elemento ya que mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste hace sobre el diafragma.

c.6 Transductores piezoeléctricos: Los elementos piezoeléctricos (Figura 31) Son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150 °C en servicio continuo y de 230 °C en servicio intermitente.

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por

lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

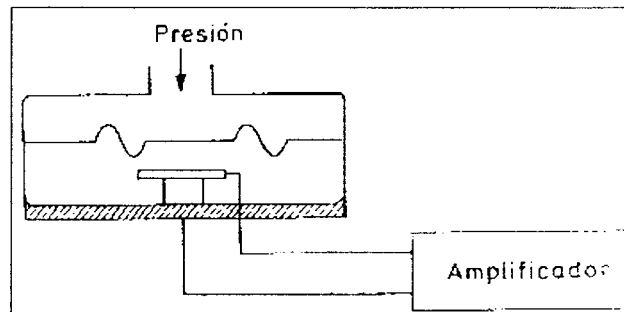


Figura 31. Transductor piezoeléctrico
(Creus, 1989).

d) Transductores electrónicos de vacío.

Los transductores electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

- Mecánicos: Fuelle y diafragma.

- Medidor McLeod.

- Térmicos:

Termopar.

Pirani.

Bimetal.

- Ionización.

Filamento caliente.

Cátodo frío.

Radiación.

d.1 Mecánicos (Fuelle y diafragma): Trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la del proceso. Pueden estar compensados con relación a las presiones atmosféricas y calibrados en unidades absolutas. Al ser dispositivos mecánicos, las fuerzas disponibles a presiones del gas muy bajas son tan pequeñas que estos instrumentos no son adecuados para la medida de alto vacío estando limitados a valores de 1 mmHg abs. Pueden llevar acoplados transductores eléctricos del tipo de galga extensométrica o capacitivos.

d.2 McLeod: El vacuómetro de McLeod es un vacuómetro de presión absoluta, analógico con escala cuadrática (no logarítmica), es clasificado junto con la columna de tubo de "U" como un vacuómetro de lectura directa, consiste en un bulbo con un tubo capilar cerrado en su extremo superior y un tubo de conexión al sistema de vacío con un capilar abierto en paralelo para comparación, así como un sistema por presurización o inclinación para elevar el mercurio y comprimir la muestra de gas atrapada en el bulbo, se utiliza como aparato de precisión en la calibración de los restantes instrumentos. Su intervalo de medida es de $5 \cdot 10^{-5}$ mm Hg.

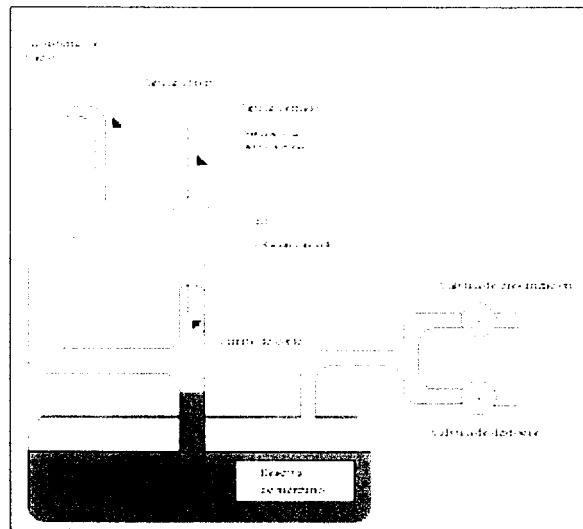


Figura 32. Vacuómetro McLeod.

(www.metas.com.mx, 2001).

d.3 Térmicos:

- **Termopar:** El transductor térmico de termopar contiene un filamento en V que lleva incorporado un pequeño termopar (Figura 33). Al pasar una corriente constante a través del filamento, su temperatura es inversamente proporcional a la presión absoluta del gas. La f.e.m. generada por el termopar indica la temperatura del filamento y por lo tanto señala el vacío del ambiente. Para compensar la temperatura ambiente se emplea una segunda unidad contenida dentro de un tubo sellado al vacío. La señal de salida diferencial de los dos termopares es proporcional a la presión.

Las ventajas principales de este tipo de transductor residen en su bajo costo, larga duración y confiabilidad. Tiene el inconveniente de ser sensible a la composición del gas, poseer características no lineales y presentar el riesgo de combustión si se expone a presión atmosférica cuando el filamento está caliente. Su intervalo de medida es de $0,5 - 10^{-3}$ mmHg.

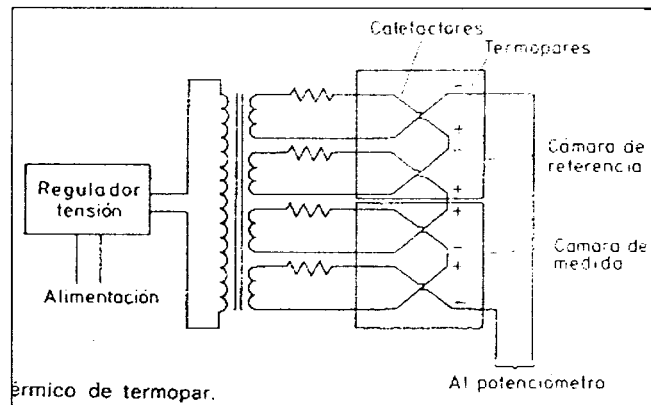


Figura 33. Transductor térmico de termopar

(Creus, 1989).

- **Pirani:** El transductor Pirani (Figura 34) utiliza un circuito de puente de Wheatstone que compara las resistencias de dos filamento de tungsteno, uno sellado en alto vacío en un tubo y el otro en contacto con el gas medido y que por

lo tanto pierde calor por conducción. En este transductor es la resistencia del filamento la que refleja la presión en lugar de ser su temperatura.

El transductor Pirani tiene la ventaja de ser compacto y sencillo de funcionamiento, pudiendo estar a presión atmosférica sin peligro de combustión. Tiene el inconveniente de que su calibración depende de la composición del gas medido. Su intervalo de medida es de $2 \cdot 10^{-3}$ mmHg.

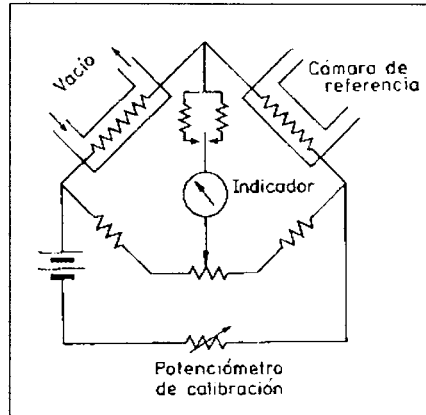


Figura 34. Transductor Pirani
(Creus, 1989).

- **Bimetal:** El transductor bimetalico (Figura 35) utiliza una espiral bimetalica calentada por una fuente de tensión estabilizada.

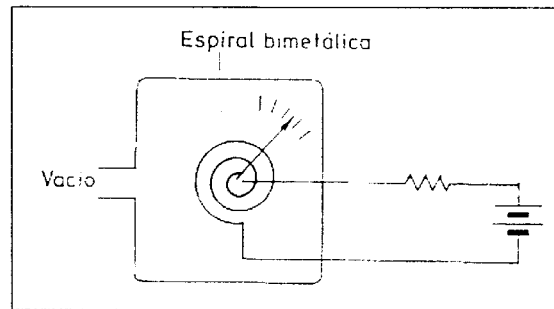


Figura 35. Transductor bimetalico
(Creus, 1989).

Cualquier cambio de la presión produce una deflexión de la espiral, que a su vez esta acoplada a un índice que señala en la escala el vacío. Su intervalo de medida es de $1 - 10^{-3}$ mmHg.

d.4 Ionización:

- **Filamentos caliente:** El transductor de filamento caliente (Figura 36) consiste en un tubo electrónico con un filamento de tungsteno rodeado por una rejilla en forma de bobina, la cual a su vez está envuelta por una placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, pasan a su través y, en su camino hacia la placa colectora de carga negativa, algunos colisionan con moléculas del gas. La corriente positiva formada es una función del número de iones y, por lo tanto, constituye una medida de la presión del gas. Estos instrumentos son muy delicados y deben manejarse con cuidado. El filamento puede quemarse si se somete accidentalmente a presiones superiores a 1×10^{-3} mmHg abs.

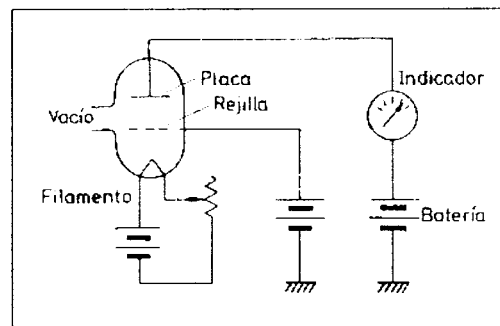


Figura 36. Transductor de filamento caliente
(Creus, 1989).

Estos transductores son muy sensibles y capaces de medir vacíos extremadamente altos. Su señal eléctrica de salida es lineal con la presión. Tienen el inconveniente de ser sensibles a la composición del gas, de tal modo que en ocasiones el filamento caliente provoca cambios significativos en su composición

entre el volumen medido y el volumen contenido dentro del tubo electrónico. El intervalo de medida de estos transductores es de 10^{-3} a 10^{-11} mmHg.

- **Cátodo frío:** El transductor de cátodo frío (Figura 37) se basa en el principio de la medida de una corriente iónica producida por una descarga de alta tensión. Los electrones desprendidos del cátodo toman un movimiento en espiral al irse moviendo a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo.

El movimiento en espiral da lugar a que el camino libre medio entre electrones sea mayor que la distancia entre electrodos. Por consiguiente, aumenta la posibilidad de colisiones con las moléculas del gas presente lo que da lugar a una mayor corriente iónica y de este modo la descarga catódica se mantiene a una presión más baja, o sea a un vacío más alto.

Este instrumento no puede vaciarse de gases tan rápidamente como el de filamento caliente, pero es más robusto y no presenta el problema de la combustión del filamento. Es susceptible de contaminación por el mercurio Y puede provocar la descomposición química de vapores orgánicos a altas tensiones. Su campo de aplicación abarca de 10^{-2} a 10^{-7} mmHg con una escala logarítmica.

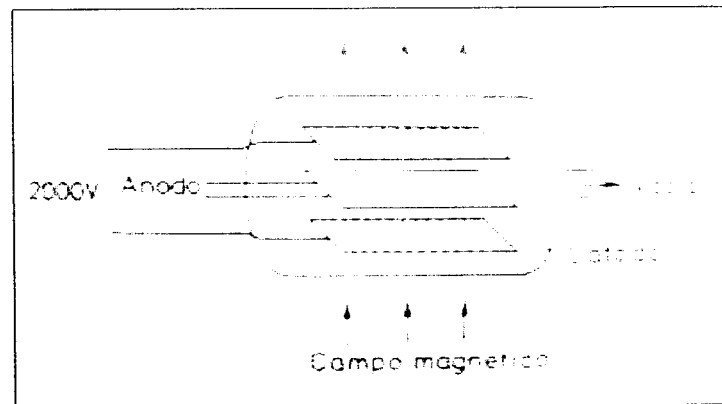


Figura 37. Transductor de catodo frio
(Creus, 1989).

- **Radiación:** En el transductor de radiación (Figura 38) una fuente de radio sellada produce partículas alfa que ionizan las moléculas de gas en la cámara de vacío. Los iones resultantes se recogen en un electrodo y generan una corriente que varía directamente con el número de moléculas en la cámara de vacío y que por lo tanto, es proporcional a la presión total del sistema. No incorporando ningún filamento caliente el instrumento puede exponerse sin daños a presión atmosférica, tiene una emisión estable y no es frágil. A muy bajas presiones requiere un preamplificador ya que las corrientes producidas son muy pequeñas, del orden de 10^{-11} a 10^{-13} A. Su intervalo de medida es de $760 - 10^{-4}$ mmHg.

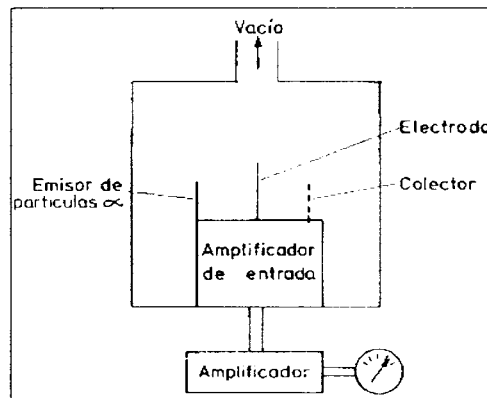


Figura 38. Transductor de radiación
(Creus, 1989).

3.3.4 Principios de funcionamiento.

a.1 Elementos mecánicos primarios de medida directa.

- Manómetro de tubo en U:

Los medidores primarios miden la presión en función de cantidades fundamentales masa, longitud y tiempo. Por ejemplo, el manómetro de mercurio, el manómetro de cilindro-pistón y estos determinan la presión con base a la relación:

$$P = F / A$$

Donde:

P = Presión.

F = Fuerza.

A = Área.

Los manómetros de columna de líquido son patrones que determinan la presión mediante la siguiente relación:

$$P = \rho g h$$

Donde:

P = Presión.

ρ = Densidad del líquido.

h = Altura de la columna.

g = Aceleración de la gravedad.

Los más usuales son los de columna de mercurio, columna de agua y columna de alcohol.

Aquí se utiliza el principio de la medición de la altura de una columna de líquido soportada por una fuerza. Su exactitud depende del conocimiento de la densidad del líquido, de la altura de la columna, de la aceleración de la gravedad, de la temperatura, etc.

Otros manómetros son los llamados manómetros de pistón, los cuales consisten en un conjunto de pesas que bajo la acción de la gravedad generan una fuerza sobre un pistón de área conocida. La presión generada balancea una presión generada por un compresor.

$$P = M g / A$$

Donde:

P = Presión.

M = Masa.

g = Aceleración de la gravedad.

A = Área del pistón.

La incertidumbre en la medición de la presión con un manómetro de pistón, depende a su vez de la incertidumbre se conoce de la masa de las pesas, la aceleración de la gravedad, área de pistón y otros parámetros tales como:

- Temperatura ambiente.
- Presión atmosférica.
- Humedad relativa.
- Densidad del aire.
- Efectos de las propiedades del fluido transmisor.
- Efectos de fricciones entre el pistón y el cilindro.
- etc.

Estos manómetros son conocidos como balanzas de pesos muertos y existen diferentes tipos dependiendo del arreglo cilindro-pistón.

a.2 Elementos primarios elásticos:

La ley de deformación (deformación elástica de un material) del Tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

Su principio de funcionamiento se basa en que, cuando se aplica presión al interior del tubo, por la boca conectada al sistema, suceden dos cosas: primero,

que el tubo tiende a adoptar una sección circular, en lugar de la forma elíptica original; esto se debe a la presión interna dentro del tubo. En segundo lugar, que su extremo cerrado en forma de "C" tiende a enderezarse. Por lo tanto, el tubo de Bourdon es un dispositivo que se deforma bajo la influencia de una presión elástica y este movimiento se transmite a un mecanismo indicador.

En realidad, el último desplazamiento que hemos citado es el que importa a los efectos de interrupción, porque, aunque pequeño, es suficiente como señal de control para numerosas aplicaciones prácticas.

b. Elementos neumáticos.

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

c. Elementos electromecánicos de presión.

c.1 Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas:

Se basan (en su forma más sencilla) en el equilibrio de 2 fuerzas:

- a) La fuerza ejercida por un elemento mecánico de medición (Tubo de Bourdon, espiral, fuelle, etc).
- b) La fuerza electromagnética de una unidad magnética.

El desequilibrio entre éstas 2 fuerzas da lugar a una variación de posición relativa de una barra, excitando un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia o un transformador diferencial. Un circuito oscilador asociado con cualquiera de éstos detectores alimenta una unidad magnética y la fuerza generada reposiciona la barra de equilibrio de fuerzas. Se completa así un circuito de realimentación variando la corriente de salida en forma proporcional al intervalo de la variable de proceso.

c.2 Transductores resistivos: Se basan en la variación de resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia.

c.3 Transductores magnéticos:

- **De inductancia variable:** Se basan en el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina, lo cual aumenta la inductancia de esta en forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.

- **De reluctancia variable:** Se basan en la alimentación de un circuito magnético mediante una fuerza electromotriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es, por lo tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil.

c.4 Transductores capacitivos: Están basados en el principio del condensador diferencial, la presión a medir se transmite mediante dos membranas separadoras y un fluido adecuado a un diafragma sensor situado en el centro del conjunto, este diafragma se desplaza hacia un lado o hacia otro proporcionalmente a la presión diferencial a la que se encuentra sometido. Las variaciones de capacidad se producen como consecuencia del movimiento del diafragma sensor.

c.5 Galgas extensométricas: Se basan en la variación de longitud y diámetro y, por lo tanto, resistencia eléctrica que presenta una galga al estar sometida a una presión. Dicha galga forma parte de un puente de Wheatstone.

c.6 Transductores piezoeléctricos: Se basan en la generación de una fuerza electromotriz (señal eléctrica) por causa de una deformación física de materiales cristalinos.

d. Transductores electrónicos de vacío.

d.1 Mecánicos (Fuelle y diafragma): Estos principios ya se han visto en secciones anteriores.

d.2 McLeod: Se basa en comprimir una muestra del gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar. La presión del gas se deduce aplicando la ley de Boyle-Mariotte.

d.3 Térmicos: Se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada desde la superficie caliente de un filamento calentado por una corriente constante y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas.

d.4 Ionización: Se basan en la formación de los iones que se producen en las colisiones que existen entre moléculas y electrones (o bien partículas alfa en el tipo de radiación). La velocidad de formación de estos iones, es decir la corriente iónica, varía directamente con la presión.

3.3.5. Propiedades metrológicas de los instrumentos.

Ver la sección 3.1.5 de éste capítulo para la definición general de las propiedades metrológicas de los instrumentos. En el caso de presión los instrumentos poseen las propiedades de:

- Linealidad.
- Estabilidad.
- Exactitud.
- Repetibilidad.
- Incertidumbre.

3.3.6. Características metrológicas a determinar.

- Linealidad.
- Estabilidad.
- Exactitud.
- Repetibilidad.
- Incertidumbre.

3.3.7. Normas aplicables.

A continuación se realiza el análisis de la norma aplicable relacionada con el área de metrología de presión, dicho análisis se hará de la siguiente manera:

a) Transcripción de las secciones cuyo entendimiento sea indispensable, éstas serán únicamente informativas.

b) Colocación del título de la sección y/o su transcripción además de su análisis en letras cursivas y entre comillas de la aplicación práctica para el desarrollo del sistema de gestión de las mediciones.

c) La numeración dentro de cada extracto de norma, corresponde al documento original para mayor referencia.

3.3.7.1) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-013-SCFI- 1993, "INSTRUMENTOS DE MEDICION-MANOMETROS CON ELEMENTO ELASTICO ESPECIFICACIONES".

3. Definiciones.

3.1 Presión constante: Es la presión que no varia, o que varia de manera continua a velocidades que no excedan de:

- a) 1 % del límite superior del alcance de medición por segundo, para instrumentos de escala unilateral.
- b) 1 % de los límites superiores de los alcances de medición por segundo, para instrumentos de escala bilateral.

En ambos casos, con la variación más grande de presión, en un minuto no debe exceder del 5% de los valores arriba señalados.

3.2 Presión variable: Una presión que varía periódicamente o no, a velocidades comprendidas entre:

- a) 1% y 10% del límite superior del alcance de medición por segundo, para instrumentos de escala unilateral.
- b) 1% y 10% de la suma de los límites superiores del alcance de medición por segundo, para instrumentos de escala bilateral.

“Con el fin de que algunos de los equipos que están sometidos a presiones variables no sufran daño, pueden ser llenados con glicerina, lo cual evita golpes de ariete y da mayor durabilidad al equipo”.

3.3 Escala unilateral: Es aquella que indica únicamente presión de vacío, presión manométrica o presión absoluta.

3.4 Escala bilateral: Es aquella que indica presión de vacío y presión manométrica en una sola escala.

3.5 Límites normales del alcance de medición: Son los límites de la parte del alcance de medición aceptable para la operación del instrumento que está en servicio.

4.2 Por la clase de exactitud, en las siguientes series.

Serie A: 0,25 0,4 0,6 1 1,6 2,5 4

Serie B: 0,2 0,5 1 2 5

Las clases de exactitud se definen sobre la base del límite superior del alcance de medición. Los mano-vacuómetros: en base al intervalo.

“Dependiendo que es lo que se quiera medir y /o controlar, es necesario seleccionar el instrumento adecuado, existe bibliografía que nos puede ayudar para éste propósito, o se puede solicitar asesoría de fabricantes y/o proveedores, algo muy importante es que para la selección de un instrumento patrón, éste debe tener con respecto al de trabajo por lo menos una relación de 3:1 de exactitud”.

5 Unidades de medición en presión:

5.1 La unidad de presión es el pascal (Pa).

5.2 Los múltiplos kPa, MPa y GPa están autorizados para la graduación de las escalas de los indicadores de presión (manómetros), indicadores de vacío (vacuómetros), e indicadores de vacío-presión (mano-vacuómetros). El bar, sus múltiplos y submúltiplos, especialmente el milibar, pueden ser usados en cuanto sean admitidos por las regulaciones nacionales y hasta que haya una decisión internacional sobre su uso.

Por un período de transición no mayor de 3 años, se permitirá una segunda escala en otras unidades.

“Como vimos en la NOM-008 (Sección 2.4.6.1), en México es obligatorio el uso del sistema internacional de unidades, sin embargo, no se utiliza comúnmente, debido a que muchos de los equipos que se existen en el país son importados y por lo tanto, tienen en sus instrumentos los sistemas de unidades del país de origen (comúnmente sistema inglés)”.

6 Especificaciones:

6.1 Alcance de Medición (Límite Superior y Límite Normal).

Se deben elegir los límites superiores del alcance de medición de una de las siguientes series:

Serie A 1×10^n $1,6 \times 10^n$ $2,5 \times 10^n$ 4×10^n 6×10^n

Serie B 1×10^n 2×10^n 5×10^n Unidades de Presión

Donde n es un número entero positivo, negativo, o cero.

- El límite normal del alcance de medición es igual:

a) Para presión del manómetro, a una fracción del límite superior del alcance de medición L, como se muestra en la Cuadro 22.

b) Para vacío, el límite superior del alcance de medición.

Cuadro 22. Límites de medición

Límite superior del alcance de medición	Límite del alcance de medición	
	Presión cte.	Presión var.
L		
$L < 100 \text{ MPa}$	$\frac{3}{4} L$	$\frac{2}{3} L$
$L \geq 100 \text{ MPa}$	$\frac{2}{3} L$	$\frac{1}{2} L$

(Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1994).

Para efectos de calibración, se autoriza el uso del alcance de medición completo.

“Para asegurarnos que el instrumento de medición es el correcto, es indispensable el tomar en cuenta los límites establecidos en la norma, ya que en caso de incumplimiento, podemos incurrir en provocar una menor duración del instrumento además de afectar su comportamiento”.

6.2 Condiciones estimadas de operación.

Las condiciones estimadas de operación (temperatura ambiente, humedad del aire, contenido de polvo, niveles de vibración y golpe, propiedades físicas y químicas del fluido a medir, y otros) deben ser indicados en la documentación técnica otorgada por el fabricante.

“Es importante cumplir con las condiciones ambientales estipuladas por el proveedor del EIMP, ya que si se rebasan dichos parámetros, nos puede causar problemas de tipo operativo, restar vida al equipo, etc. Y dependiendo de la importancia de su función, problemas de calidad y/o seguridad industrial”.

6.3 Error intrínseco máximo permisible en la verificación.

6.3.1 El error intrínseco máximo permisible, incluyendo la histéresis, es:

- a) $\pm 0,8 A$, para instrumentos nuevos o reparados.
- b) $\pm A$, para instrumentos en servicio.

En donde A es numéricamente igual al índice de la clase de exactitud (4.2), expresado:

- Como un porcentaje del límite superior del alcance de medición, para instrumentos con escala unilateral.

- Como un porcentaje de la suma del valor absoluto de los límites superiores de ambos alcances de medición, para instrumentos con escala bilateral.

6.3.2 El error de histéresis no debe exceder el error máximo permisible, como se especifica en 6.3.1.

6.3.3 Los instrumentos deben cumplir con los requerimientos de 6.3.1 y 6.3.2 bajo las siguientes condiciones:

a) Los instrumentos se deben instalar en posición normal.

b) La variación de presión debe ser lenta y continua, para poder suprimir el efecto de la fuerza de inercia.

c) La temperatura de los instrumentos y la del aire ambiente deben ser igual a 296 K (23°C) con una desviación que no conduzca a una variación de indicación mayor a 11% del error máximo permisible del instrumento.

Cuando el patrón ha sido calibrado a otra temperatura, es conveniente realizar la calibración a la temperatura de calibración del patrón.

d) La humedad relativa no debe exceder del 80%.

e) Debe haber ausencia de vibraciones y golpes, o en caso de que se presenten, no deben alcanzar un valor que provoque la oscilación del índice con una amplitud mayor a 10% de la longitud de la división más pequeña de la escala.

f) Verificar que el extremo del acoplamiento del instrumento está en el mismo plano horizontal que el instrumento patrón, si no se cumple con este requerimiento, se debe tomar en cuenta la presión resultante de la columna del fluido manométrico.

g) El medio (gas o líquido) empleado para transmitir la presión en el momento de la calibración, con excepción de los casos en que se especifique un medio en particular para el instrumento que se va a calibrar, debe ser:

- Un gas inerte, para instrumentos con límite superior del alcance de medición que no exceda 0,5 MPa.
- Un líquido no corrosivo, para instrumentos con un límite superior del alcance de medición que exceda 0,5 MPa.

Para producir la presión en el momento de la calibración se puede usar cualquier medio (gas o líquido) en instrumentos que no presenten un cambio de indicación mayor a 11% del error máximo permisible, al cambiar de gas a líquido o viceversa.

“Los puntos anteriores son importantes, ya que pueden alargar la vida útil de estos instrumentos, dar validez a las mediciones obtenidas (en caso de las condiciones del patrón), etc.”.

6.3.4 Si se ha calibrado el instrumento bajo condiciones diferentes a las condiciones de referencia especificadas en 6.3.3, la verificación del instrumento de conformidad, con los requerimientos de 6.3.1 y 6.3.2, Se lleva a cabo bajo estas condiciones nominales, y las condiciones de referencia que causen una variación de indicación que exceda 11% del error máximo permisible.

6.4 Variación de indicación bajo condiciones de operación establecidas.

6.4.1 La variación de indicación de los instrumentos, debido a variación de temperatura, no debe exceder de:

$$\pm^{\circ}\text{C}-(t_2-t_1) \%$$

En donde:

t_1 es la temperatura de referencia especificada en (6.3.3 c) o la temperatura nominal especificada en 6.3.4, t_2 es la temperatura ambiente del aire, especificada en (6.2); Es el coeficiente de la temperatura especificado en Normas Nacionales, en por ciento por cada grado Celsius.

En caso de no contar con valores de los coeficientes se usará una corrección de 0,1% por cada 276 K (3°C) de diferencia de temperatura, ($^{\circ}\text{C} = 0,033^{\circ}\text{C}^{-1}$).

6.4.2 Bajo los efectos de vibraciones dentro de los límites especificados en (6.2), la variación de indicación y la amplitud de oscilación del indicador no deben exceder el error máximo permisible, indicado en 6.3.1.b.

6.5.3 Los instrumentos deben ser transportados en empaques que aseguren que sus características metrológicas se mantengan. Cuando es necesario verificar el efecto de condiciones de transporte, los instrumentos empacados deben ser sometidos a:

- a) Una temperatura de aire ambiente de 253 K (-20°C) o en casos especiales 223 K (-50°C) y 323 K ($+50^{\circ}\text{C}$) durante 6 horas en cada una de estas temperaturas.
- b) Sometiendo a una aceleración de 30 m/s^2 y una frecuencia de 80 a 120 golpes por minuto durante 2 horas.

Después de realizar estas pruebas, los instrumentos deben cumplir con 6.3.1.

“Como se mencionó anteriormente, si se tiene duda de cómo fueron transportados los instrumentos, será necesario realizar las pruebas arriba descritas, esto debe establecerse en un procedimiento documentado para que los resultados y las condiciones sean repetibles y reproducibles”.

6.6 Requisitos de los dispositivos indicadores.

La numeración de la carátula y de la unidad marcada en ella debe dar directamente el valor de la presión medida, sin tener que aplicar un factor de multiplicación.

6.8 Controles metrológicos.

Estos instrumentos deben de obtener antes de su comercialización:

- b) verificación inicial de los instrumentos nuevos o reparados.
- c) verificación y calibración periódica de los instrumentos en servicio.

La evaluación del patrón para cada tipo de instrumento, producido por cada fabricante, se lleva a cabo de acuerdo con las características metrológicas del patrón, con todos los requisitos de esta norma y con las de las normas de referencia. Se somete a los instrumentos, de manera individual, a las verificaciones iniciales y periódicas. La elección de las características por verificarse deben ser limitadas, y los métodos de control deben ser lo más sencillos posible; deberán ser suficientes para reconocer el estado satisfactorio del instrumento.

CAPITULO 4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DOCUMENTAL GENERAL PARA CONFIRMACION METROLOGICA.

4.1. Aspectos básicos de un laboratorio de metrología. ^(5, 27, 29)

Como ya se ha comentado anteriormente, el tener un sistema confiable de mediciones nos ayuda a:

- Aumentar la confianza de los clientes.
- Asegurar la calidad del producto, disminuyendo costos de no-calidad.
- Apoyar objetivamente las decisiones de mejora.
- Aumentar la eficiencia en el uso de los recursos.
- Facilitar la comparación en caso de controversias.

Un laboratorio de metrología se entiende como la organización que realiza procesos de medición. Generalmente los laboratorios se encuentran confinados en áreas físicas específicas con el objeto de tener un ambiente controlado. Aunque esto último no es requisito si la exactitud de las mediciones que se realizan no se ven afectadas por el medio ambiente.

Existen 3 tipos de laboratorio de acuerdo a la exactitud manejada:

- **Laboratorios primarios:** Así son llamados los Laboratorios que en general representan a cada país en cuestiones metrológicas.
- **Laboratorios secundarios:** Son aquellos cuya exactitud es menor que la de un laboratorio primario, en México, los laboratorios forman una red, estos deben de

calibrar los instrumentos que utilizan con un laboratorio primario, en México el CENAM.

- **Laboratorios terciarios o de trabajo:** Son aquellos laboratorios que se encuentran por lo regular a nivel industrial y los cuales tienen la función de confirmar metrológicamente los instrumentos utilizados para los procesos industriales.

También existe otra clasificación en cuanto al uso de laboratorio, por lo que se pueden clasificar en:

Laboratorios de medición: Lugar en donde se realiza la medición de características o propiedades físicas o químicas de materiales o sustancias.

Laboratorios de pruebas: Lugar donde se prueba, mediante procesos de medición y pruebas normalizadas, las características o comportamiento de productos o equipos. Generalmente en éste tipo de laboratorios se realizan las pruebas de cumplimiento.

Laboratorios de investigación: Lugar en donde se realizan diversos procesos de medición como apoyo para el desarrollo de nuevas tecnologías o productos.

Una buena medición es el resultado de haber considerado una serie de factores, que pueden afectar al resultado de la medición:

- El uso de instrumentos calibrados.
- Que la incertidumbre sea conocida.
- Con la trazabilidad asegurada.
- Procedimientos para la realización de mediciones, para el manejo y el mantenimiento de los instrumentos, así como los aspectos administrativos.
- Personal capacitado y con experiencia.
- El conocimiento de los factores de influencia de las mediciones.

Y de ésta manera se consiguen los puntos clave para garantizar la competitividad de la empresa en el mercado nacional y/ o mercados internacionales.

Un área de metrología mínimo debe contar con los siguientes aspectos para poder llevar a cabo de manera eficiente su función.

- Listado completo de los documentos que forman el sistema de calidad los diversos procedimientos de trabajo más importantes. (Calibración de equipos, mantenimiento de éstos, acciones correctivas, acciones preventivas, instrucciones de trabajo).
- Documentos de referencia como normas, publicaciones técnicas, métodos, recomendaciones, etc.
- Manuales de instrumentos.
- Registro de los instrumentos.
- Registro de pruebas y calibraciones realizadas en el área por instrumento, por magnitud, etc.
- Historial del personal técnico.
- Historial de los patrones.
- Documentos varios (publicaciones de proveedores, cursos de formación técnica, etc).

Por otro lado, la norma ISO/IEC-17025 "General Requirements for the competence of testing and calibration laboratories", respectivamente su versión Mexicana NMX-EC-17025-IMNC, establece los requisitos para laboratorios de calibración y prueba.

Los requisitos de ésta norma están agrupados en 2 bloques: Requisitos administrativos y técnicos.

Los componentes EQUIPO, PERSONAL Y ADMINISTRACIÓN no forman parte de la norma y solo se pretende mostrar la estructura fundamental de un sistema de calidad y la vinculación de éstos 3 componentes.

Los requisitos de la ISO/ IEC-17025 pueden servir a cualquier laboratorio (de calibración) ó área donde se pretenden obtener mediciones confiables y válidas, aunque no en todos los casos es necesaria una aplicación rigurosa o un desarrollo minucioso de todos los puntos (dependiendo del objetivo o función de laboratorio o área).

a) Personal.

Un elemento primordial para lograr el aseguramiento metrológico o confirmación metrológica es el personal. Este debe de tener suficiente experiencia, contar con capacitación adecuada de las labores de medición que se van a desempeñar y habilidad manual en el desarrollo de las prácticas de medición. Adicionalmente, puede requerir de un entrenamiento específico en el caso de operar instrumentos complejos. El personal también debe permanecer actualizado mediante grupos de discusión, revistas, libros, boletines, etc.

La instrumentación y el procedimiento de medición, no importa que tan buenos sean, de ninguna manera puede compensar la falta de conocimiento, experiencia o habilidad para la realización adecuada de la medición o para la evaluación correcta de los resultados.

Por otro lado debe existir una supervisión adecuada del trabajo efectuado por el personal y ejercicios periódicos de intercambio de labores con objeto de detectar vicios o prácticas inadecuadas por parte de los operarios.

Por lo tanto, por parte del personal se requiere:

- a) Educación.
- b) Conocimiento técnico.
- c) Experiencia.
- d) Entrenamiento actualizado.

b) Instalaciones.

También es importante realizar las mediciones y calibraciones en un ambiente adecuado, para evitar que variaciones en los parámetros ambientales o interferencias externas influyan en los resultados de la medición de una manera no tolerable. De la misma manera es importante restringir el acceso a ésta área para evitar influencias humanas no controladas en el sistema de medición o daños por un manejo inadecuado.

En lo que respecta a las instalaciones deben de:

- a) Facilitar la correcta ejecución de las calibraciones.
- b) Monitorear, controlar y registrar las condiciones ambientales.
- c) Áreas separadas para actividades incompatibles.
- d) Mantenimiento cotidiano del área o laboratorio.

c) Equipo.

Algunos puntos aplicables tomando como referencia la ISO/ IEC-17025 con respecto al equipo son:

5.5.2 El equipo debe ser capaz de alcanzar la exactitud requerida y debe cumplir con las especificaciones pertinentes para los ensayos y/ o calibraciones.

5.5.3 El equipo debe ser operado por personal autorizado.

5.5.5 Deben mantenerse registros de cada elemento del equipo.

5.5.6 El laboratorio debe tener procedimientos para el manejo, transporte, almacenaje, uso y mantenimiento.

5.5.7 Debe ponerse fuera de servicio, el equipo que haya estado sujeto a sobrecargas o a mal manejo, que dé resultados sospechosos, que haya mostrado ser defectuoso o fuera de los límites especificados.

5.5.8 Todo el equipo que requiera calibración, debe ser etiquetado, codificado o identificado de otra manera para indicar el estado de calibración, incluyendo la fecha de última calibración.

5.5.9 Cuando el equipo queda fuera del control directo del laboratorio, el laboratorio debe asegurar que el funcionamiento y el estado de calibración del equipo es verificado.

5.5.12 El equipo deberá ser protegido de ajustes que puedan invalidar los resultados de las calibraciones.

d) Trazabilidad.

Respecto a la trazabilidad la ISO / IEC 17025 exige (entre otros aspectos).

5.6.1 Todo el equipo usado para calibraciones, incluyendo equipo para mediciones auxiliares, que tenga un efecto significativo sobre la exactitud o validez del resultado de la calibración, debe ser calibrado antes de ser puesto en servicio. El laboratorio debe tener establecido un procedimiento y un programa para la calibración de su equipo.

5.6.2.1...de tal manera que asegure que las calibraciones y las mediciones hechas por el área o laboratorio sean trazables al SI.

5.6.3.1 El laboratorio debe de tener un programa y un procedimiento de calibración de sus patrones de referencia. Los patrones de referencia deben ser calibrados por un organismo que pueda proveer trazabilidad al SI. Tales patrones de referencia deben ser usados solamente para propósitos de calibración.

5.6.3.3 Se deben llevar a cabo las verificaciones intermedias necesarias para mantener la confianza en el estado de calibración de los patrones de referencia, primarios, de transferencia o de trabajo, de acuerdo a procedimientos y programas definidos.

4.2. Documentos generales para la realización de la confirmación metrológica. ^(30, 31, 32)

Un esquema documental es aquel que nos define la estructura de la cual estará formado un sistema, éste nos indicará como interactúan los documentos que serán aplicados al desarrollo de la confirmación metrológica, basados en el Proyecto de Norma PROY-NMX-CC-10012-IMNC-2003.

A continuación se presentan los documentos que formarán el sistema de confirmación metrológica, teniendo éstos la siguiente estructura.

- **Título:** Nos indica cual es su función principal.

- **Objetivo(s):** Nos dirá el (los) propósito(s) que deberá cumplir el documento.

- **Alcance:** Nos indicará donde inicia y donde terminan las actividades del documento y en que sitios es aplicable.

- **Lineamiento(s):** Nos dice las reglas específicas que deberá cumplir el personal, proveedores, etc. Para llevar a cabo las tareas que le corresponden de manera satisfactoria.

- **Definición(es):** En caso de que sea necesario, se colocarán los términos que no sean comunes y su significado.

- **Secuencia de trabajo:** Nos describe de manera general (cada organización deberá realizar las adaptaciones pertinentes) el orden de las actividades con un esquema QUE, COMO y OBJETIVO.

- **Documento(s) a elaborar:** Dentro de los documentos se hace referencia a formatos 1, 2, 3, etc. Estos se elaborarán de acuerdo a las necesidades de cada organización.

- **Aspectos adicionales:** En esta sección, se señalan (además de la secuencia de trabajo) actividades que deben ser realizadas para cumplir con la normatividad establecida.

4.2.1. Control de los equipos de Inspección, Medición y Prueba.

Este primer documento fungirá como rector de los siguientes documentos de trabajo (4.2.2 a 4.2.5, a los cuales se les llamará procedimientos).

Objetivo: Establecer los lineamientos para tener el control de los equipos de inspección, medición y prueba existentes en las diferentes áreas de la planta.

Alcance: Este proceso es aplicable a todas las áreas en donde existan equipos de inspección medición y prueba, es aplicable desde que se realiza el inventario hasta que se elabora el reporte del estado del sistema

Lineamientos:

a) El responsable de la función metrológica tiene como principal objetivo la administración y el control del sistema aplicado a los equipos de inspección, medición y prueba, así como también de los patrones de medición utilizados para llevar a cabo las diversas actividades. Esto incluye revisar los inventarios, los datos de los informes emitidos (así como el avisar al (las) área(s) involucrada(s) cualquier

desviación en su(s) equipo(s)), las actividades de calibración, etc; del mismo modo, es quien analiza estudios y revisa los cálculos y/o resultados oficiales que emite la función a su cargo con el propósito de corregir posibles errores. Además, es responsable de difundir los procedimientos e instructivos concernientes al área entre los miembros involucrados en el sistema metrológico.

b) Es responsabilidad de los usuarios de los EIMP, el revisar y asegurarse que se utilicen sólo aquellos que se encuentren debidamente calibrados y/o verificados, así como notificar al departamento correspondiente cualquier anomalía que pudiera poner en riesgo la confiabilidad de las mediciones.

c) Es responsabilidad de todas las personas involucradas en el proceso y en la función metrológica observar que se cumpla lo establecido en este documento.

d) Es responsabilidad del titular de la función metrológica llevar el control de la calibración de los equipos de inspección, medición y prueba y los patrones de medición, para lo cual deberá tomar las previsiones que sean necesarias, así como vigilar porque se cumpla lo establecido en este proceso.

e) Las fuentes de apoyo (laboratorios de metrología) que se seleccionen para realizar los servicios de calibración, deberán cumplir con los requisitos establecidos.

f) Para los servicios de calibración, se seleccionarán proveedores que demuestren una trazabilidad nacional o internacional confiable en sus servicios y patrones, ante instituciones reconocidas. (CENAM, Laboratorios acreditados ante la EMA, NIST, etc.).

Secuencia de trabajo:

QUE	COMO	OBJETIVO
<p>1.Elaborar/ actualizar Inventario de equipos de inspección medición y prueba (EIMP).</p>	<p>Actualizando el Inventario en Formato 01 (puede ser un documento en papel o en electrónico). Nota: Cuando se requiera hacer un cambio en el inventario se llenará la Formato 03 del presente documento "Aviso de modificación a inventario de EIMP".</p>	<p>Tener actualizado el inventario de los equipos de inspección, medición y pruebas.</p>
<p>2.Codificar EIMP.</p>	<p>Colocando físicamente sobre cada equipo el código asignado. (En caso de que no se pueda colocar directamente sobre el equipo, hacerlo sobre su estuche) o mantenerlo en las Oficinas del Depto. responsable identificado.</p>	<p>Identificar el equipo y asegurar que tenga un número de control único y facilitar una rápida identificación.</p>
<p>3.Catalogar los equipos de inspección medición y pruebas.</p>	<p>Asignando a cada equipo el criterio de importancia (de acuerdo a los sistemas que designe la organización (pueden ser HACCP, grado de afectación en la calidad de los productos, etc.).</p>	<p>Establecer la prioridad que deberá tener cada equipo en su confirmación metrológica.</p>
<p>4.Identificar,manejar, conservar y transportar el EIMP.</p>	<p>De acuerdo a las especificaciones del fabricante, a recomendaciones de la sección <i>Aspectos adicionales</i> y verificando el cumplimiento de los programas planeados.</p>	<p>Tener en buenas condiciones los EIMP y evitar su uso inadecuado.</p>

5.Elaborar/Actualizar programa(s).	Según el criterio elegido para cada equipo en cuanto a su importancia.	Verificar su cumplimiento y que no se ocasionen fallas que potencialmente puedan afectar a la calidad del producto.
6.Realizar trámite de verificación con PROFECO.	De acuerdo a Normas Oficiales Vigentes.	Conocer el estado actual del funcionamiento de los equipos según aplique y autorizar su uso.
7.Contactar visita.	Comunicándose vía telefónica y realizando trámites correspondientes.	Organizar visita a planta por parte de PROFECO.
8.Verificar equipos	De acuerdo al plan de trabajo de PROFECO (El personal debe presentarse no más de 5 días hábiles después de haber realizado el trámite y el pago en alguna institución bancaria).	Cumplir con la verificación periódica.
9.Colocar Hologramas.	Según las políticas y procedimientos de PROFECO.	Generar la evidencia de la verificación.
10.Realizar la verificación de los requisitos metrológicos.	Ver procedimiento de la sección 4.2.2 del presente capítulo.	Asegurar que los EIMP existentes cumplen con las necesidades de la planta.

11. Evaluación a proveedores.	De acuerdo al procedimiento que establezca la organización.	Asegurar que los proveedores que realizan servicios a los EIMP cumplen con las necesidades de la planta.
12. Realizar calibración a los equipos patrón.	Ver procedimiento de la sección 4.2.3 del presente capítulo.	Obtener mediciones confiables en los EIMP patrones.
13. Realizar confirmación de los EIMP.	Ver procedimiento de la sección 4.2.4 del presente capítulo.	Obtener mediciones confiables en los EIMP confirmados.
14. Realizar estudios R&R.	Ver procedimiento de la sección 4.2.5 del presente capítulo.	Conocer y controlar la variación en los resultados producidos por el sistema de medición.
15. Reportar EIMP dañado.	Avisando al personal pertinente establecido por la organización.	Para realizar trámite de compra del nuevo EIMP.
16. Seleccionar equipo.	Ver procedimiento 4.2.2 y llenando Formato 04 del presente documento "Solicitud de compra de equipo de inspección, medición y pruebas".	Cubrir las necesidades metrológicas del cliente.
17. Comprar equipo.	Llenando Formato 04 del presente documento y entregándola al personal pertinente establecido por la organización.	Realizar la compra del (los) EIMP.
18. Entregar equipo.	Según proceso de entrega establecido por la organización.	Cumplir con el documento de compra.

19. Reporte del estado del sistema.	Por medio de graficas y reportes.	Informar cumplimiento y situaciones extraordinarias.
20. Mejora continua.	Revisando las actividades documentadas y realizadas llevando acciones correctivas/ preventivas donde se considere adecuado.	Hacer más eficaces y eficientes las actividades realizadas.

Documentos a elaborar:

Formato 01 Inventario de Equipos.

Formato 02 Programa General de estudios metrológicos.

Formato 03 Modificación al inventario EIMP.

Formato 04 Solicitud de compra de Equipo.

Formato 05 Revisión de Factores Ambientales.

Aspectos adicionales:

Identificar, manejar, conservar y transportar los equipos de inspección, medición y prueba.

La función metrológica establece *la identificación, el manejo, la conservación y la transportación de los equipos de inspección, medición y prueba* de acuerdo a lo descrito a continuación. Cabe destacar, que para efectos de este punto se consideran todas las acciones que se realicen para empacar, manejar, enviar y/o transportar cualquier equipo o instrumento de inspección, medición y pruebas. Se incluyen los envíos a Laboratorios externos.

a) Identificación.

Existen 2 criterios básicos mediante los cuales se identifican los equipos, que son los siguientes:

- Se les coloca un número de identificación de acuerdo al equipo al cual pertenecen y si hay más instrumentos en dicho equipo, se les asigna una letra del alfabeto en forma ascendente.

- Los equipos que pertenezcan a la sección de pesaje ó alguna otra se les asignará un número consecutivo de acuerdo al listado de los equipos del área de servicios.

b) Manejo.

- Todo instrumento o equipo debe ser transportado manualmente. Esto es aplicable para equipos portátiles, los cuales puedan ser soportados hasta por dos personas.

- Cuando un equipo es tan pesado de manera que debe ser transportado por un montacargas, éste debe desplazarse a una velocidad moderada, además, se deben colocar cartones u otro material suave para no dañar el equipo con las cuchillas del montacargas asegurándose de colocar los aditamentos de fijación o "candados" en las partes móviles (brazos de balanzas, agujas indicadoras, sistemas pivoteados, etc.). Si el instrumento o equipo es transportado en automóvil, debe ser colocado en los asientos y no en la cajuela o piso.

c) Conservación.

- Todo instrumento o equipo de medición y pruebas debe ser colocado en un lugar donde no esté sometido a golpes o vibraciones, además deben estar protegidos contra condiciones ambientales severas.

- Se deben mantener limpios.

- Cuando no se utilicen se deben proteger con plástico, o si se cuenta con su empaque o estuche este debe ser utilizado.

- Para el caso de patrones de calibración activos, estos deben conservarse dentro del área destinada por la función metrológica.

- Como medida de conservación de las características metrológicas, los metrólogos colocan sobre todos los instrumentos un sello de integridad que prohíbe el movimiento de los ajustes de estos equipos (Para mayores detalles referirse al "Procedimiento para la confirmación metrológica de los EIMP")

d) Transporte.

- El usuario debe proporcionar los medios adecuados para la protección de sus instrumentos, considerando para ellos la fragilidad y delicadeza de los mismos. Refiriéndose, principalmente a las especificaciones del fabricante.

- Previamente al envío, el usuario debe revisar el funcionamiento del instrumento para detectar cualquier posibilidad de falla.

Revisando las condiciones de la extensión de alimentación de energía, fusibles y protecciones, además de realizar una limpieza cuidadosa de las partes externas del instrumento (cubiertas, pantallas, ventanas, brazos, platillos, botones, palancas, accionadores, etc.).

- Todo instrumento que para su operación requiera de baterías, éstas deben ser reemplazadas por piezas nuevas. Se debe revisar el estado físico de los conectores de las baterías para evitar falsos contactos o daños por corrosión.

- Debe protegerse al instrumento de cualquier situación adversa de temperatura, humedad, impacto, vibración, presión, polvo, etc. Utilizando los medios convenientes.

Dentro de las mismas instalaciones:

- Los instrumentos pequeños se deben transportar manualmente, evitando el transporte en "carros" que transmitan vibraciones al equipo.

- Para equipos de gran tamaño o volumen referirse al punto b), segunda recomendación.

Fuera de las instalaciones:

- El transporte de los instrumentos a algún laboratorio externo localizado a distancias cortas (dentro de la misma ciudad), debe realizarse preferentemente vía automóvil, procurando proteger los instrumentos contra fuertes vibraciones mecánicas y siguiendo las instrucciones de los puntos anteriores.

Transporte de ciudad a ciudad:

- Para la transportación de instrumentos de una ciudad a otra, se deben seguir todas las recomendaciones descritas en este procedimiento, además de considerar las condiciones del medio de transporte en función de la importancia, características metrológicas y jerarquía o importancia del instrumento.
- En la transportación de instrumentos “pasivos” (bloques patrón, calibradores mecánicos, anillos de calibración, cintas métricas, reglas graduadas, etc.) solamente será necesario protegerlos de cualquier situación adversa de temperatura, humedad o golpes bruscos.
- Los instrumentos de medición de alta clase de exactitud (patrones primarios, celdas de puntos fijos, conjuntos de pilas patrón, fuentes de referencia, etc.) deberán ser trasladados por medio especializados de transporte y bajo la vigilancia estricta de alguna de las personas involucradas en el área.

El transporte puede realizarse en automóvil con el cuidado correspondiente en cada caso al tipo de instrumento, cantidad e importancia de los mismos.

Considérese en este caso la trascendencia del hecho de sufrir una alteración en las características del instrumento y la repercusión en las futuras

determinaciones realizadas con este equipo y sus efectos en la calidad de sus productos derivados.

e) Riesgos y consecuencias de las fallas dentro del sistema metrológico:

Riesgo(s)	Consecuencia(s)
1. No cumplir con programa de pruebas metrológicas.	a) Posible presencia de problemas sin detectar a tiempo, utilizando en el proceso equipos sin conocer su estado de confirmación metrológica, pudiendo ser fuente de problemas de calidad del producto en detrimento de los consumidores.
2. Trabajar con EIMP que no cumpla con las tolerancias establecidas.	
3. No realizar acciones correctivas/preventivas en tiempo y forma.	

4.2.2 Revisión de los requisitos metrológicos del cliente.

Objetivos:

- a) Establecer los pasos necesarios para llevar a cabo la investigación de los requisitos metrológicos del cliente para los equipos de inspección, medición y prueba (EIMP).
- b) Analizar los resultados de los requisitos metrológicos del cliente obtenidos para determinar si los EIMP existentes son los adecuados para satisfacerlos.

Alcance: El alcance de éste procedimiento comprende desde la revisión de la medición en la formulación de los productos de la empresa (los cuales nos indican los requisitos del cliente); hasta el análisis de los EIMP como elementos que satisfagan a estos.

Lineamientos:

a) Es responsabilidad del titular de la función metrológica llevar el control de los EIMP para que estos satisfagan totalmente los requisitos del cliente, para lo cual deberá tomar las previsiones que sean necesarias, así como vigilar porque se cumpla lo establecido en este procedimiento.

b) Las revisiones metrológicas se llevarán a cabo de acuerdo a un programa establecido y/o cuando exista la necesidad de llevar a cabo dichas revisiones por alguna de las siguientes causas:

b.1) Cambio de especificaciones en procedimientos de trabajo de I&D (R&D) que amerite modificación en algún(os) equipo(s).

b.2) Alguna situación extraordinaria.

Definiciones:

Requisitos metrológicos del cliente: Son aquellos que nos indican la capacidad requerida, resolución, etc. Los cuales deben ser cumplidos por los EIMP para su utilización en los procesos de elaboración de los productos de la organización.

Pasos a seguir:

QUE	COMO	OBJETIVO
1. Elaborar/ Actualizar programa para la verificación de los requisitos metrológicos del cliente.	Identificando los EIMP utilizados para satisfacer los requisitos, revisando prioridades de los clientes de la planta e identificando los posibles cambios en los procedimientos y siguiendo el Programa General.	Conocer si los EIMP que se encuentran en la planta pueden satisfacer los requisitos metrológicos del cliente.

<p>2. Investigar en procedimientos / áreas de la empresa.</p>	<p>Identificando en todos y cada uno de los procedimientos la medición máxima y la medición mínima de cada uno de los productos que se miden en cada proceso.</p>	<p>Tener el registro real y sustento documental de lo que los clientes necesitan para realizar los procesos de manera correcta.</p>
<p>3. Clasificar información por EIMP (requisitos del cliente).</p>	<p>Identificando los productos que se miden en cada EIMP, colocándolos en el Formato 01 del presente documento, firmando de enterado y Vo.Bo. en un memorandum áreas involucradas.</p>	<p>Tener plenamente identificados todos y cada uno de los productos que se miden en cada EIMP.</p>
<p>4. Verificar que el equipo cumpla con éstos requisitos.</p>	<p>Analizando la resolución, alcance, etc., que requieren los clientes de cada uno de los EIMP y si estos son capaces de satisfacerlos.</p>	<p>Para que cuando sea el caso se identifiquen y se puedan tomar las medidas necesarias que se les harán a los EIMP correspondientes para satisfacer con los requisitos metrológicos del cliente.</p>
<p>5. Entregar a cliente.</p>	<p>Verificando el cliente el equipo.</p>	<p>Que el equipo siga en funcionamiento.</p>

6. Firmar de conformidad.	Estando de acuerdo con lo expuesto en el Formato 01 del presente documento.	Tener documentado que el cliente está de acuerdo que los EIMP que utiliza satisfacen sus requerimientos metrológicos.
7. Continuar en uso.	Dejándolo en condiciones de operación.	Que el cliente continúe realizando mediciones con él.
8. Verificar si el equipo se puede adecuar para satisfacerlos.	Llenando la forma.	Saber si el equipo con que se cuenta es capaz de satisfacerlos y en su caso tomar las medidas necesarias para buscar como satisfacerlos.
9. Cambiar el equipo.	Revisando si se pueden modificar sus parámetros como resolución, alcance, etc. En caso contrario, desecharlo. Y elaborar evidencia documental.	Que satisfaga los requisitos metrológicos del cliente y por ende los de la planta.
10. Mejora continua.	Evaluando el plan, sus resultados y verificando procedimientos de trabajo documentados.	Hacer más eficaces y eficientes las actividades realizadas.

Anexo:

Formato 01 Captura de los requisitos metrológicos del cliente.

4.2.3. Control de los equipos de inspección, medición y prueba patrón.

Objetivos:

- a) Establecer los requisitos y pasos necesarios para llevar el control de la calibración de los equipos de inspección, medición y prueba patrón.
- b) Analizar los informes de calibración obtenidos de el (los) proveedor(es) externo(s) para determinar los periodos de calibración óptimos para los EIMP patrón.

Alcance:

El alcance de éste procedimiento comprende desde la elaboración de los programas para la calibración de los patrones utilizados para la confirmación metrológica de equipos de inspección, medición y prueba de trabajo hasta el análisis de los informes obtenidos.

Lineamientos:

- a) Es responsabilidad del titular de la función metrológica llevar el control de la calibración de los patrones, para lo cual deberá tomar las previsiones que sean necesarias, así como vigilar porque se cumpla lo establecido en este procedimiento.
- b) Las calibraciones se llevarán a cabo de acuerdo a un programa establecido y/o cuando exista la necesidad de llevar a cabo dichas calibraciones.
- c) Los patrones utilizados para las confirmaciones de los diferentes instrumentos o equipos de medición y prueba deberán tener trazabilidad confiable hacia organismos o instituciones reconocidas que así lo demuestren además de cumplir con la clase de exactitud necesaria (3:1 por lo menos).

Secuencia de trabajo:

QUE	COMO	OBJETIVO
<p>1.Elaborar/actualizar Programas de calibración para patrones.</p>	<p>Revisando fechas de acuerdo a la Forma 02 del proceso "Programa general de pruebas y estudios metrologicos y revisando los resultados.</p> <p>Nota 1: Asegurarse que no afecten el programa interno de confirmación metroológica de los instrumentos.</p> <p>Nota 2: debe ser acompañados de la documentación técnica que acredite el servicio realizado.</p>	<p>Asegurar la calibración de los equipos de acuerdo a su uso.</p>
<p>2. Enviar a calibrar.</p>	<p>Proveedor externo.</p>	<p>Asegurar que se encuentren dentro del EMT del Equipo de trabajo EIMP.</p>
<p>3.Calibrar EIMP(s) patrón(es).</p>	<p>Recibiendo la documentación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Informe de calibración. 2.- Carta de trazabilidad del equipo con la que fue calibrado el EIMP patrón. 3.- Certificado del laboratorio externo de acreditación ante algún organismo autorizado. 4.- informe de calibración de patrón con la que fue calibrado nuestro instrumento EIMP patrón. 	<p>Confirmar que el equipo se encuentre dentro EMT.</p>

4. Analizar informes de calibración.	Analizando el historial de calibración del EIMP patrón correspondiente.	Verificar si no hay variaciones y si lo hay hacer los cambios correspondientes. Nota: por ejemplo modificación de los periodos, etc.
5. Seguir programa de calibración de los EIMP patrón de referencia.	Revisando el programa.	Evitar el vencimiento de la fecha de calibración correspondiente.
6. Verificar patrones de referencia vs patrones de trabajo.	Realizando las verificaciones de acuerdo al Formato 01 del presente documento.	Evitar el uso de equipo no apto para su utilización.
7. Seguir utilizando patrón de trabajo	Sin modificaciones.	Asegurar el cumplimiento de los programas de trabajo.
8. Realizar acciones correctivas / preventivas.	Ajustando e indicando la desviación en el (los) instrumento(s).	Evitar el uso de equipo no apto para su utilización.
9. Mejora continua.	Actualizando el programa interno de calibración y/o documentación de EIMP patrón y si es necesario contactar con los proveedores externos especializados en metrología.	Eficientar el programa de calibración de los EIMP patrón.

Documentos a elaborar:

Formato 01 Verificación de EIMP patrón de referencia vs EIMP patrón de trabajo ó equipo de planta.

4.2.4. Confirmación metrológica de los equipos de inspección, medición y prueba.

Objetivo: Establecer las instrucciones necesarias para la confirmación de los equipos de inspección, medición y prueba, utilizados como dispositivos individuales o de sistemas de medición, para determinar las características especificadas de un producto o materia prima.

Alcance: El siguiente procedimiento comprende a todos los equipos de inspección, medición y prueba (EIMP) considerados en los programas establecidos.

Lineamientos:

a) Es responsabilidad del titular de la función metrológica llevar el control de las confirmaciones de los equipos de inspección, medición y prueba, para lo cual, deberá tomar las previsiones que sean necesarias, así como vigilar porque se cumpla lo establecido en este procedimiento.

b) Tanto las calibraciones en servicio como las calibraciones completas, se realizan con patrones certificados por proveedores externos. En caso de no tener disponible un patrón de esta índole, se podrá utilizar un equipo de medición tomando en cuenta los siguientes requisitos:

- Seleccionar un equipo de medición, con el alcance adecuado a la calibración que se va a realizar.
- Asegurarse que la calibración anterior continúe vigente.
- Realizar una calibración en uso en el punto más cercano al que se va a utilizar.
- Al finalizar, anotar los datos del equipo de medición utilizado y los resultados de la calibración, en el reporte de trabajo correspondiente.

c) Las condiciones ambientales deseables para ambas calibraciones son:

- Temperatura: de 20 a 25°C con una variación máxima de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante un día hábil.

- Humedad relativa: de 55 a 60%, con una variación máxima de $\pm 10\%$ durante un día hábil.

- En caso de que las condiciones no sean las descritas anteriormente, reportar en el informe de calibración dichas condiciones para las cuales será válido éste informe.

d) En caso de que exista desviación en algún(os) equipo(s) en el (los) cual(es) se haya(n) efectuado pruebas metrológicas, asentar las observaciones en el formato correspondiente y avisar a las áreas involucradas, ya sea por escrito y/o vía electrónica.

Secuencia de trabajo:

QUE	COMO	OBJETIVO
1.Elaborar/ Actualizar programas de trabajo.	Dependiendo de la necesidad del cliente y los requerimientos de sistema de calidad.	Llevar el control del estado de los EIMP.
2.Realizar calibración en servicio y/o verificaciones.	Conforme a la Instrucción para "Calibración en servicio" y utilizando Formato 02, 05, 06 ó 07 del presente documento.	Verificar que el equipo proporcione mediciones confiables.
3.Firma de conformidad recepción del equipo.	Mostrando los resultados de la calibración completa.	Tener la evidencia y comprobar que el equipo funciona correctamente.

4. Continuar en uso.	De acuerdo al manual o IT de operación del equipo.	Continuar con los procesos de producción.
5. Analizar situación.	Conforme a los resultados obtenidos en la calibración en servicio.	Para saber el estado del equipo.
6. Ajustar.	Para ajustar: siguiendo la Instrucciones establecidas. Nota: Cuando exista alguna desviación, avisar al personal involucrado vía escrita y/o electrónica.	Disminuir la variación de medición del equipo.
7. Realizar Mantenimiento Correctivo.	De acuerdo al proceso establecido por la organización.	Para corregir las fallas presentadas en el equipo.
8. Realizar calibraciones completas.	Conforme a la "Calibración completa" y utilizando los Formato 02 del presente documento.	Para conocer las condiciones del equipo.
9. Elaborar informe de calibración.	Llenando el Formato 03 de calibración.	Para llevar un historial del equipo y conocer su comportamiento.
10. Analizar información.	Con los conocimientos y evidencias obtenidos.	Para verificar el estado del instrumento.
11. Etiquetar y sellar equipo.	De acuerdo a los resultados de las calibraciones (servicio/completa). Ver Anexo B y utilizando el Formato 04 .	Para identificar la condición del Instrumento.

12.Reasignar el equipo.	De acuerdo a los resultados de la calibración completa y analizando las necesidades del cliente.	Para que el equipo sea utilizado en área cumpla con los requerimientos del cliente sin afectar la calidad del producto.
13.Desechar el equipo.	De acuerdo a los resultados de la calibración y habiendo analizado que el equipo no funciona correctamente y no es apto para degradarse.	Para evitar que se continúe en uso.
14.Mejora continua.	Evaluando el programa, resultados y procedimientos de trabajo.	Para aumentar la eficiencia del sistema de medición.

Documentos a elaborar:

Formato 01 Formato de calibraciones en servicio o verificaciones.

Formato 02 Formato de calibraciones completas.

Formato 03 Formato de Informes de calibraciones completas.

Formato 04 Etiqueta de calibración.

Formato 05 Lista de verificación equipos de temperatura.

Formato 06 Lista de verificación equipos de presión.

Formato 07 Lista de verificación equipos de masa.

Aspectos adicionales:

Etiquetado de equipo.

Cada instrumento o equipo calibrado por completo es identificado con una etiqueta que corresponde al resultado de la calibración o estado del instrumento. La etiqueta será la misma con la única variante del recuadro que se encuentra en la

parte baja en el que se indicará el estado del equipo mediante un color y una leyenda. Las opciones se muestran a continuación.

Para equipo con todos sus valores dentro de especificación:

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN:
RESPONSABLE:
FECHA:
INFORME:
INCERTIDUMBRE:
PRÓX. ESTUDIO:

Etiqueta prototipo de 35 x 25 mm aprox. En fondo blanco y letras en negro.

Nota: Se puede proponer el uso de colores para una identificación más fácil. Ej. Color verde para equipos calibrados.

Donde:

- a) Iniciales o nombre del responsable del servicio.
- b) Fecha de realización de la calibración.
- c) Número de informe de calibración (se deberá desarrollar un método de codificación).
- d) Incertidumbre.
- e) Fecha del próximo estudio.

El personal autorizado de la función metrológica es el único facultado para emitir y fijar una etiqueta de calibración. Esta etiqueta se coloca después de realizar la calibración, sobre el equipo o instrumento, preferentemente en lugar visible, evitando obstruir información básica para el uso o identificación del equipo o instrumento.

Cuando se trate de instrumentos en los cuales no sea factible la colocación de la etiqueta anterior únicamente se llevará su registro en la forma correspondiente.

Sellado de integridad.

El sellado para la integridad del equipo ó instrumento (en ajustes y calibraciones) se llevará a cabo con dispositivos adecuados de acuerdo a las características del mismo, siendo el control de dichos dispositivos responsabilidad del área de metrología, en caso de que el personal del área en donde se encuentre el equipo éste reportara un mal funcionamiento del mismo, se deberá avisar al área de metrología para que se hagan las actividades necesarias y regrese a su funcionamiento normal.

4.2.5. Realización de estudios R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad).

Objetivo: Establecer un método para realizar estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) con el propósito de conocer y controlar la variación en los resultados producidos por el sistema de medición formado por el instrumento y el operador.

Alcance: Este procedimiento se basa en el método de medias y rangos, y está enfocado exclusivamente a operadores y Equipos de inspección, medición y prueba que se encuentren dentro de la organización.

Lineamientos:

- a) Es responsabilidad del titular de la función metrológica observar el cumplimiento de los lineamientos de este procedimiento al desarrollarse los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) en los instrumentos descritos en el alcance.
- b) Los estudios R&R se llevarán a cabo de acuerdo a un programa establecido y/o cuando exista la necesidad de llevar a cabo dichos estudios.

c) Cumplir con el requisito de la relación 10:1 como mínimo de la tolerancia del proceso con respecto a la resolución del (los) equipo(s) de trabajo.

Definiciones:

Estudios R&R: Es aquel en el cual al afectar el análisis de Repetibilidad (EV: Equipment Variation) dará la variación producida por el instrumento y el análisis de Reproducibilidad (AV: Appreciate Variation) dará la variación producida por el operador; por lo tanto el análisis R&R proporciona información más confiable para el establecimiento del control estadístico del proceso.

Secuencia de trabajo:

QUE	COMO	OBJETIVO
1.Elaborar/ Actualizar plan para la realización de estudio(s) R&R.	Planeando junto con área de producción los días y las horas más convenientes para realizar dichos estudios.	Calendarizar el orden de los estudios de acuerdo a su importancia.
2.Seleccionar el equipo.	Revisando los resultados de pruebas anteriores (calibraciones completas).	Que el equipo sea el adecuado de las pruebas a realizar.
3.Calibrar el equipo.	Siguiendo el plan de calibración y utilizando el procedimiento 4.2.4 del presente capítulo y documentos aplicables.	Conocer el resultado antes del (los) estudio(s) R&R.
4.Seleccionar los operadores.	Deben ser aquellos que efectúan las mediciones de forma rutinaria. Nota: se sugiere que sean de 2 ó 3 personas.	Que las mediciones sean lo más representativas posibles.

<p>5.Utilizar los patrones y/u objetos de comparación adecuados.</p>	<p>Que los patrones y/u objetos a utilizar sean solamente conocidos por el personal encargado de la prueba y que estén correctamente evaluados.</p>	<p>Facilitar las actividades a realizar y tener los patrones y/u objetos plenamente identificados.</p>
<p>6.Realizar mediciones.</p>	<p>Que sean diez y que los operadores desconozcan los valores con anterioridad y los valores obtenidos por otros operadores colocando los datos en el Formato 02.</p> <p>Nota: Si algún(os) rango(s) excede los valores de LSCr ó LICr repetir la(s) medición(es) en donde suceda.</p>	<p>Tener el registro de las mediciones de cada operador.</p>
<p>7.Calcular medias experimentales.</p>	<p>Para cada operador, sumando el valor de todas las lecturas y dividiéndolas entre el número de lecturas.</p> <p>Nota 1: utilizando el Formato 03 (*)</p> <p>Nota 2: Puede desarrollarse un Formato para colocar los datos y que efectúe los cálculos.</p>	<p>Tener registro de la medición representativa de cada operador.</p>
<p>8.Calcular el rango de las mediciones de cada operador</p>	<p>Restar la lectura máxima menos la mínima en cada una de las repeticiones sugeridas de cada operador. (*)</p>	<p>Obtener el registro de las diferencias en las mediciones de cada operador</p>

<p>9. Calcular el promedio de los rangos y el promedio de los promedios.</p>	<p>Promedio de los rangos = sumar los rangos de cada operador y dividirlos entre el número de rangos.</p> <p>Promedio de los promedios = sumar el promedio de los rangos y dividirlos entre el número de operadores. (*)</p>	<p>El promedio de los rangos es para obtener las diferencias de cada una de las mediciones de los operadores y el promedio de los promedios es para obtener las diferencias de las medias de todos los operadores.</p>
<p>10. Calcular el límite superior y el límite inferior de control de rangos (LSCr y LICr).</p>	<p>Utilizando las formulas establecidas para tal fin (Revisar Aspectos adicionales). (*)</p>	<p>Verificar que ningún rango exceda estos límites.</p>
<p>11. Calcular el rango de las medias experimentales.</p>	<p>Restando el valor de la media más alta menos el valor de la media más baja (Revisar Aspectos adicionales) (*)</p>	<p>Utilizarla en cálculos posteriores.</p>
<p>12. Calcular el valor de repetibilidad (EV).</p>	<p>Utilizando la ecuación establecida (Revisar Aspectos adicionales). (*)</p>	<p>Obtener la variación producida por el equipo</p>
<p>13. Calcular el índice (%) de repetibilidad.</p>	<p>Dividiendo el valor de repetibilidad entre la tolerancia especificada de la característica medida en el objeto y multiplicando por cien (Revisar Aspectos adicionales). (*)</p>	<p>Tener el registro en % de repetibilidad para su posterior análisis.</p>
<p>14. Calcular el valor de reproducibilidad (AV).</p>	<p>Mediante la ecuación establecida (Revisar Anexos). (*)</p>	<p>Saber la variación producida por el operador.</p>

15. Calcular el índice (%) de reproducibilidad.	Dividiendo el valor de reproducibilidad entre la tolerancia especificada de la característica medida en el objeto y multiplicando por cien (Revisar Aspectos adicionales). (*)	Tener el registro en % del índice de reproducibilidad para su análisis posterior.
16. Calcular la variación total de el (los) estudio(s) R&R.	Elevando al cuadrado la repetibilidad mas el cuadrado de la reproducibilidad y a todo esto se le obtiene la raíz cuadrada (Revisar Aspectos adicionales) (*)	Tener el valor final de la prueba R&R.
17. Calcular el índice (%) de R&R.	Dividiendo el valor de R&R entre la tolerancia y multiplicarlo por cien (Revisar Aspectos adicionales). (*)	Tener el valor de R&R en por ciento y evaluar el sistema de medición.
18. Sistema de medición aceptable.	Por comparación de los valores obtenidos con los valores establecidos: Si $\%R\&R < \%10$ el sistema es aceptable; y si $\%R\&R > \%30$ el sistema de medición es inaceptable, por lo que hay que analizar la(s) posible(s) causas. Obtener informe de R&R Formato 04 y colocar los resultados en el Formato 01 .	Que el equipo pueda seguir en uso.
19. Continuar con el sistema de medición.	Operando de la misma forma que hasta ahora lo ha hecho.	Que el sistema de medición siga siendo confiable.
20. Continuar programa.	Siguiendo el programa establecido.	Evaluar el estado del (los) sistema(s) de medición.

21. Ajustar/ reparar el equipo.	De acuerdo a la experiencia y procedimiento establecidos.	Que el equipo funcione de acuerdo a las necesidades de la planta.
22. Cambiar/ degradar/desechar el equipo.	Levantar el reporte de cambio/ degradación/desecho del equipo en el almacén de refacciones.	Que no se tenga en uso equipo en mal estado.
23. Analizar la variación del índice de (EV) y de (AV).	Por comparación de ambos valores.	Determinar si es el equipo o el operador el que presenta variación en el sistema de medición.
24. Realizar medidas para mejorar el sistema de medición.	Programando cursos de capacitación para personal involucrado.	Mejorar el método o sistema de medición.
25. Mejora continua.	Evaluando el plan y sus resultados.	Mejorar el (los) sistema (s) de medición.

Documentos a elaborar:

Formato 01 Resultados de estudios R&R.

Formato 02 Captura de datos para estudios R&R.

Formato 03 & 04 Procesamiento de datos para estudios R&R e Informe de estudios R&R

Aspectos adicionales:**Criterios de análisis.**

Convencionalmente se ha aceptado el siguiente criterio de aceptación, mismo que se indica con las acciones a tomar para mejorar el sistema de medición.

- a) Cuando el valor R&R es igual o menor a 10% es aceptable.
- b) Cuando el valor R&R está entre 10 y 30% el sistema en general requiere mejoras, sin embargo, puede ser utilizado de manera temporal.
- c) Cuando el valor de R&R es superior a 30% el sistema no es aceptable.
- d) Si el valor de REPRODUCIBILIDAD es mayor con respecto al de REPETIBILIDAD, es necesario capacitar al operador del instrumento, ya sea a utilizar el instrumento o a la forma de lectura.
- e) Si el valor de REPETIBILIDAD es mayor con respecto al de REPRODUCIBILIDAD, entonces el instrumento requiere mantenimiento o calibración o simplemente no es el adecuado para esa aplicación.

Formulario.

Límite superior de control de rangos (LSCr):

$$LSCr = D4 (Rmt)$$

Donde:

Rmt = Rango promedio total.

D4 = 2.574 (constante de tabla, tomando en cuenta el número de repeticiones).

Variación permitida para la variable.

Para especificaciones bilaterales:

$$\text{Tolerancia} = \text{LSE} - \text{LIE}$$

Para especificaciones unilaterales:

$$\text{Tolerancia} = 2 [y - \text{LIE}]$$

$$\text{Tolerancia} = 2 [\text{LSE} - y]$$

Donde:

LSE = Limite Superior de Especificación.

LIS = Limite Inferior de Especificación.

y = Media histórica de la variable de interés.

Repetibilidad (EV):

$$\text{EV} = (\text{Rmt})(\alpha)$$

Donde: $\alpha = (5,15)/(d2^*)$

$$d2^* = 1,693$$

Índice de Repetibilidad (% EV):

$$\% \text{ EV} = 100 [(\text{EV}) / (\text{Tolerancia})]$$

Reproducibilidad (AV):

$$\text{AV} = \sqrt{[(\text{Xdif}) \times (\beta)]^2 - [(\text{EV})^2 / (\text{n} \times \text{r})]}$$

Donde: Xdif = Rango entre promedios.

EV = Repetibilidad.

n = Número de muestras diferentes.

r = Número de réplicas.

Índice de reproducibilidad:

$$\%EV = 100 [(EV) / (Tolerancia)].$$

Variación total del sistema de medición (R&R):

$$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Donde: EV = Repetibilidad (Variación del equipo).

AV = Reproducibilidad (Variación del auditor).

% de Repetibilidad y Reproducibilidad:

$$\%R\&R = 100 [(EV) / (Tolerancia)].$$

4.3. Propuesta de capacitación para personal de metrología.

En la Norma ISO 10012 nos habla de que el personal que labore en el área de metrología debe de contar con las competencias y habilidades necesarias para desempeñar las tareas propias del puesto.

Una competencia se puede definir como un conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes, aptitudes y hábitos efectivos que integran el comportamiento del individuo y que al ponerlos en práctica le permiten desempeñarse exitosamente y lograr los resultados esperados.

- Son las capacidades traducidas en comportamientos que se pueden observar y por lo tanto medir.
- La competencia es real solo cuando es un hábito.

- No es tanto lo que se sabe, sino como se actúa en situaciones concretas de trabajo y los resultados que se logran con esto.

A continuación, se presentan algunos de los cursos básicos con los que debería contar el personal (éstos pueden ser impartidos por la organización o bien por personal externo) y por otro lado el programa de capacitación se llevará a cabo de acuerdo a las necesidades del personal contratado.

1.

Curso o taller: Asistencia técnica en metrología.

Personal al que se dirige: Jefe de Metrología y/o Supervisor(es) de Metrología.

Objetivo(s):

- Obtener los conocimientos suficientes sobre las actividades del área.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Diagnosticar las necesidades metrológicas de la organización.
- Estructurar organizacionalmente el área.
- Propiciar la formación adecuada del personal.
- Elaborar procedimientos adecuados de trabajo.
- Realizar cálculos de incertidumbre en las mediciones.
- Diseñar planes de trabajo de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Seleccionar patrones adecuados.
- Elaborar métodos de evaluación del personal.
- Desarrollar un sistema de aseguramiento de la calidad en las mediciones.
- Realizar auditorías internas al sistema.
- Administrar al personal, activos y presupuesto asignado al área.

2.

Curso o taller: Auditoría metrológica.

Personal al que se dirige: Personal externo al área (Auditores externos) y Jefe de Metrología

Objetivo(s):

- Capacitar y formar al personal en la realización y evaluación de auditoría metrológica interna y externa (a proveedores) implementando formatos y presentando resultados.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Realizar auditorías internas/ externas al sistema de confirmación metrológica, mediante la aplicación de la normatividad aplicable.
- Presentación de reportes que ayuden a mejorar la eficacia y eficiencia del sistema.
- Si surge la necesidad, que pueda capacitar a más personal interno de la organización.
- Ayude a cumplir a los proveedores con los lineamientos establecidos en el sistema.

3.

Curso o taller: Metrología de masa.

Personal al que se dirige: Metrólogos.

Objetivo(s):

- Capacitar en los conceptos básicos y su aplicabilidad en el aseguramiento metrológicos de la empresa, presentar los criterios en la selección y cuidado de los equipos.
- Conocer los diferentes tipos de equipos existentes.
- Técnicas de caracterización, medición y calibración de masa.
- Revisión de la Normatividad aplicable.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Aplicar sus conocimientos en conversiones al sistema SI.
- Realizar calibraciones de masa.
- Elaborar informes de calibración de los mismos.
- Realizar acciones correctivas/ preventivas en caso de presentarse desviaciones.

4.

Curso o taller: Termometría.

Personal al que se dirige: Metrologos.

Objetivo(s):

- Revisión de la teoría termodinámica básica relacionada con la medición y generación de la temperatura.
- Comprender los diferentes términos Utilizados en termometría.
- Conocer los diferentes tipos de equipos existentes.
- Técnicas de caracterización, medición y calibración de temperatura.
- Revisión de la Normatividad aplicable.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Realización de calibraciones en los equipos de temperatura
- Analizar los resultados y realizar acciones preventivas/ correctivas según sea conveniente.

5.

Curso o taller: Metrología de presión

Personal al que se dirige: Metrologos.

Objetivo(s):

- Capacitar al participante en los conceptos básicos utilizados.
- Dar al participante los criterios necesarios en el cuidado de los equipos de presión.
- Técnicas de caracterización, medición y calibración de presión.
- Revisión de la Normatividad aplicable.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Realización de calibraciones en los equipos de presión.
- Analizar los resultados y realizar acciones preventivas/correctivas según sea conveniente.

6.

Curso o taller: Cálculo de incertidumbre.

Personal al que se dirige: Metrologos.

Objetivo(s):

- Dar a conocer los conceptos básicos para la comprensión del tema
- Dar a conocer las técnicas aplicables para la estimación de la incertidumbre

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Realizar la estimación de la incertidumbre de las mediciones obtenidas en las calibraciones de los equipos.
- Interpretar los resultados.
- Tomar las acciones preventivas/correctivas necesarias si fuese necesario.

7.

Curso o taller: Instrumentación Industrial.

Personal al que se dirige: Metrólogos.

Objetivo(s):

- Dar a conocer las técnicas, normas, recomendaciones y procedimientos para la operación y calibración de las magnitudes que sean utilizadas por los participantes.
- Revisión del vocabulario internacional de metrología y del sistema Internacional de unidades.
- Revisión de los principales modos de control y técnicas para ajuste y sintonización de los mismos.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Realizar los mantenimientos preventivos/ correctivos a los instrumentos de control existentes en la organización
- Dar a conocer los cuidados y modo de operación de los instrumentos de manera tal que alarguen su vida útil.

8.-

Curso o taller: Realización de estudios R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad).

Personal al que se dirige: Metrólogos.

Objetivo(s):

- Realizar estudios R&R al personal que utilice los instrumentos de medición en la organización

- Elaborar informes de resultados.

Competencia(s) a adquirir: Deben ser capaces de:

- Aplicar los resultados obtenidos en mejoras al sistema de medición.
- Si es requerido, capacitar al personal de la organización.

4.4. Propuesta de medición del sistema de confirmación metrológica.

Para llevar a cabo la evaluación de las actividades realizadas dentro del sistema de gestión de las mediciones, es indispensable diseñar un sistema de medición el cual nos indique el desempeño que estamos teniendo en la mejora de la calidad de las mediciones, por lo cual a continuación se proponen algunos que nos ayudarán a medir el desempeño mencionado anteriormente.

a) Indicador(es) de cumplimiento para el documento 4.2.1 “Control de los equipos de medición”.

- *Tiempo fuera de operación de los equipos de medición.*

Objetivo: Conocer cual es la tendencia en la generación de tiempo fuera de operación de los EIMP que afectan a las áreas productivas.

- *Confiabilidad de las mediciones.*

Objetivo: Conocer la veracidad de las mediciones mediante el análisis estadístico de los resultados.

- *Operadores capaces de realizar mediciones confiables.*

Objetivo: Conocer la tendencia en la correcta realización de las mediciones de los operadores de los equipos productivos.

b) Indicador(es) de cumplimiento para el documento 4.2.2 “Procedimiento para la revisión de los requisitos metrológicos del cliente”.

- % de cumplimiento de los RMC (*Requisitos Metrológicos del Cliente*).

Objetivo: Conocer y mejorar la disponibilidad de los equipos adecuados para realizar mediciones de acuerdo a las necesidades de los procesos productivos de la organización.

c) Indicador(es) de cumplimiento para el documento 4.2.3 “Procedimiento para el control de los equipos de control, medición prueba patrón”.

- % de *Calibraciones realizadas*.

Objetivo: Conocer el cumplimiento de los programas de calibración y la mejora en el desempeño de los EIMP así como si sus periodos de calibración son los adecuados.

d) Indicador(es) de cumplimiento para el documento 4.2.4 “Procedimiento para la confirmación metrológica de los equipos de inspección, medición y prueba”.

- % de *Calibraciones en servicio*.

Objetivo: Conocer las tendencias en la recurrencia de calibraciones en servicio (también llamadas verificaciones), con lo cual sabremos si el equipo mejora su desempeño.

- % de *calibraciones completas*.

Objetivo: Conocer el cumplimiento al programa de calibraciones y el desempeño de los equipos.

e) Indicador(es) de cumplimiento para el documento 4.2.5 “Procedimiento para la realización de estudios R&R”

- % de Estudios R&R.

Objetivo: Conocer el cumplimiento al programa de estudios establecidos.

- % de Estudios aceptables.

Objetivo: Conocer el desempeño tanto de los operadores, así como de los equipos de medición.

Conclusiones

Actualmente la metrología es una disciplina que no está muy desarrollada en el ámbito industrial del ramo alimenticio, de allí el interés de exponer las bases teóricas, así como el análisis de la normatividad aplicable y los aspectos relevantes que deben ser conocidos para lograr una correcta implementación de ésta dentro de un sistema de calidad.

Debido a lo anterior, se concluye lo siguiente:

- 1)** Es indispensable conocer y entender el lenguaje utilizado dentro del campo de la metrología para evitar errores de interpretación al momento de utilizarlo dentro del ámbito industrial.
- 2)** Los sistemas de calidad anteriormente expuestos tienen una relación directa con la metrología, ya que requieren que los resultados provengan de mediciones confiables, para asegurar que éstas sean un factor del aseguramiento de la competitividad de la organización basado en la toma de decisiones correctas.
- 3)** El desarrollo de un sistema de confirmación metrológica nos ayudará por lo tanto a tener control sobre los instrumentos y/o equipos que tengan que ver con los procesos críticos (tanto en seguridad (ya sea desde el punto de vista inocuidad del producto hasta seguridad del personal) como en calidad) que se designen dentro de la organización.
- 4)** El personal que está dentro del sistema de confirmación metrológica, tanto en lo administrativo como en lo operativo, deben estar enterados de su responsabilidad, debido a que estos resultados conllevan a la toma de decisiones que afectan a la organización.

5) La base y análisis normativo, además de los documentos anteriormente expuestos pretenden ser la base para poder construir un sistema de confirmación metrológico que pueda medirse y mejorarse continuamente para aumentar la eficacia y eficiencia de la organización que desee o requiera adoptarlo.

Bibliografía

1. Pachón V. R. F. y Manzano A. F.; Metrología en las civilizaciones de Mesopotamia, Egipto, Fenicia, Israel, Grecia, Cartago, Roma y otras culturas de la antigüedad; XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Universidad de Almería, Departamento de Ingeniería Rural, España, 2002
2. González G. C. y Zeleny V. R.; Metrología, Mc Graw Hill, México, 1998
3. Carrascal M. y Terán C.; Termometría/ Científicos ilustres, www.geocities.com/fisicas/, España, 1998
4. Rodríguez S. L. A.; Laboratorio Cero 2001-2, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas, Colombia, 2001
5. Martínez R. R. y Barrena Ch. S.; Curso "Bases de metrología, temperatura y masa", Empresas Marbor de México, S.A de C.V., México, 2002
6. Martínez R. R.; Curso "Metrología de masa", México, 2001
7. Martínez R. R.; Curso "Metrología", Empresas Marbor de México, S.A de C.V., México, 2001
8. www.metas.com.mx, MetAs S.A de C.V. Metrólogos asociados, Tipos de presión y vacío, Año 02 # 03 2002-Marzo
9. Marbán M. R. y Pellecer C. J. A.; Metrología para no metrólogos, Organización de los Estados Americanos (OEA); Sistema Interamericano de Metrología, Guatemala, 2002
10. www.gpi.com.mx/productos/publicaciones/libros.html

11. Hernández C. J. M.; Lazos típicos de instrumentación y control, ITESO, Septiembre 2002
12. González G. C.; ISO 9000, QS 9000, ISO 14000, Normas Internacionales de Administración de Calidad, Sistemas de Calidad y sistemas ambientales, Mc Graw Hill, México, 1999
13. Rothery B., ISO 9000, Ed. Panamá, México, 1993
14. Añasco J. C., Normas ISO 9000, www.pilar.com.ar/industrias/temasgenerales/normas.htm
15. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Ley Federal sobre Metrología y Normalización, México, 1992
16. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas, Sistema general de unidades de medida (NOM-008-SCFI-1993), México, 1993
17. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas, Instrumentos de medición-instrumentos para pesar de funcionamiento no automático-requisitos técnicos y metroológicos (NOM-010-SCFI-1994), México, 1994
18. Secretaría de Economía, Dirección General de Normas, Lista de Instrumentos de medición cuya verificación inicial, periódica o extraordinaria es obligatoria, así como las reglas para efectuarla, México, 2002
19. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas, Proyecto de Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-011-SCFI- 2003 "Instrumentos de medición-termómetros de líquido en vidrio para uso general, México, 2003

20. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas, Instrumentos de medición-manómetros con elemento elástico especificaciones (NOM-013-SCFI-1993), México, 1994
21. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Campaña nacional contra la fiebre porcina clásica (NOM-037-ZOO-1995), México, 1995
22. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; Dirección General de Normas, Directrices y criterios de periodos de calibración uso y mantenimiento instrumentos de medición (SNC-D-1-1988), México, 1988
23. Instituto Mexicano de Normalización y certificación A. C, Comité Técnico de Normalización Nacional de Calidad, Metrología-vocabulario de términos fundamentales y generales (NMX-Z-055:1996 IMNC), México, 1996
24. Instituto Mexicano de Normalización y certificación A.C, Comité Técnico de Normalización Nacional de calidad, Guía para la evaluación de la incertidumbre en los resultados de las mediciones (NMX-CH-140:1996 IMNC), México, 1996
25. Instituto Mexicano de Normalización y certificación A.C, Comité Técnico de Normalización Nacional de calidad, Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración (NMX-EC-17025-IMNC-2000, ISO/IEC 17025:1999), México, 2000
26. Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C; Comité Técnico de Normalización Nacional de Calidad, Sistema de gestión de mediciones-requisitos para procesos de medición y equipos de medición (PROY-NMX-CC-10012-IMNC-2003), México, 2003
27. ISO, Fundamentos y vocabulario-ISO 9000: 2000, 2000
28. ISO, Sistemas de gestión de la calidad-ISO 9001: 2000, 2000

29. CENAM, Curso: Introducción a la metrología y estimación de la incertidumbre (Impartido por Dr. Rosas S. E., Ing. Molina V. J. C.; área de metrología Física División de óptica y radiometría), México, 2002
30. Zeleny V. J. R., Factores a considerar para la realización de un buen estudio de repetibilidad y reproducibilidad, Instituto de Metrología Mitutoyo, Mitutoyo Mexicana S.A de C.V., México, 1999
31. www.metas.com.mx, MetA, S.A de C.V. Metrólogos socios, Confirmación metrológica, Año 02 #02 2002-Febrero
32. www.metas.com.mx, MetAs S.A de C.V. Metrólogos socios, Evaluación de consistencia metrológica, Año 02 # 10 2002-October
33. Montes B. A.; Curso "HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points)", México, 2001
34. Instituto Mexicano de Normalización y certificación A.C, Comité Técnico de Normalización Nacional de calidad, "Instrumentos de medición-termómetros bimetalicos de carátula" (NMX-CH-70-1993-SCFI), México, 1993
35. [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/ procesos/ Temperatura.doc](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/Temperatura.doc), Vignoni R.; Medición de Temperatura, Control de Proceso, Julio 2000
36. Creus S. A.; Instrumentación Industrial, Ed. Alfaomega-Marcombo, Barcelona, España, 1989
37. <http://cipres.cec.uchile.cl/~fespinoz/taller/>, Román L. R.; Medición de la Presión, ME-43A Termotecnia
38. Sanchez V. E., Rincón M., Fernández R.; Manual de Instrumentación y Control de Procesos, Editorial ALCIÓN S.A, Madrid, 1998

39. <http://www.geocities.com.CollegePark/Pool/1549/instru1/d01.html> Presión como variable de estado.

40. www.metas.com.mx, MetAs S.A de C.V. Metrologos asociados, Termopares, Año 02 # 10 2002-Octubre.

41. <http://www.esimeupt.ipn.mx/esimeweb/poli/carrera/hidronew/intdpres.htm>
Interruptores de presión.

42. www.metas.com.mx, MetAs S.A de C.V. Metrologos asociados, Vacuómetro McLeod El primer patrón de medio vacío, Año 01 # 02, Noviembre 2001

ANEXO I

Vocabulario de metrología de acuerdo a la Norma NMX-Z-055-1996-IMNC. ⁽²³⁾

“La historia nos indica que a través de ésta se han tenido que desarrollar métodos más exactos en la forma de medir, por ejemplo, partiendo de la época de los egipcios éste es un claro ejemplo en el cual se tuvieron que emplear métodos de medición muy exactos para poder llevar a cabo obras de gran magnitud como las que se realizaron en aquella época.

Como éste hay muchos ejemplos en los cuales se tuvieron que utilizar necesariamente formas determinadas para esas empresas”.

Definiciones.

“Para llevar a cabo una comunicación efectiva, necesitamos tener conocimiento del lenguaje utilizado en el ámbito dentro del cual nos vayamos a involucrar, por ello hubo la necesidad de estandarizar definiciones dentro del área de metrología.

A continuación se presentan algunas de las definiciones según la Norma Mexicana NMX-Z-055-1996-IMNC, que se utilizaron a lo largo del desarrollo del presente trabajo (si se desea obtener más información sobre otras definiciones referirse a la norma antes mencionada)”.

1. Magnitudes y unidades.

Magnitud (medible): Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que es susceptible de ser diferenciado cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Ejemplos:

a) **Magnitudes en sentido general:**

- Longitud, tiempo, masa, temperatura, concentración en una cantidad de sustancia.

b) **Magnitudes particulares:**

- Longitud de una varilla.
- Resistencia eléctrica de un alambre de una muestra dada.
- Concentración de etanol, en cantidad de sustancia, en una muestra de vino.

2.- Las magnitudes pueden ser clasificadas, las unas en relación con las otras en orden creciente o decreciente, son llamadas magnitudes de la misma naturaleza.

3.- Las magnitudes de la misma naturaleza pueden ser agrupadas en su conjunto en categorías por magnitudes, por ejemplo:

- Trabajo, calor, energía.
- Espesor, circunferencia, longitud de onda.

4.- Los símbolos de las unidades se establecen en la norma NOM-008-SCFI.

Sistema de magnitudes: Conjunto de magnitudes, en sentido general, entre las cuales existen relaciones definidas.

Magnitud de Base: Una de las magnitudes que en un sistema de magnitudes, se aceptan por convención como funcionalmente independientes unas de otras.

Ejemplo:

Las magnitudes de longitud, masa y tiempo son generalmente consideradas de base en el campo de la mecánica.

Magnitud derivada: Magnitud definida, en un sistema de magnitudes, en función de las magnitudes de base de ese sistema.

Ejemplos:

En un sistema en el cual se tienen como magnitudes de base a la longitud, masa y tiempo, la velocidad es una magnitud derivada, definida como la longitud dividida entre el tiempo.

Dimensión de una magnitud: Expresión que representa una magnitud de un sistema de magnitudes como el producto de potencias de factores que representan las magnitudes de base del sistema.

Ejemplos:

a) En un sistema que tenga como magnitudes de base a la longitud, la masa y el tiempo, cuyas dimensiones son designadas por L, M y T, respectivamente, LMT^{-2} es la dimensión de la fuerza.

b) En el mismo sistema de magnitudes, ML^{-3} es la dimensión de la concentración de la masa, así como de la densidad.

Unidad (de medida): Magnitud particular, definida y adoptada por convención, con lo cual se comparan las otras magnitudes de la misma naturaleza para expresar cuantitativamente su relación con esa magnitud.

Símbolo de una unidad (de medida): Símbolo que por convención se designa a una unidad de medida.

Ejemplos:

a) El símbolo de metro es m.

b) El símbolo del Ampere es A.

Sistema de unidades (de medida): Conjunto de unidades de base y de unidades derivadas, que se definen de acuerdo con reglas determinadas, para un sistema dado de magnitudes.

Ejemplo:

- a) Sistema Internacional de unidades, SI.
- b) Sistema de unidades CGS.

Sistema internacional de unidades, SI: Sistema coherente de unidades adoptado y recomendado por la Conferencia general de pesas y Medidas (CGPM), el cual está integrado por unidades de base, unidades suplementarias y unidades derivadas que forman parte de éste sistema de unidades.

Unidad (de medida) de base: Unidad de medida de una magnitud de base en un sistema de magnitudes dado.

Múltiplo de una unidad (de medida): Unidad de medida más grande formada a partir de una unidad dada de acuerdo a un escalonamiento convencional.

Ejemplos:

- a) Uno de los múltiplos decimales del metro es el kilómetro.
- b) Uno de los múltiplos del segundo no decimales es la hora.

Submúltiplo de una unidad (de medida): Unidad de medida más pequeña formada de una unidad dada de acuerdo a escalonamiento convencional.

Ejemplo:

- a) Uno de los submúltiplos decimales del metro es el milímetro.

Valor (de una magnitud): Expresión cuantitativa de una magnitud particular, expresada generalmente en la forma de una medida multiplicada por un número.

Ejemplos:

- a) Longitud de una varilla 5,34 m ó 534 cm.
- b) Masa de un cuerpo 0,512 kg ó 512 g.
- c) Cantidad de sustancia de una muestra de agua (H₂O): 0,012 mol ó 12 mmol.

Valor verdadero (de una magnitud): Valor compatible con la definición de una magnitud dada.

Valor convencionalmente verdadero (de una magnitud): Valor atribuido a una magnitud particular y aceptada, algunas veces por convención, como un valor que tiene una incertidumbre apropiada para un propósito dado.

Ejemplos:

1. En un lugar determinado el valor asignado a la magnitud realizada por un patrón de referencia puede tomarse como un valor convencionalmente verdadero.
2. El valor recomendado por CODATA (1986) para la constante de Avogadro es:

$$N_A = 6,0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Escala de referencia: Para magnitudes particulares de una naturaleza determinada, es el conjunto ordenado de valores, continuos o discretos, definidos por convención como referencia para clasificar en orden creciente o decreciente magnitudes de esta naturaleza.

Ejemplos:

- a) La escala de dureza de Mohs.
- b) La escala de pH en química.
- c) La escala del índice de octano en gasolinas.

2. Mediciones.

Medición: Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de una magnitud.

Metrología: Ciencia de la medición.

Principio de medición: Base científica de una medición.

Ejemplos:

- a) El efecto termoeléctrico aplicado a la medición de la temperatura.
- b) El efecto Josephson aplicado a la medición de la diferencia de potencial eléctrico.
- c) El efecto Doppler aplicado a la medición de la velocidad.
- d) El efecto Raman aplicado a la medición del número de onda de las mediciones moleculares.

Método de medición: Secuencia lógica de las operaciones, descritas de manera genérica, utilizada en la ejecución de las mediciones.

Procedimiento (de medición): Conjunto de operaciones, descritas específicamente, para realizar mediciones particulares de acuerdo a un método dado.

Mensurando: Magnitud particular sujeta a una medición.

Ejemplo:

Presión de vapor de una muestra dada de agua a 20 °C.

Magnitud de influencia: magnitud que no es el mensurando pero que afecta el resultado de la medición.

Ejemplos:

- a) La temperatura de un micrómetro cuando se trata de la medida de una longitud
- b) La frecuencia en la medición de la amplitud de una tensión eléctrica alterna;
la concentración de bilirrubina cuando se mide la concentración de hemoglobina en una muestra de plasma sanguíneo humano.

3. Resultados de las mediciones.

Resultado de una medición: Valor atribuido a un mensurando, obtenido por medición.

Indicación (de un instrumento de medición): Valor de una magnitud proporcionada por un instrumento de medición.

Resultado no corregido: Resultado de una medición antes de la corrección del error sistemático.

Resultado corregido: Resultado de una medición después de la corrección del error sistemático.

Exactitud de medición: Proximidad de la concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero del mensurando.

Repetibilidad (de los resultados de mediciones): Proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones sucesivas del mismo mensurando, con las mediciones realizadas con la aplicación de la totalidad de las siguientes condiciones:

- Mismo método de medición.
- Mismo observador.
- Mismo instrumento de medición.
- Mismo lugar.
- Misma condición de uso.
- Repetición en periodos cortos de tiempo.

Reproducibilidad (de los resultados de mediciones): proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, con las mediciones realizadas haciendo variar las condiciones de medición.

Desviación estándar experimental: Para una serie n de mediciones del mismo mensurando, la magnitud s caracterizando la dispersión de los resultados, dada por la fórmula:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Siendo X_i es el resultado de la i ésima medición y X el promedio aritmético de los n resultados considerados.

Incertidumbre de medición: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente, ser atribuidos al mensurando.

Error (de medición): Resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando.

Desviación: Un valor menos su valor de referencia

Error relativo: Es el error de medición dividido entre un valor verdadero del mensurando.

Error aleatorio: Resultado de una medición menos la media de un número infinito de mediciones del mismo mensurando, efectuadas éstas en condiciones de repetibilidad.

Error sistemático: Media que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando, efectuadas bajo condiciones de repetibilidad, menos un valor verdadero del mensurando.

Corrección: Valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición, para compensar un error sistemático.

Factor de corrección: Factor numérico por el cual se multiplica el resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático.

4. Instrumentos de medición.

Instrumento de medición: Dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos anexos.

Transductor de medición: Dispositivo que hace corresponder a una magnitud de entrada, una magnitud de salida según una ley determinada.

Ejemplos:

- a) Termopar.
- b) Transformador de corriente.
- c) Galga extensométrica.
- d) Electrodo de pH.

Cadena de medición: Serie de elementos de un instrumento de medición, que constituye la trayectoria desde la entrada hasta la salida de la señal de medición.

Ejemplo:

Una cadena de medición eletroacústica comprende un micrófono, un atenuador, un filtro, un amplificador y un voltmetro.

Sistema de medición: Conjunto completo de instrumentos de medición y otros elementos ensamblados para ejecutar mediciones especificadas.

Ejemplos:

- a) Instrumental para medir la conductividad de materiales semiconductores.
- b) Instrumental para la calibración de termómetros clínicos.

Instrumento (de medición) indicador: Instrumento de medición que muestra una indicación.

Ejemplos:

- a) Voltmetro de indicación analógica.
- b) Medidor digital de frecuencia.
- c) Micrómetro.

Instrumento de medición con indicación digital: Instrumento de medición digital, instrumento de medición que proporciona una señal de salida o una indicación en forma digital.

Dispositivo indicador: Parte de un instrumento de medición que presenta una indicación.

Dispositivo registrador: Parte de un instrumento de medición que proporciona un registro de una indicación.

Sensor: Elemento de un instrumento de medición o de cadena de medición que está directamente afectado por el mensurando.

Ejemplos:

- a) Soldadura de medición de un termómetro termoeléctrico.
- b) Rotor de un medidor de flujo de turbina.
- c) Tubo de Bourdon de un manómetro.
- d) Flotador de un instrumento de medición de nivel.
- e) Fococelda de un espectrofotómetro.

Detector: Dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno, sin que necesariamente proporcione un valor de una magnitud asociada.

Ejemplos:

- a) Detector de fuga de halógeno.
- b) Papel tornasol.

Escala (de un instrumento de medición): Conjunto ordenado de marcas con toda numeración asociada, formando parte de un dispositivo de un instrumento de medición.

Indice: Parte fija o móvil de un dispositivo indicador cuya posición con respecto a las marcas de la escala permite determinar un valor asociado.

Ejemplos:

- a) Aguja.
- b) Punto luminoso.
- c) Superficie de un líquido.
- d) Pluma de graficador.

Longitud de la escala: Para una escala dada, longitud de la línea llana comprendida entre la primera y la última marca de la escala que pasa por el centro de todas las marcas más cortas de la escala.

Alcance de indicación: Conjunto de valores limitados por las indicaciones extremas.

Ejemplo:

100°C a 200 °C.

División de la escala: Parte de una escala comprendida entre 2 Marcas sucesivas cualquiera.

Longitud de una división (de la escala): Distancia entre 2 escalas sucesivas, de la escala medidas a lo largo de la misma línea de longitud de la escala.

Valor de una división (de la escala): Diferencia entre los valores correspondientes a 2 marcas sucesivas de la escala.

Escala lineal: Escala en la cual la longitud y el valor de cada división están relacionados por medio de un coeficiente de proporcionalidad constante sobre toda la escala.

Escala no lineal: Escala en la cual la longitud y el valor de cada división están relacionados por medio de un coeficiente de proporcionalidad no constante sobre toda la escala.

Escala sin cero: Escala que no incluye el valor cero.

Ejemplo:

La escala de un termómetro clínico.

Escala expandida: Intervalo de una escala cuya longitud es relativamente más grande con respecto de la misma escala.

Cuadrante: Parte fija o móvil de un dispositivo que porta la o las escalas.

Numeración de una escala: Conjunto ordenado de números asociados a las marcas de la escala.

Graduación (de un instrumento de medición): Posicionamiento de material de cada marca (eventualmente ciertas marcas principales solamente) de un instrumento de medición en función del valor correspondiente del mensurando.

Ajuste (de un instrumento de medición): Operación destinada a llevar un Instrumento de medición a un estado de funcionamiento conveniente para su uso.

Ajuste del usuario (de un instrumento de medición): Ajuste utilizando únicamente los medios de los que dispone el usuario.

5. Características de los instrumentos de medición.

Alcance nominal: Alcance de las indicaciones que se obtienen por una posición dada de los controles de un instrumento de medición.

Intervalo de medición: Módulo de la diferencia entre los 2 límites del alcance nominal.

Ejemplos:

Para el alcance nominal de -10 V a $+10\text{ V}$, el intervalo de medida es de 20 V .

Valor nominal: Valor redondeado y aproximado de una característica del instrumento de medición que sirve de guía para su uso.

Ejemplos:

- a) El valor de 100 W marcado sobre una resistencia patrón.
- b) El valor de 1 L marcado sobre un matraz aforado con una sola marca.
- c) El valor de $0,1\text{ mol/L}$ de la concentración de cantidad de sustancia de una solución de ácido clorhídrico, HCl .
- d) El valor $25\text{ }^\circ\text{ C}$ del punto seleccionado de un baño termostático.

Alcance de medición: Conjunto de valores del mensurando para los cuales se supone que el error de un instrumento de medición se encuentra entre límites especificados.

Condiciones límite: Condiciones extremas que un instrumento de medición debe poder soportar sin daño, y sin degradación de sus características metrológicas especificadas cuando enseguida es operado bajo sus condiciones de funcionamiento asignadas.

Condiciones de referencia: Condiciones de uso prescritas para las pruebas de funcionamiento de un instrumento de medición o para la intercomparación de resultados de mediciones.

Constante (de un instrumento): Coeficiente por el cual la indicación directa de un instrumento de medición debe ser multiplicada para obtener el valor indicado del mensurando o de una magnitud que se usa en el cálculo del valor del mensurando.

Característica de respuesta: Relación entre una señal de entrada y la respuesta correspondiente, en condiciones definidas.

Ejemplos:

Fuerza electromotriz de un termopar en función de la temperatura.

Sensibilidad: Cociente del incremento de la respuesta de un instrumento de medición entre el incremento correspondiente de la señal de entrada.

Resolución (de un dispositivo indicador): La mínima diferencia de indicación de un dispositivo indicador, que puede ser percibida de manera significativa.

Zona muerta: Intervalo máximo en el interior del cual se puede hacer variar la señal de entrada en los 2 sentidos sin provocar variación de la respuesta de un instrumento de medición.

Estabilidad: Aptitud de un instrumento de medición para conservar sus características metrológicas durante el transcurso del tiempo.

Deriva: Variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medición.

Tiempo de respuesta: Intervalo de tiempo comprendido entre el momento donde la señal de entrada experimenta un cambio brusco especificado, y el momento donde la señal de salida alcanza y permanece, dentro de los límites especificados, alcanza su valor final estable.

Exactitud de un instrumento de medición: Aptitud de un instrumento de medición de dar respuestas próximas a un valor verdadero.

Clase de exactitud: Clase de instrumento de medición que satisfacen ciertos requisitos metroológicos destinados a conservar los errores dentro de los límites especificados.

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

Errores máximos tolerados de un instrumento de medición: Límites de los errores tolerados (de un instrumento de medición), valores extremos de un error, tolerados por las especificaciones, reglamentos, y otros para un instrumento de medición dado.

Error intrínseco (de un instrumento de medición): Error de un instrumento de medición, determinado en las condiciones de referencia.

Error de ajuste (de un instrumento de medición): Error sistemático de la indicación de un instrumento de medición.

Ajustado (de un instrumento de medición): Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones exentas de error sistemático.

Fidelidad (de un instrumento de medición): Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones muy cercanas en el momento de la aplicación repetida del mismo mensurando, en las mismas condiciones de la medición.

6. Patrones.

En la ciencia y la tecnología, la palabra "standard" tiene 2 acepciones diferentes: como documento técnico normativo ampliamente adoptado, especifi-

cación, recomendación técnica o documento similar (en francés "norme") y también como "patrón" (en inglés "measurement standard" y en francés "etalon"). La segunda acepción es la que se utiliza en ésta sección.

Patrón: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para servir de referencia.

Ejemplos:

- a) Patrón de masa de 1 kg.
- b) Resistencia patrón de 100 W.
- c) Amperímetro patrón.
- d) Patrón de frecuencia de cesio.
- e) Electrodo de referencia de hidrógeno.
- f) Solución de referencia de cortisol en el suero humano, con concentración certificada.

Patrón internacional: Patrón reconocido por un acuerdo internacional para servir internacionalmente como la base para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud de interés.

Patrón nacional: Patrón reconocido por una decisión nacional, en un país, para servir como la base para la asignación de valores a otros patrones de la magnitud de interés.

Patrón primario: Patrón que es designado o ampliamente reconocido, que presenta las más altas cualidades metroológicas y cuyo valor es establecido sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

Patrón secundario: Patrón cuyo valor es establecido por comparación como un patrón primario de la misma magnitud.

Patrón de referencia: Patrón, en general, de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado o en una organización dada, de donde derivan las mediciones que ahí son realizadas.

Patrón de trabajo: patrón utilizado comúnmente para calibrar o controlar las medidas materializadas, de los instrumentos de medición o de los materiales de referencia.

Patrón de transferencia: Patrón utilizado como intermediario para compara patrones.

Patrón viajero: Patrón, algunas veces de construcción especial, destinado al transporte a diferentes lugares.

Ejemplos: Patrón de frecuencia de cesio, portátil, funcionando como un acumulador.

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que ésta puede ser relacionada con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento de medición o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

Conservación de un patrón: Conjunto de operaciones necesarias para la preservación de las características metrológicas de un patrón dentro de los límites apropiados.

ANEXO II

OTRAS AREAS DE LA METROLOGIA. (2. 9)

a) Metrología dimensional.

La metrología dimensional se encarga de estudiar las técnicas de medición que determinan correctamente las magnitudes lineales y angulares (longitudes y ángulos).

La medición se puede dividir en directa (cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos o la división del instrumento) ó indirecta (cuando para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia). A continuación se muestra una clasificación de instrumentos y aparatos utilizados en la metrología dimensional.

Figura 39. Clasificación de la metrología dimensional e instrumentos utilizados

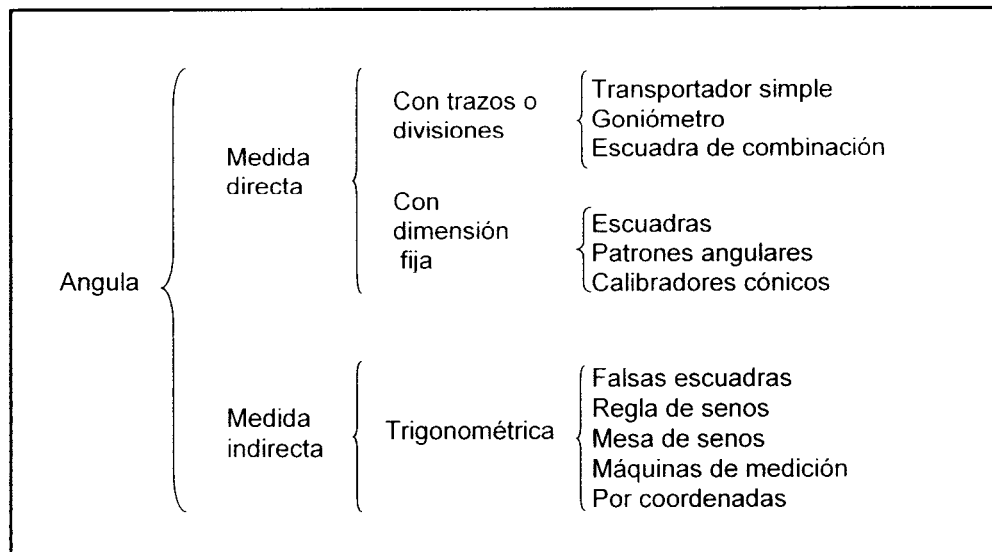
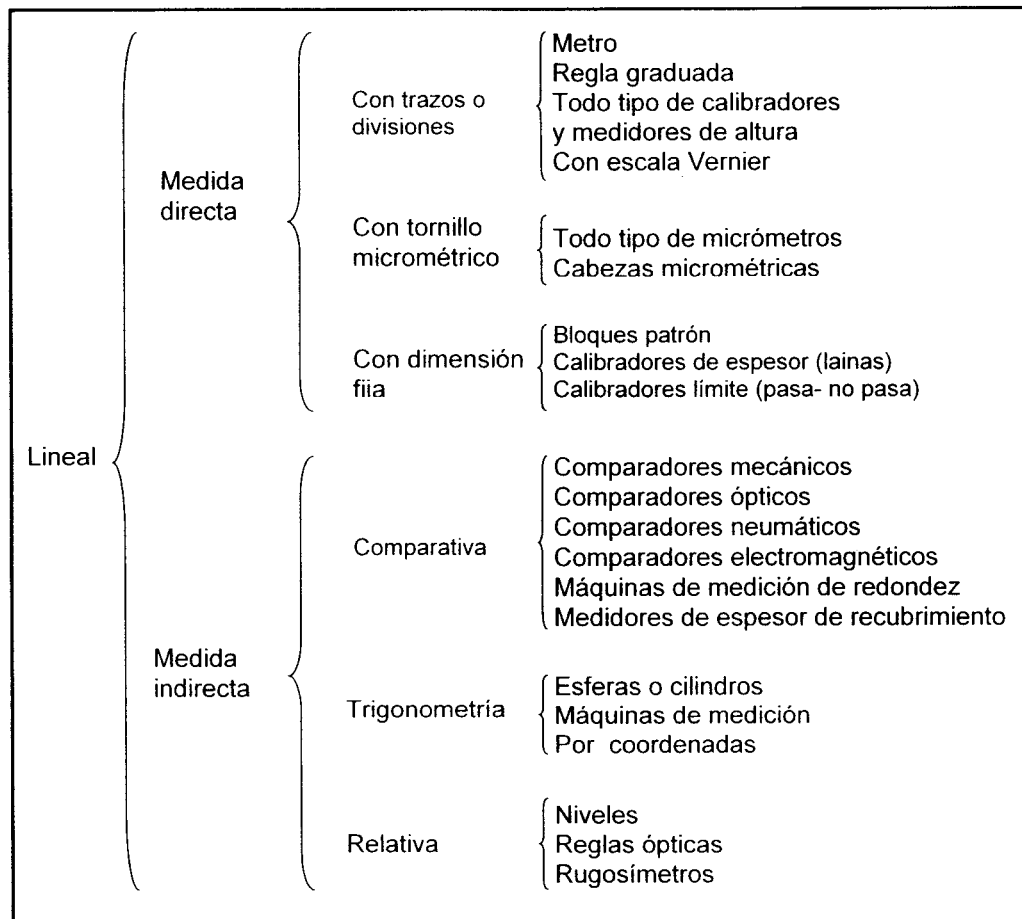


Figura 39. Clasificación de la metrología dimensional e instrumentos utilizados (continuación).



(González; Vázquez, 1998).

La metrología dimensional (en ocasiones también llamada geométrica) incluye el poder evaluar además de dimensiones lineales y angulares, tolerancias geométricas. Por otro lado, también se requiere conocer de la simbología y su interpretación, para saber si las tolerancias requeridas se cumplen o no.

Para adentrarse más acerca de lo antes mencionado, se puede consultar la normatividad de referencia que a continuación se enlista.

ANSI Y14.5M-1982, ASME Y14.5M-1994, ISO 1101, ISO 2692, ISO 5458, ISO 5459, ISO 7083, ISO 8015, JIS B0021, JIS B0022, JIS B0023, JIS B0623, DIN ISO 1101, DIN 7167, DIN ISO 7168, DIN ISO 5459, BS 308.

b) Tiempo.

La medición del tiempo es útil no solamente para asegurar la puntualidad o para determinar el ganador de una prueba de atletismo. Además de las aplicaciones obvias del diario vivir (levantarse a determinada hora; autobuses, trenes y aviones cumpliendo en tiempo sus itinerarios, control de las horas de trabajo para cálculo de remuneración, control del tiempo en las telecomunicaciones, etc.), muchos procesos industriales, muchas técnicas médicas dependen de una medición exacta del tiempo. Otras aplicaciones usuales son por ejemplo: Los taxímetros (basados sólo en tiempo o combinación de tiempo y recorrido), los relojes registradores (timekeepers), los velocímetros. La sincronización de actividades tales como las operaciones bursátiles y las militares, los lanzamientos y acoplamientos de naves espaciales, etc. demanda la medida exacta del tiempo.

En general podemos hablar de relojes y de cronómetros (tipo I con circuitos electrónicos digitales y tipo II de mecanismos análogos mecánicos o de motor sincrónico) y de otros medidores de intervalos de tiempo, como los empleados en el estacionamiento de vehículos, el lavado automático de vehículos, los parquímetros, o en el control de tiempo de aparatos electrodomésticos tales como máquinas lavadoras, máquinas secadoras, hornos de microondas.

c) Electricidad y magnetismo.

En el siglo pasado se realizaron innumerables trabajos que abrieron la puerta del desarrollo moderno; se construyeron motores movidos por electricidad, con los cuales la industria, el transporte y toda actividad que requiere algún tipo de movimiento se vio favorecido. Con la manufactura de las bombillas incandescentes, la iluminación artificial cambió la forma de todas las actividades nocturnas.

Enumerar las aplicaciones actuales de la electricidad adecuadamente suministrada y utilizada significaría listar todas las actividades del hombre, para las cuales es controlada (medida) y para ello es necesario disponer de aparatos o sistemas confiables y de exactitud conocida.

En las comunicaciones el uso de la electricidad es fundamental tanto en telefonía, radio, televisión, como en operación de satélites. Pero, más que la existencia misma del recurso electricidad y magnetismo, es la confiabilidad del manejo o empleo de este recurso lo que la metrología garantiza con sus patrones y procedimientos. En el diseño es donde se afrontan los innumerables problemas de confiabilidad y por supuesto que el disponer de sistemas que aseguren el comportamiento adecuado de los equipos, dentro de ciertos límites, hace posible diseñar, planificar y realizar proyectos complejos. Por otra parte, en toda la electrónica subyace el uso de medidas confiables (exactas para los profanos), confiabilidad y reproducibilidad debidas, en gran parte, a los avances en metrología.

d) Fotometría y radiometría.

El hombre ha desarrollado muchos aparatos y artefactos que le permiten contar con luz independientemente de las condiciones naturales y que, aún más, permiten intensidades que difícilmente se encuentran en la naturaleza. Todos estos aparatos demandan técnicas confiables de medición para garantizar que efectivamente se está logrando la intensidad o iluminación deseadas.

Pero, además, las técnicas de análisis físico y químico a menudo exigen mediciones muy exactas de la magnitud de luz o de radiación. Los fotómetros de absorción, de ennegrecimiento, fotoeléctricos, espectrofotómetros y medidores de radiación, etc. dependen para su exactitud de calibraciones cuidadosas, basadas en los patrones aceptados.

En la actualidad se emplean técnicas de terapia fotodinámica para el tratamiento de ciertas enfermedades, aplicaciones industriales de la luz ultravioleta, el empleo de las propiedades germicidas de ciertas radiaciones, el uso de determinadas longitudes de onda en el crecimiento de plantas, etc. que, también, demandan mediciones confiables.

e) Acústica y vibración.

Las mediciones exactas en acústica son de importancia para aspectos tales como el diseño de auditorios y teatros, las telecomunicaciones, la radio, la fabricación de instrumentos musicales, la producción de aparatos de reproducción y transmisión de sonido (incluyendo fonógrafos, micrófonos y amplificadores), la eliminación de sonidos molestos o peligrosos (en oficinas, áreas de producción, transporte terrestre y aéreo), el diseño de artefactos de advertencia como las sirenas de ambulancias y bomberos y ciertos indicadores a nivel industrial, el sonar, las exploraciones petroleras, la fabricación y calibración de aparatos para sordera, las microondas, la sismografía, los ecocardiogramas, el ultrasonido en química, en medicina con fines de diagnóstico y de tratamiento, en aplicaciones industriales tales como soldadura.

f) Radiación ionizante.

Las aplicaciones médicas de la radiación ionizante son probablemente las más conocidas bajo la forma de los rayos X para diagnóstico y del uso de los isótopos radioactivos en radioterapia y como trazadores en investigación médica y bioquímica.

Entre las aplicaciones industriales se pueden mencionar la activación de vitaminas, la síntesis (por ejemplo la de bromuro de etilo), la polimerización (poliestireno o polietileno), la vulcanización del hule, la polimerización de monómero de metil-metacrilato, los acabados textiles para lograr tejidos y prendas de planchado permanente, el procesamiento de alimentos (cocción, secado,

pasteurización, etc.), la preservación y esterilización de alimentos, el control de la germinación y de las infestaciones por insectos en granos almacenados, el “curado” o endurecimiento de acabados tales como pinturas y tintas, la metalurgia, la geoquímica, la arqueología (C14), las mediciones de grosor, la generación de energía eléctrica.

g) Química.

En las actividades científicas y en las técnicas es importante conocer las bases para calcular qué y cuánto de una o varias sustancias debe utilizarse. El caso obvio es el del laboratorio, clínico o industrial, pero también son importantes los procesos industriales de todo tipo, unos porque manejan volúmenes muy grandes y pequeñas variaciones pueden significar toneladas perdidas y otros porque utilizan cantidades muy pequeñas y variaciones ínfimas pueden ser cruciales. Es decir que el uso de patrones y materiales de referencia constituye la base del trabajo (el éxito de producción), y la garantía de la calidad. Por ejemplo, en la producción y comercialización de los medicamentos existe un campo muy importante para empleo de la metrología.