

BUENAÑO BARRIONUEVO MANUEL DEL CARMEN
LIGÑA CUMBAL CRISTIAN HERIBERTO
CAIZA GUANOCHANGA AGUSTIN MEDARDO
MANOBANDA CUITO WILLIAM GERMAN

METROLOGÍA



Primera edición: enero 2019

© Ediciones Grupo Compás 2019

ISBN: 978-9942-33-234-9

Diseño de portada y diagramación: Grupo Compás

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa de la editorial.

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Guayaquil-Ecuador 2019

METROLOGÍA

Autores

BUENAÑO BARRIONUEVO MANUEL DEL CARMEN
LIGÑA CUMBAL CRISTIAN HERIBERTO
CAIZA GUANOCHANGA AGUSTIN MEDARDO
MANOBANDA CUITO WILLIAM GERMAN

METROLOGÍA

Autor.

BUENAÑO BARRIONUEVO MANUEL DEL CARMEN
LIGÑA CUMBAL CRISTIAN HERIBERTO
CAIZA GUANOCHANGA AGUSTIN MEDARDO
MANOBANDA CUITO WILLIAM GERMAN

Experiencia académica:

Docentes del Instituto Superior Tecnológico
Corporativo Edwards Deming.

Este libro fue elaborada en el contexto de desarrollo de la educación por el Instituto Superior Tecnológico Corporativo Edwards Deming, sus contenidos son una estructura básica para lograr un proceso de aprendizaje ideal.

El documento mantiene una revisión de doble par ciego lo que permite considerarse como una obra que contribuye con la formación profesional, consiguiendo el aval de universidades en América como la Universidad de Oriente y UO University.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI	4
MAGNITUDES	4
MAGNITUDES FUNDAMENTALES	5
MAGNITUDES DERIVADAS.....	5
MAGNITUDES DERIVADAS QUE TIENEN NOMBRES ESPECIALES	6
MAGNITUDES DERIVADAS QUE NO TIENEN NOMBRES ESPECIALES.....	6
OBSERVACIONES IMPORTANTES	7
UNIDAD DE MEDIDA	7
CUADRO DE EQUIVALENCIAS ENTRE EL SISTEMA INGLÉS Y EL SI	8
REGLAS GENERALES DE USO DE UNIDADES Y SU SIMBOLOGÍA DEL SI.....	9
POR QUÉ LA COMA COMO MARCADOR DECIMAL.	10
USO DEL NOMBRE DE LAS UNIDADES.....	12
REGLAS PARA USAR LOS SÍMBOLOS	13
LOS PREFIJOS.....	15
REGLAS PARA PRESENTACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS	17
NOTACIÓN DECIMAL	17
REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO	18
REPRESENTACIÓN DE LA FECHA EN FORMA NUMÉRICA	19
CAPÍTULO II: METROLOGÍA	20
INTRODUCCIÓN	20
INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD.....	21
¿QUÉ SIGNIFICA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD?.....	21
RELACIÓN ENTRE LA INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD Y LA METROLOGÍA .	23
METROLOGÍA	23
METROLOGÍA LEGAL	26
METROLOGÍA CIENTÍFICA	27
METROLOGÍA INDUSTRIAL.....	27
METROLOGÍA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	27
SEGUIMIENTO	29
MEDICIÓN	29
CALIDAD DE LOS DATOS DE MEDICIÓN.....	32
CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES	33
MEDICIÓN DIRECTA	33
MEDICIÓN INDIRECTA.....	33
ERROR E INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES	33
ERRORES EN LAS MEDICIONES	34
ERROR SISTEMÁTICO	34
ERROR ALEATORIO	35

INCERTIDUMBRE	37
TIPOS DE INCERTIDUMBRE	39
EFFECTOS DE LOS ERRORES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	39
ESTABILIDAD	41
REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE ESTABILIDAD	41
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS – GRAFICO:.....	42
CAUSAS DE INESTABILIDAD	44
SESGO (BIAS)	44
REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE SESGO	45
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS – GRAFICO:.....	46
CAUSAS DE UN SESGO EXCESIVO:.....	49
LA DIFERENCIA ENTRE EXACTITUD (SESGO) Y PRECISIÓN.....	50
TRAZABILIDAD.....	52
CAPÍTULO III. METROLOGÍA DIMENSIONAL	54
INTRODUCCIÓN	54
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	54
REGLAS PARA EFECTUAR MEDICIONES	55
INSTRUMENTOS DE METROLOGÍA DIMENSIONAL	55
CALIBRADOR VERNIER	56
PARTES DE UN CALIBRADOR VERNIER	56
PROCESO DE MEDICIÓN	57
RECOMENDACIONES DE USO.....	58
CALIBRADOR DIGITAL.....	58
CALIBRADOR DE CARÁTULA	59
MICRÓMETRO	59
TIPOS DE MICRÓMETROS – SEGÚN LA MEDICIÓN QUE EFECTÚEN	60
PROCESO DE LECTURA.....	61
GLOSARIO DEL MÓDULO	63
ANEXO 1	67
ANEXO 2	68
ANEXO 3	69
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	70

INTRODUCCIÓN

Las mediciones suponen una parte vital de nuestras vidas; el café, el cacao, las planchas de madera, se compran por peso o tamaño, el agua, la electricidad y la velocidad de nuestros vehículos se miden y ello afecta a nuestras economías domésticas y a nivel empresarial obviamente afecta la economía industrial y por ende del país. Es entonces imprescindible estar consciente sobre la importancia que tiene el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Es prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a los pesos y medidas tal es así que el comercio, el mercado y las leyes que lo regulan dependen de ellas, sin embargo, una inmensa mayoría no conoce o no respeta la notación y símbolos mediante los cuales se deben expresar las magnitudes, las unidades y las dimensiones y eso conduce también a lamentables confusiones y equivocaciones que en el desarrollo de esta unidad se preparará al estudiante para que tenga el conocimiento necesario para no cometer éstos errores.

CAPITULO I. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

El sistema internacional de unidades es el sistema coherente de unidades adoptado por Ecuador el 9 de enero de 1974 y recomendado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

La nomenclatura, definiciones y símbolos de las unidades del Sistema Internacional, así como las recomendaciones para el uso de los prefijos son recogidas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1:2013 cuarta revisión.

Antes de revisar sobre nomenclaturas y símbolos, partiremos explicando dos conceptos básicos que debemos tener claro. es importante entender que es una magnitud física, y que es una unidad o unidades en que las magnitudes deben ser expresadas.

Magnitudes

En nuestro entorno existen muchas magnitudes físicas, algunas de las cuales somos capaces de percibir directamente utilizando nuestros sentidos como son el tacto cuando sentimos la rugosidad de una superficie, la vista para determinar longitudes, el oído para descubrir sonidos, el olfato para distinguir olores o el gusto para determinar sabores.

Otras magnitudes, en cambio, las percibimos de forma indirecta con la utilización de equipos especiales los cuales permiten ampliar nuestra capacidad de percepción como son la rapidez (que no es lo mismo que la velocidad).

Por ejemplo. Entonces se entiende por magnitud a la *“Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia”* (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2013)

A partir de ahora, para poder trabajar de forma precisa se han definido entonces magnitudes físicas que debemos conocer y comprender bien y que no debemos confundir. Es así que las

magnitudes físicas se clasifican en magnitudes Fundamentales y Magnitudes Derivadas.

Magnitudes fundamentales

Según el Sistema Internacional de Unidades (SI), las magnitudes fundamentales son siete y se presentan en el siguiente cuadro.

MAGNITUD	Unidades SI fundamentales	
	UNIDAD SI	SÍMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura Termodinámica	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

Cuadro 1. **Magnitudes Fundamentales**

Fuente: NTE INEN 1:2013

Al combinar estas magnitudes fundamentales de diversas formas, especialmente mediante cocientes (divisiones) o productos (multiplicaciones) o combinando estas dos operaciones se obtienen otras magnitudes físicas conocidas como magnitudes derivadas.

Magnitudes derivadas

Un ejemplo de magnitud derivada la denominada superficie (equivocadamente denominada área) la cual se obtiene del producto de dos longitudes, es decir, es una longitud al cuadrado.

A continuación, se muestran las magnitudes derivadas según el Sistema Internacional separadas por nombres especiales y nombres no especiales.

Magnitudes Derivadas que tienen nombres especiales

Magnitud	Nombre especial	Símbolo especial	expresión en términos de otras unidades del SI ^(a)	Expresión términos de unidades del SI fundamentales y suplementarias
Angulo plano	radián ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
Angulo sólido	estereorradián ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
Frecuencia	hertzio ^(d)	Hz	1/s	s ⁻¹
Fuerza	newton	N		m kg s ⁻²
Presión	pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
Energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	N.m	m ² kg s ⁻²
Potencia, flujo de energía	vatio	W	J/s	m ² kg s ⁻³
Cantidad de electricidad ^(g) , carga eléctrica	culombio	C		s.A
Diferencia de potencial, voltaje	voltio	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
Capacidad eléctrica	faradio	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
Conductancia eléctrica	siemens	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
Flujo magnético	weber	Wb	V.s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
Densidad de flujo magnético	tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
Inductancia	henrio	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
Flujo luminoso	lumen	lm	cd.sr ^(e)	Cd
Illuminancia	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
Temperatura Celsius	Grados celsius ^(f)	°C		K

(a) Los prefijos SI pueden utilizarse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero cuando se hace esto la unidad resultante ya no será coherente.
 (b) el radián y estereorradián son nombres especiales para los números y pueden ser usados para brindar información acerca de la cantidad. En la práctica los símbolos rad y sr son usados cuando son considerados necesarios.
 (c) En fotometría el nombre estereorradián y el símbolo sr se conservan en las expresiones de las unidades.
 (d) la unidad hertz es usada únicamente para fenómenos periódicos.
 (e) la diferencia de potencial es llamada "voltaje"
 (f) el grado Celsius es un nombre especial para el kelvin. La escala Celsius está en función de la escala kelvin.
 (g) Actividad que se refiere a un radionucleido que es a veces incorrectamente llamada radiactividad.

Cuadro 2. Magnitudes derivadas que tienen nombres especiales
Fuente: NTE INEN 1:2013

Magnitudes Derivadas que no tienen nombres especiales

Magnitud derivada	Nombre	Símbolo ^(a)	Expresión en términos de unidades del SI fundamentales ^(b)
Superficie	metro cuadrado	m ²	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³	m ³
Densidad de masa (densidad)	kilogramo por cada metro cúbico	kg/m ³	m ⁻³ kg
Velocidad lineal (velocidad)	metro por segundo	m/s	m s ⁻¹
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s	s ⁻¹ rad
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²	m s ⁻²
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s ²	s ⁻² rad
Viscosidad dinámica	newton-segundo por metro cuadrado	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
Momento de fuerza	Newton metro	N m	m ² kg s ⁻²
Tensión superficial	Newton por metro	N/m	kg s ⁻²
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m ² /s	m ² s ⁻¹
Intensidad de campo eléctrico	voltio por metro	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
Densidad de energía	julio por metro cúbico	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
Densidad de carga eléctrica	Coulomb por metro cúbico	C/m ³	m ⁻³ s A
Densidad de carga superficial	Coulomb por metro cuadrado	C/m ²	m ⁻² s A
Densidad de flujo eléctrico, desplazamiento eléctrico	Coulomb por metro cuadrado	C/m ²	m ⁻² s A
Densidad de flujo de calor, irradiación	Vatio por metro cuadrado	W/m ²	kg s ⁻³
Intensidad de campo magnético	amperio por metro	A/m	m ⁻¹ A
Fuerza magnetomotriz	amperio (espira)	A	A
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m ²	m ⁻² cd
Número de ondas	unidad por metro	1/m	m ⁻¹
Entropía	julio por kelvin	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
Entropía molar, capacidad de calor molar	julio por mol kelvin	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
Calor específico	julio por kilogramo-kelvin	J/(kg.K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
Energía específica	julio por kilogramo	J/kg	m ² s ⁻²
Conductividad térmica	vatio por metro-kelvin	W/(m.K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
Intensidad radiante	vatio cada estereorradián	W/sr	m ² kg s ⁻³ sr ⁻¹
Radiancia	Vatio por metro cuadrado	W/(m ² sr)	kg s ⁻³
Exposición (rayos x y γ)	Coulomb por kilogramo	C/kg	Kg ⁻¹ s A

(a) Los símbolos indicados en esta columna son los típicos de estas unidades. Sin embargo, otros (que pertenezcan al SI) pueden ser igualmente válidos.
 (b) Expresión en términos de unidades SI fundamentales y/o suplementarias.
 (c) Esta unidad es diferente del hertzio (ver tabla A.3) por cuanto se refiere a fenómenos no periódicos (E): actividad de una fuente radiactiva.

Cuadro 3. Magnitudes derivadas que NO tienen nombres especiales
Fuente: NTE INEN 1:2013

¿Cuál es la forma correcta de expresar las magnitudes?
Veamos algunos ejemplos:

a) Para masa $m_A = 15(kg)$, $m_B = 0,5(g)$

b) Para tiempo $t_1 = 15,3(h)$, $t_2 = 240,5(s)$

c) Para temperatura $T_1 = 24(^{\circ}C)$, $T_2 = 215(^{\circ}K)$

d) Para densidad volumétrica de masa $\rho_A = 5,7(kg/m^3)$, $\rho_B 1,8(g/cm^3)$

Observaciones importantes

1. Como se puede observar en los ejemplos los símbolos de las unidades de las magnitudes deben ser escritos entre paréntesis.
2. Los símbolos de las unidades se escriben en singular y no en plural.

Mas adelante se detallarán otras reglas para escribir unidades y sus símbolos.

UNIDAD DE MEDIDA

“Es una magnitud que se escoge arbitrariamente como término de comparación de las demás magnitudes de su misma especie” (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2013)

Conceptualizando de una manera más clara, las unidades son patrones de medida de las magnitudes físicas, estos patrones son en esencia arbitrarios lo que significa que a lo largo del tiempo se han empleado muchos y diversos patrones para cada magnitud física lo que ha dado lugar a diferentes sistemas de unidades que subsisten hasta el día de hoy. Es así que desde principios del siglo XX se empiezan a establecer los Sistemas de Unidades. Los más importantes de estos sistemas fueron el Sistema Inglés o anglosajón, el Sistema Métrico Decimal (que a partir del año 1948 fue racionalizado) y que luego se convertiría en el Sistema Internacional de Unidades, que se crea y difunde mundialmente a partir de 1960, aproximadamente.

Entre los sistemas de unidades mencionados anteriormente existen equivalencias; por ejemplo, la unidad patrón para la medición de longitud del sistema inglés es la pulgada (pulg) en español y como (inch) en inglés. La equivalencia con el sistema métrico decimal es $1(\text{pulg}) = 2,54(\text{cm})$. También existen unidades de medición de longitud que corresponden a múltiplos de la anterior y que tienen como propósito hacer más práctica la medición de longitudes mayores.

De la misma forma que con la longitud para las magnitudes de masa, tiempo también existen equivalencias con el Sistema Métrico Decimal. En el siguiente cuadro se muestra las equivalencias de las principales magnitudes que serán de mucha utilidad cuando se necesite transformar unidades de medida de un sistema a otro.

Cuadro de Equivalencias entre el Sistema Inglés y el SI

Magnitud	Unidad Sistema Ingles	Equivalencia con SI
Longitud	Pulgada	1in = 2.54 cm
	Pie	1 pie = 30.48 cm
	Yarda	1 yd = 0.914 m
	milla	1 mi = 1.609 Km
Masa	Libra	1 lb = 453.6 g
	Onza	1 oz = 28.35 g
	tonelada	1 t = 907.2 Kg
Volumen	Galón	1 gal = 3.785 L
	Cuarto	1qt = 946.4 mL
	Pie cubico	1 pie³ = 28.32 L

Cuadro 4. **Cuadro de Equivalencias del sistema ingles y el SI**

La gran ventaja que tiene el SI (cuyo antecesor fue el sistema métrico decimal) sobre el sistema inglés se explica precisamente por su carácter decimal, es decir, por estar basado en el número 10 y en potencias de 10 pues con el propósito de manejar en forma más simple la notación de cantidades muy grandes o muy pequeñas respecto a la unidad patrón, se establecieron múltiplos y submúltiplos de cada unidad, especialmente empleadas para el caso de longitud, superficie, volumen y masa. Estos múltiplos o

submúltiplos se ordenan también en base a potencias de 10 como se ve en el cuadro que se muestra a continuación.

Prefijos del Sistema Internacional de Unidades

PREFIJO	SÍMBOLO	FACTOR
yotta	Y	10^{24}
zetta	Z	10^{21}
exa	E	10^{18}
peta	P	10^{15}
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

Cuadro 5. Prefijos del SI

Fuente: NTE INEN 1:2013

REGLAS GENERALES DE USO DE UNIDADES Y SU SIMBOLOGÍA DEL SI

Todas las reglas que se mencionan a continuación son extraídas de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1:2013 cuarta revisión, de la Norma Técnica Colombiana NTE 1000.

1. No se colocarán puntos luego de los símbolos de las unidades SI o de sus múltiplos o submúltiplos. Ejemplo: kg, dm, mg.
2. Cuando sea necesario referirse a una unidad, se recomienda mencionar el símbolo de la unidad y no su nombre, salvo casos en los que se definan conceptos en los cuales intervengan nombres de las unidades, o exista riesgo de confusión.

Ejemplos:

2 N, es preferible a 2 newton

1 litro, es preferible a 1 l

3. El símbolo de la unidad será el mismo para el singular que para el plural. Ejemplo: un kilogramo 1 kg – cinco kilogramos 5 kg.

4. No se acepta la utilización de abreviaturas para designar las unidades SI. Existen símbolos, no abreviaturas. Ejemplo: grs no corresponde a gramos, lo correcto es: g

5. Cuando se deba escribir (o pronunciar) el plural del nombre de una unidad SI, se usarán las reglas de la Gramática Española. Ejemplo: (singular) metro – (plural) metros, (singular) mol – (plural) moles.

6. Se usarán los prefijos SI y sus símbolos, para formar respectivamente los nombres y los símbolos de los múltiplos y submúltiplos de las unidades SI. Ejemplo: centímetro = cm

7. No deberán combinarse nombres y símbolos al expresar el nombre de una unidad derivada. Ejemplo: metro/s, lo correcto es: m/s o metro/segundo.

Por qué la coma como marcador decimal.

Las razones por las cuales se escogió la coma como signo para separar en un número la parte entera de la decimal, pueden considerarse en cierta forma como un cúmulo de razones sencillas y hasta un tanto humildes en su concepción individual. Sin embargo, todas ellas en un conjunto explican por qué la coma fue escogida como único signo ortográfico en la escritura de números:

El BIPM (Oficina Internacional de Pesas y Medidas), por sus siglas en inglés, en su publicación "Le Systeme International d'Unites", 7ª edición de 1998, en la parte correspondiente a su prefacio manifiesta que por decisión de CIPM (Concejo Internacional de Pesas y Medidas) aprobada en 1997 se acepta el punto como separador decimal únicamente para

textos en inglés, para los demás casos el separador decimal es la coma.

1. La coma es reconocida por la Organización Internacional de Normalización-ISO- (esto es, por alrededor de 90 países de todo el mundo) como único signo ortográfico en la escritura de los números.

2. La importancia de la coma para separar la parte entera del decimal, es enorme. Esto se debe a la esencia misma del Sistema Métrico Decimal, por ello debe ser visible, no debiéndose perder durante el proceso de ampliación o reducción de documentos.

3. La grafía de la coma se identifica y distingue mucho más fácilmente que la del punto.

4. La coma es una grafía que, por tener forma propia, demanda del escritor la intención de escribirla, el punto puede ser accidental o producto de un descuido.

5. El punto facilita el fraude, puede ser transformado en coma, pero no viceversa.

6. En matemática, física y, en general en los campos de la Ciencia y de la Ingeniería, el punto es empleado como signo operacional de multiplicación. Esto podría llevar a error o causar confusión, no es recomendable usar un mismo signo ortográfico para dos diferentes propósitos.

7. En nuestro lenguaje común, la coma separa dos partes de una misma frase, mientras que el punto detalla una frase completa. Por consiguiente y teniendo esto en cuenta, es más lógico usar la coma para separar la parte entera de la parte decimal de una misma cantidad.

8. Es una regla estricta que el marcador decimal debe tener siempre, por lo menos, una cifra a su izquierda y a su derecha. Sin embargo, en países donde se usa el punto como marcador decimal, se escribe, muy a menudo, expresiones como .25 en vez de lo correcto 0.25. Esta forma incorrecta de escribir número decimales puede tener consecuencias muy

graves sí un médico prescribe .25 mg en una receta y no marca claramente el punto, la enfermera o el farmacéutico puede fácilmente leer .25 mg y como consecuencia puede preparar para el paciente una dosis cien veces mayor de la medicina recetada, lo cual podría ocasionarle, inclusive, la muerte. Sí el médico hubiera escrito 0.25 mg esto no pasaría, aún en el caso de no haber escrito con claridad el punto, se leería 0.25 mg, grafía que inmediatamente y por su misma naturaleza hace comprender que el marcador decimal no se ha escrito. En los países métricos donde se usa la coma como separador decimal, el caso anteriormente descrito es prácticamente imposible que se dé, ya que la coma es una grafía mucho más visible y fácil de identificar. Además, si el que escribe está tentado de escribir .25 por ser ésta una forma escritura totalmente no acostumbrada, resalta de inmediato la necesidad de escribir el cero antes de la coma.

9. Una de las más importantes razones para aceptar el Sistema Internacional de Unidades – SI – que no es otra cosa que un Sistema Métrico Decimal modernizado, es el de facilitar el comercio y el intercambio de conocimientos e informes en un mundo métrico. La coma se usa como marcador decimal en toda Europa continental y en casi toda Suramérica.

Al adoptar la coma, pues, se adopta una práctica aceptada mundialmente, lo que nos permite usufructuar, sin confusiones ni dudas, el intercambio mundial de ciencia y experiencia.

Uso del nombre de las unidades

El nombre completo de las unidades SI se escribe con letra minúscula, con la única excepción de grado Celsius, salvo en el caso de comenzar la frase o luego de un punto.

CORRECTO	INCORRECTO
metro	Metro
kilogramo	Kilogramo
newton	Newton
watt	Watt

Cuadro 6. Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir unidades

Fuente: NTE INEN 1:2013

Las unidades, los múltiplos y submúltiplos, sólo podrán designarse por sus nombres completos o por sus símbolos correspondientes reconocidos Internacionalmente. No está permitido el uso de cualquier otro.

CORRECTO	INCORRECTO
m (metro)	mts, mt, Mt, M
kg (kilogramo)	kgs, kgr, kilo, KG, KG
g (gramo)	gr, grs, Grs, g.
l o L (litro)	lts, lt, Lt
K (kelvin)	k
cm ³ (centímetro cúbico)	cc, cmc, c.c.
km/h (kilómetro por hora)	kph, kmh, kmxh

Cuadro 7. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir unidades**
Fuente: NTE INEN 1:2013

Las unidades cuyos nombres son los de los científicos, no se deben traducir, deben escribirse tal como en el idioma de origen.

CORRECTO	INCORRECTO
newton	niutonio
sievert	sievertio
joule	julio
ampere	amperio

Cuadro 8. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir unidades**
Fuente: NTE INEN 1:2013

Reglas para usar los símbolos

1. Cada unidad y cada prefijo tiene un solo símbolo y este no puede ser alterado de ninguna forma. No se debe usar abreviaturas. Ejemplo:

CORRECTO	INCORRECTO
10 cm ³	10 cc.
30 kg	30 kgrs.
5 m	5 mts.
10 t	10 TON

Cuadro 9. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir los símbolos**

Fuente: NTE INEN 1:2013

2. Todos los símbolos de las unidades SI se escriben con letras minúsculas del alfabeto latino, con la excepción del ohm (Ω) letra mayúscula omega del alfabeto griego, pero aquellos que provienen del nombre de científicos se escriben con mayúscula. Ejemplo:

kg	Kilogramo	A	ampere
cd	Candela	Ω	Ohm

Cuadro 10. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir los símbolos**

Fuente: NTE INEN 1:2013

3. Los símbolos no se pluralizan siempre se escriben en singular independientemente del valor numérico que los acompaña. El símbolo representa a la unidad. Ejemplo: 5 kg – 255 m

4. Luego de un símbolo no debe escribirse ningún signo de puntuación, salvo por regla de puntuación gramatical, dejando un espacio de separación entre el símbolo y el signo de puntuación. Ejemplo: ...cuya longitud de 7,1 m .

5. Los símbolos se escriben a la derecha de los valores numéricos separados por un espacio en blanco. El espacio en blanco se eliminará cuando se trate de los símbolos de las unidades sexagesimales de ángulo plano.

Ejemplos:	10 A
	270 K
	30 m
	40° 30' 20"

Cuadro 11. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir los símbolos**

Fuente: NTE INEN 1:2013

6. Todo valor numérico debe expresarse con su unidad, incluso cuando se repite o cuando se especifica la tolerancia.

Ejemplos:	30 m + 0,1 m
	...de las 14 h a las 18 h ...
	...entre 35 mm a 40 mm ...

Cuadro 12. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir los símbolos**

Fuente: NTE INEN 1:2013

LOS PREFIJOS

1. Todos los nombres de los prefijos del SI se escriben con letra minúscula.

Ejemplo: exa, giga, mega, kilo, mili, micro.

2. Los símbolos de los prefijos para formar múltiplos se escriben con letra latina mayúscula, salvo el prefijo kilo, que por convención se escribe con letra (k) minúscula.

Ejemplo: Mm , kg , km , Gm .

3. Los símbolos de los prefijos para formar los submúltiplos se escriben con letra latina minúscula, salvo el símbolo del prefijo micro, para el que se usa la letra griega mu minúscula (μ).

Ejemplos:	mili	m
	micro	μ
	nano	η
	pico	ρ

Cuadro 13. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir prefijos**

4. Los múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida se forman anteponiendo, sin dejar espacio, los nombres o

símbolos de los prefijos a los nombres o símbolos de las unidades.

Ejemplos:	Kilómetro	km
	Miliampere	mA
	Megavolt	MV

Cuadro 14. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir prefijos**

5. Los múltiplos y submúltiplos de medida de masa se forman anteponiendo los nombres o símbolos de los prefijos a la palabra gramo.

Ejemplos:	Mg	megagramo
	kg	kilogramo (unidad de base)
	g	gramo
	mg	miligramo
	μg	microgramo

Cuadro 15. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir prefijos**

6. No se usarán dos o más prefijos delante del símbolo o nombre de una unidad de medida. Ejemplo:

CORRECTO	INCORRECTO
hm (hectómetro)	dkm (decikilometro)
ηA (nanoampere)	mμA (milimicroampere)
MW (megawatt)	kkW (kilokilowatt)

Cuadro 16. **Ejemplos de formas correctas e incorrectas de escribir prefijos**

7. Los múltiplos y submúltiplos de las unidades de medida deben ser generalmente escogidos de modo que los valores numéricos estén entre 1 y 1000. Ejemplo:

SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
---------------	------------------

750 km	750 000 m
--------	-----------

Cuadro 17. **Cuadro comparativo sobre como escribir múltiplos y submúltiplos**

REGLAS PARA PRESENTACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS

Notación decimal

1. La separación de la parte entera de la decimal se la realizará mediante una coma.
2. Cuando el valor numérico es menor que uno, la coma decimal deberá ir precedida por un cero.

Ejemplos:

Formas correctas:

0,1

0,01

0,001

Formas incorrectas:

,1

,01

,001

3. La parte entera de un valor numérico podrá ser expresada sin coma decimal.

Ejemplos:

10

101

1001

4. El número de cifras decimales dependerá de las circunstancias en las cuales van a ser usadas las cantidades.

5. Tanto en la parte entera como en la parte decimal, se hará una separación en grupos de tres cifras comenzando a contar de la coma decimal, mediante un espacio blanco equivalente a un espacio igual al ancho del símbolo 0 (cero).

Ejemplos:

Formas correctas:

1 341

9 432 280, 17

0,131 281

Formas incorrectas:

1´341

1.341

9'432 280,17

9. 432 280, 17

0,131281

Representación del tiempo

En la representación numérica del tiempo se emplearán las cifras arábigas 0, 1 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, y se emplearán únicamente los siguientes símbolos: h (hora), min (minuto), s (segundo). El tiempo se expresará utilizando dos cifras para expresar los valores numéricos de las horas, de los minutos y de los segundos, separados de los símbolos de estas unidades mediante espacios en blanco y de acuerdo al siguiente orden: hora minuto segundo.

Ejemplos:

Formas correctas:

12 h 05 min 30 s

00 h 30 min 05 s

18 h 00 min 45 s

Formas incorrectas:

13 pm

6 am

6 de la tarde

10 y 15

20 para las 11

VI horas

Representación de la fecha en forma numérica

En la representación numérica de fechas se utilizarán las cifras arábigas 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9. Para expresar el año se utilizarán cuatro cifras, las que se escribirán en bloque. Cuando no exista riesgo de confusión podrán utilizarse solo dos cifras. Se utilizarán dos cifras para representar los días y los meses. Al escribir la fecha completa se representará el orden siguiente: año-mes-día y se usará un guion para separarlos.

CAPÍTULO II: METROLOGÍA

INTRODUCCIÓN

Las exigencias de una calidad establecida en la industria actual, hacen necesaria la aparición de sistemas de aseguramiento o de gestión de la calidad que se centran en evaluar y asegurar que los productos y servicios responden a las expectativas de calidad de los clientes. Como parte de ese control y evaluación de algunos parámetros de calidad en los productos se establecen mecanismos de medición, inspección y ensayos.

Con relación a los mecanismos de medición, no todo consiste en disponer de los mejores instrumentos, sino que debemos establecer una relación óptima entre su utilización y su costo. La tendencia actual es definir las características metrológicas de los equipos mediante el concepto de incertidumbre de medida.

Cuando medimos algo, tenemos que estar seguros que sabemos lo cerca que estamos de la medición real.

Si medimos la velocidad que vamos en nuestro auto, podemos hacer esto de varias maneras:

- Podemos utilizar el indicador de velocidad en el coche
- Podemos utilizar nuestro sistema de GPS
- Podríamos contar con un control de velocidad de policía para una respuesta precisa

¿Crees que vamos a obtener los mismos resultados de las 3 medidas?

Si pesamos 500 gramos de harina en una balanza romana, o se utiliza una electrónica, ¿vamos a obtener el mismo resultado?, pues depende de la calibración y trazabilidad a patrones nacionales físicos.

Los científicos y las industrias utilizan una gran variedad de instrumentos para llevar a cabo sus mediciones. Desde objetos sencillos como reglas y cronómetros hasta potentes microscopios, medidores de láser e incluso computadoras muy avanzadas.

La metrología es parte fundamental no solo para la industria sino también para un país y ésta forma parte de la Infraestructura Nacional de la Calidad, compuesta además por las actividades de normalización, ensayos, certificación y acreditación, que a su vez son dependientes de las actividades metrológicas que aseguran la exactitud de las mediciones que se efectúan en los ensayos, cuyos resultados son la evidencia para las certificaciones. La metrología permite asegurar la comparabilidad internacional de las mediciones y por tanto la intercambiabilidad de los productos a escala internacional.

INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD.

¿Qué significa Infraestructura de la Calidad?

Como se mencionó anteriormente medir, normalizar y ensayar son elementos muy importantes cuando se trata de asegurar la calidad de los productos industriales, por ende, estos tres elementos son esenciales, entre otras cosas, para el comercio nacional e internacional de productos. Debido a esta importancia estos elementos se han desarrollado durante siglos por diversas culturas y países. Como resultado de esto se establece la Infraestructura de la Calidad (IC) con estos elementos como fundamentales, elementos que pese a ser tan importantes por lo general actúan de manera invisible pues tanto el fabricante como el consumidor o cliente utilizan diariamente componentes de la IC sin ser conscientes de ello. Como ejemplo se puede mencionar que los tornillos se enroscan adecuadamente en sus respectivas tuercas, que los equipos electrónicos funcionan y que los medicamentos contienen la dosificación correcta de las sustancias, etc. Nota: Esta Introducción se realizó en base a (Sanetra, 2007)

Se puede definir entonces la IC, según Karl-Christian Gothner (Consultor del Instituto Nacional de Metrología de Alemania (PTB), ...) "*como la totalidad de la red institucional, ya sean agentes*

públicos o privados, y el marco legal que la regula, responsables por formular, editar e implementar las normas, y dar evidencia de su cumplimiento (la mezcla relevante de inspección, ensayos, certificación, metrología y acreditación)." (Karl-Christian Gothner; Sebastian Rovira, 2011)

La infraestructura de la calidad es esencial para el comercio internacional y la sostenibilidad económica. En el Ecuador la infraestructura de la calidad se fundamenta en cuatro pilares:

- a) Normalización
- b) Metrología
- c) Acreditación
- d) Evaluación de la Conformidad

Su fortalecimiento descansa en base a la regulación y control de los productos, la promoción de la normativa técnica vigente, la gestión de la calidad, y la protección de los derechos de los consumidores

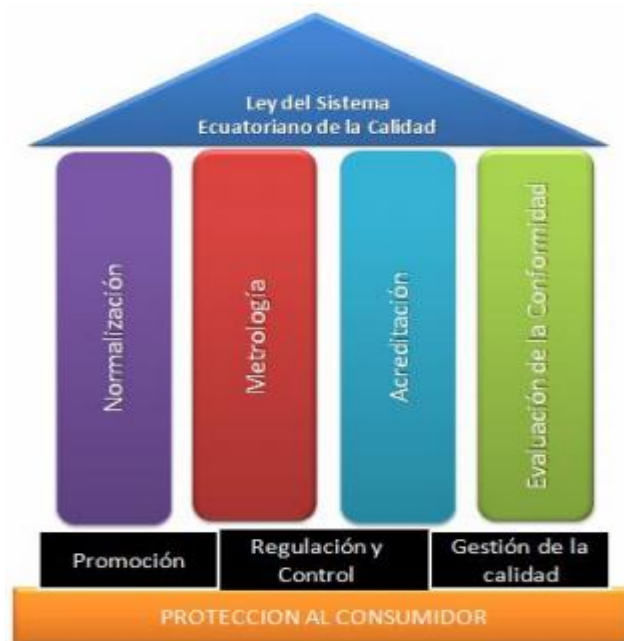


Imagen 1. Infraestructura de la Calidad en el Ecuador

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad – Plan nacional de la calidad 2016

Relación entre la Infraestructura de la Calidad y la Metrología

“La creciente globalización del comercio y la emergencia de nuevas industrias basadas en conocimiento, dependerán cada vez más para su crecimiento de mediciones altamente precisas” (Sanetra, 2007)

Los servicios de la infraestructura de la calidad, como los ensayos, las inspecciones, la certificación y la acreditación, a menudo dependen de mediciones exactas. En general, las actividades de metrología y calibración están en manos del Instituto Nacional de Metrología (INM). Según Sanetra y Marbán (2007, pág. 66), la función de un INM consiste en “(...) obtener, conservar, desarrollar y diseminar las unidades básicas de medidas y los patrones de calibración del más alto nivel. Él es quien proporciona trazabilidad al sistema nacional y debe asegurar que se sigan las guías técnicas internacionales en lo relativo a desempeño metrológico y procedimientos de ensayo de los instrumentos de medición sujetos a controles legales. Desde la óptica de los fabricantes, asegura que sus productos cumplen las especificaciones internacionales para desempeño metrológico y ensayos”.

METROLOGÍA

La metrología (del griego μετρον, medida y λογος, tratado) es la materia matemática (Sistemas de Unidades adoptado) y técnica (instrumentos usados) que estudia las mediciones de las magnitudes garantizando su normalización mediante la trazabilidad.

Incluye el estudio, mantenimiento y aplicación del sistema de pesos y medidas. Actúa tanto en los ámbitos científico, industrial y legal, como en cualquier otro demandado por la sociedad.

El papel de la metrología puede verse fácilmente:

- No hay **calidad** sin **control de calidad**,
- No hay **control de calidad** sin **mediciones**,
- No hay **mediciones** sin **calibración**,De

- No hay **calibración** sin **laboratorios acreditados**,
- No hay **laboratorios acreditados** sin **trazabilidad**,
- No hay **trazabilidad** sin **patrones de medición**,
- No hay **patrones de medición** sin **metrología**. (Sanetra, 2007)

El objetivo fundamental de la metrología es la obtención y expresión del valor de las magnitudes empleando para ello instrumentos, métodos y medios apropiados, con la exactitud requerida en cada caso.

La metrología tiene dos características muy importantes; el resultado de la medición y la incertidumbre de medida. (más adelante en este libro se hablará sobre la incertidumbre)

Como se ha mencionado varias veces en el libro, las mediciones son parte de nuestra vida diaria y sus resultados afectan decisiones en muchas disciplinas. Aparte de la finalidad de protección del consumidor en las transacciones legales (metrología legal) las mediciones precisas en aspectos relacionados con la calidad se están volviendo cada vez más importantes en la producción globalizada, con empresas trabajando a nivel global y proveedores locales a nivel mundial.

Como ejemplo podemos realizar la siguiente pregunta:

¿Cómo garantizar que un kilogramo, un metro, un segundo, o fracciones y múltiplos de los mismos son medidos con idénticos resultados independientemente del operador, la localidad, las condiciones ambientales y las características de los instrumentos de medición?

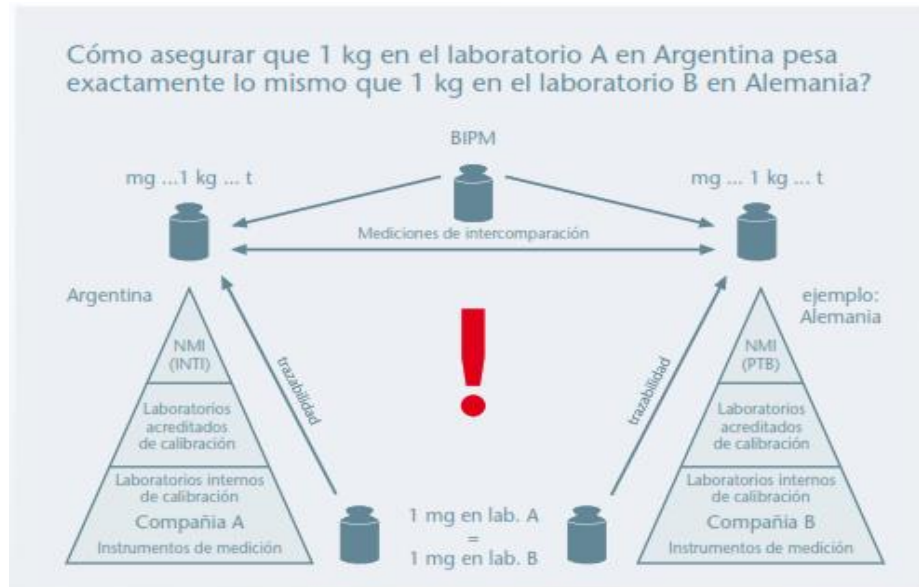


Imagen 2. **Ejemplo de la importancia de la Metrología**

Fuente: Sanetra (2007)

La única forma de poder garantizar es gracias a una estructura de mediciones aplicada en cada país del mundo, armonizada a través de organizaciones regionales, y finalmente coordinada por el BIPM como sistema mundial de metrología.

La institución encargada de la metrología en el Ecuador es el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), y es quién, de acuerdo al artículo 35 de la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, debe establecer los métodos de comparación y calibración de patrones e instrumentos de medición y estructurar la cadena de referencia para cada unidad de los patrones secundarios, terciarios y de trabajo utilizados en el país.

“En lo que respecta la metrología industrial y científica el INEN es el custodio de los patrones nacionales de las magnitudes de Masa, Balanzas, Presión, Fuerza, Temperatura, Humedad, Volumen, Longitud, Química; mientras que el Centro de Metrología del Ejército es el custodio del patrón nacional de la magnitud de Tiempo y Frecuencia. En lo referente a la metrología legal se realizan aprobación de modelo, verificaciones del contenido neto y controles metrológicos en instrumentos de pesar y medir.” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2018)

Metrología legal

(Verificación de instrumentos usados en transacciones comerciales según reglamentos técnicos)

¿Cómo un consumidor que compra un kilogramo de carne, o 10 galones de combustible en una estación de servicio puede estar seguro que las cantidades que se le muestran son correctas?

Parafraseando a (Sanetra, 2007) podemos asegurar que... Los consumidores no están en la posibilidad de verificar las transacciones comerciales que realizan día a día, es por ello que necesitan un protector que asuma esta responsabilidad. En el Ecuador esa responsabilidad recae sobre Ministerio de Industrias y Productividad en el área para Defensa al Consumidor. El trabajo de la Defensa al Consumidor es proteger a los ciudadanos de pérdidas intencionales o no por parte de los proveedores, y por tanto es asunto legal el control de resultados correctos de mediciones en las transacciones comerciales.

“El INEN es la entidad responsable de la Metrología en el país y como tal actúa en calidad de organismo competente, en lo referente al ámbito de la Metrología Legal sus funciones y atribuciones se encuentran expresadas en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad LSEC, capítulo VI Metrología, artículos del 35 al 42 referentes a regulaciones para el uso, control y mantenimiento de las unidades medida; aparatos, instrumentos y equipos para medir; aprobación modelo de instrumentos aparatos y equipos que se fabriquen o se importen al país; verificación de los instrumentos para medir de tipo comercial y para servicios; la cantidad de mercadería envasada, empacada, almacenada y expuesta a la venta de acuerdo a las leyes y reglamentos y de manera general los procedimientos metrológicos, entre otros.

El INEN de acuerdo a las leyes y reglamentos establece que los instrumentos de medición que se fabriquen, importen o se utilicen en el territorio nacional, durante su tiempo de vida útil deben ser sometidos a control metrológico (aprobación modelo, verificación inicial, verificación posterior o luego de

reparación e inspecciones en servicio), de acuerdo a los requisitos especificados en las regulaciones metrológicas vigentes.” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2018)

Metrología científica

(Desarrollo de patrones o métodos primarios)

La metrología científica tiene por función buscar y materializar los patrones internacionales para que éstos sean más fáciles de reproducir a nivel internacional, encontrar los patrones más adecuados para los descubrimientos que se hagan en el futuro y analizar el sistema internacional de medidas, con el objeto de elaborar las normas correspondientes. No está relacionada con los servicios de calibración que se hacen en la industria y el comercio.

Metrología industrial

(Mantenimiento y control correcto de los equipos industriales de medición)

Tiene por función dar servicio de medición y calibración de patrones y equipos a la industria y comercio. Compete a los laboratorios autorizados.

“En lo que se refiere a la metrología industrial y científica, para cubrir la demanda en el país se dispone únicamente de los laboratorios del INEN, 18 laboratorios acreditados ante el SAE y 03 laboratorios acreditados ante la Asociación Americana para Acreditación de Laboratorios de Estados Unidos (A2LA).” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2018)

METROLOGÍA EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

La norma ISO 9001 promueve el enfoque basado en procesos como un pilar para aumentar la satisfacción del cliente. Este enfoque requiere llevar a cabo un proceso de seguimiento y medición al desempeño y a los resultados de los procesos, en muchas ocasiones estas actividades de seguimiento y medición implican la utilización de equipos de medición por lo que resulta muy importante que los resultados de estos equipos

proporcionen datos veraces (Metrología Industrial) y esto se logra mediante un control efectivo (Metrología Científica). La medición y el seguimiento en la ISO 9001:2015 es uno de los elementos esenciales de la mejora continua.



Imagen 3. **Modelo de un SGC basado en procesos**

Fuente: Norma ISO 9001:2008

Para lograr que un SGC sea eficaz, debemos llevar a cabo un seguimiento y medición del mismo, con el fin de recabar las oportunas evidencias para tomar las correspondientes decisiones y emprender las mejoras necesarias. Es obvio entonces comprender la importancia de ambos aspectos de seguimiento y medición, ya que la eficacia del propio SGC dependerá en gran medida de la planificación, revisión y decisiones que se tomen respecto a ambos procesos. Veamos entonces cómo la Norma ISO 9001:2015 define a cada uno de estos conceptos:

- Seguimiento: Definir el estado que presenta determinado sistema, proceso o actividad.
- Medición: es un proceso para determinar un valor

La versión 2015 de la ISO 9001, define con mayor detalle los requisitos para realizar ambos procesos (seguimiento y medición). Concretamente, en este sentido y basándose en el enfoque de mejora continua, la norma ISO 9001 2015 obliga a realizar con eficacia:

- Plan de recursos para los procesos de medición y seguimiento.
- Basarnos en evidencias para la toma de decisiones.

- Utilizar las evidencias obtenidas de tales procesos para lograr la mejora continua del SGC.

SEGUIMIENTO

Todos sabemos o conocemos lo que es un dispositivo o equipo de medición, sin embargo, no todas las personas saben a qué se refiere la norma ISO 9001 cuando se refiere a un dispositivo de seguimiento. Este concepto de seguimiento se refiere a que existen equipos que no se usan para medir una magnitud física, sino que se utilizan para conocer el estado de algo, con la finalidad de controlar el producto o proceso. Estos equipos, de seguimiento, también pueden fallar, y la conformidad debe ser evaluada aplicando técnicas de la misma índole que con los equipos de medición (técnicas metrológicas).

Un ejemplo de un equipo de seguimiento es un detector de presencia en una línea de montaje.

MEDICIÓN

Como se definió anteriormente la medición sirve para la determinación de tamaño, cantidad, peso o extensión de algo, que describe a un objeto mediante magnitudes numéricas. Esta proporciona una manera fácil, casi única, de controlar la forma en que se dimensionan las partes.

Ejemplos de equipos de medición son:

- Un termómetro para medir y controlar la temperatura de producción de un producto.
- Un calibrador Vernier (pie de rey) para medir la profundidad de una pieza.

Tanto los equipos de medición como los de seguimiento que se mencionaron anteriormente son equipos que no se deben descuidar en nuestro SGC, para esto primero se debe determinar que seguimiento o medición hay que realizar, posteriormente se determina los equipos necesarios para estas tareas.

En el párrafo introductor del apartado 7.1.5, la norma ISO 9001:2015 dice literalmente:

Cuando se utiliza seguimiento o medición para evidenciar la conformidad de los productos y servicios con los requisitos especificados, la organización debe determinar los recursos necesarios para garantizar un control válido y fiable de la medición de los resultados.

La organización debe asegurarse de que los recursos proporcionados:

a) Son adecuados para el tipo específico de las actividades de seguimiento y medición que se llevan a cabo.

b) Se mantienen para asegurar su continua conforme a su propósito.

Cuando la trazabilidad de la medición es un requisito legal o reglamentario, un requisito del cliente o expectativa de parte interesada o considerado por la organización para ser una parte esencial de proporcionar confianza en los resultados de la medición los instrumentos de medición deben:

Estar verificados o calibrados a intervalos específicos o antes de su uso, contra patrones de medición trazables a patrones de medición nacionales o internacionales especificados.

** Cuando no existan tales patrones, la base utilizada para la calibración o verificación debe mantenerse como información documentada.” (Organización Internacional para la Estandarización (ISO), 2015)*

La norma exige que “la organización debe asegurar la validez y fiabilidad de los resultados”, además el equipo de medición debe:

- Calibrarse o verificarse a intervalos planificados y utilizar patrones trazables internacionalmente, o bien registrar la base utilizada para la verificación o calibración.

Según el Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM-3º. Marzo 2009) la calibración es:

“Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

NOTA 1 — Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración.

En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2 — Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medida, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una verificación de la calibración.

NOTA 3 — Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.”

- Ajustarse o reajustarse cuando sea necesario.
- Identificarse para hacer posible la determinación de su estado de calibración.
- Protegerse contra cualquier tipo de daño.

Básicamente nos exige mantener en perfectas condiciones estos equipos (tal como indica la norma ISO 9001:2015 “la organización debe asegurar la validez y fiabilidad de los resultados”) y determinar su conformidad para poder usarlos no de una forma simplemente visual, como se puede creer. Por ejemplo, no conocemos el nivel de error de una báscula hasta

que no realizamos una comparación de sus resultados con un patrón, para esto debemos recurrir a la metrología.

Calidad de los datos de medición

La Calidad de los datos de una medición está relacionada con las propiedades estadísticas de las múltiples mediciones obtenidas de un sistema de medición operando bajo condiciones estables. Para ello es necesario el valor de referencia de lo que se está midiendo.

El valor de referencia, es un valor que sirve como referencia acordada para su comparación. El valor de referencia es importante para entender lo “verdadero” de nuestras mediciones. Un valor de referencia para una parte puede determinarse bajo condiciones de laboratorio o usando un instrumento más exacto, para establecer una medición verdadera. Otros términos usados para el valor de referencia son:

- Valor de referencia aceptado
- Valor convencional
- Valor asignado
- Valor patrón
- Valor aceptado
- Valor verdadero convencional
- Mejor estimado del valor
- Patrón de medición

Si la medición está “cerca del valor de referencia” para una característica, entonces se dice que la calidad de los datos es “alta”.

Si las mediciones están “lejos del valor de referencia” para una característica, la calidad de los datos es “baja”.

¿Cómo impacta la variación a la calidad de los datos de medición?

Propiedades que definen un “buen” sistema de medición

- Una discriminación y una sensibilidad adecuadas.
- El sistema de medición tiene que estar en control estadístico (ESTABILIDAD)
- Para el control del producto, la variabilidad del sistema de medición deber ser pequeña comparada con los límites de especificación.
- Para el control de proceso, la variabilidad del sistema de medición tiene que demostrar una resolución efectiva y ser pequeña comparada con la variación del proceso de manufactura.

CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES

Medición directa

La medición directa es la que se realiza con la ayuda de aparatos de medida graduados como los son: la regla, el metro, el calibrador Vernier, entre otros.

Medición indirecta

Cuando se dificulta medir directamente una magnitud, ya sea porque no se cuenta con el instrumento adecuado o la magnitud es de difícil acceso, es posible efectuar una estimación de dicha magnitud a través de un cálculo matemático o bien un instrumento de medición intermedio.

Error e Incertidumbre en las mediciones

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

Es importante distinguir entre error e incertidumbre.

Errores en las mediciones

El error es definido como la diferencia entre un resultado de la medición y el valor verdadero del mesurando. Es decir que el error es un simple valor. El error es un concepto idealizado y los errores no pueden ser conocidos exactamente.

Se considera que un error tiene dos componentes, una componente sistemática y una componente aleatoria.

Un ejemplo típico es el error de calibración, es decir, cuando el equipo de medida no mide cero apropiadamente.

Considere una báscula que no está calibrada, entonces siempre medirá demás o de menos según sea el valor de tal descalibración.



Báscula bien calibrada



Báscula *descalibrada*

Error sistemático

Basándonos en (Sifredo J. Sáez Ruiz; Luis Font Avila, 2001) el error sistemático es definido como la componente de error la cual en el curso de un número de mediciones del mismo mensurando permanece en forma regular y tienen un valor constante. Es aquel que obedece a la presencia de una causa permanente y adquieren siempre igual valor cuando se opera en igualdad de circunstancias, pueden atenuarse o eliminarse. Por ejemplo, puede deberse a al manejo inadecuado o la descalibración del instrumento de medida, pureza inadecuada de reactivos o métodos de medición incorrectos. Este tipo de error no puede reducirse por técnicas estadísticas,

pero el error sistemático puede identificarse y minimizarse modificando el procedimiento de medición.

Error aleatorio

También llamados accidentales o fortuitos. Son aquellos que se originan por causas accidentales y se presentan indistintamente con diversas magnitudes y sentidos. Se debe a la naturaleza misma de las mediciones de variables continuas y a la naturaleza del instrumento (ruido térmico, golpeteo y/o

Un ejemplo típico es el que se comete al tomar la lectura con un cronómetro, es decir, el tiempo de respuesta al iniciar o detener el aparato: algunas veces se comenzará antes y otras veces después; de tal manera que algunas veces se medirá de más y otras veces de menos.



fluctuaciones). El error aleatorio es un error indeterminado y puede minimizarse con técnicas estadísticas.

Clasificación de errores en cuanto a su origen

Los errores en cuanto a su origen, según (Sifredo J. Sáez Ruiz; Luis Font Avila, 2001), se clasifican en: errores por instrumento o equipo de medición, errores por el observador, errores de método de medición y errores matemáticos.

Errores por instrumento o equipo de medición

Las causas de errores atribuibles al instrumento, pueden deberse a defectos de fabricación. Éstos pueden ser

deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etc. El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y pueden determinarse mediante calibración.

Existen también errores que surgen a consecuencia de la influencia del instrumento de mediciones sobre las propiedades del objeto o fenómeno que se mide. Por ejemplo, al medir procesos que ocurren con rapidez con equipos que funcionan insuficientemente rápido.

Errores de método de medición

Se denominan también errores teóricos y son los debidos a la imperfección del método de medición, generalmente atribuidos a la falta de un método definido y documentado.

Este tipo de errores son la consecuencia de ciertas aproximaciones al aplicar el principio de medición y considerar que se cumple una ley física determinada o al utilizar determinadas relaciones empíricas.

Errores debidos al observador

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

- falta de agudeza visual, descuido, cansancio, alteraciones emocionales, etc.;
- Errores debido a un manejo equivocado del instrumento;
- Omisión de operaciones previas o durante la medición, como pueden ser un ajuste a cero.

Errores matemáticos

La mayoría de las veces, con los datos que se obtienen en las mediciones es necesario realizar determinados cálculos para obtener el resultado final; por lo tanto, otra fuente de error son los errores matemáticos que se pueden cometer

involuntariamente al emplear fórmulas inadecuadas, redondear las cantidades, etc.

Tanto los errores sistemáticos como los errores aleatorios son una contribución para la incertidumbre de la medición, tal como se demuestra en la siguiente imagen.

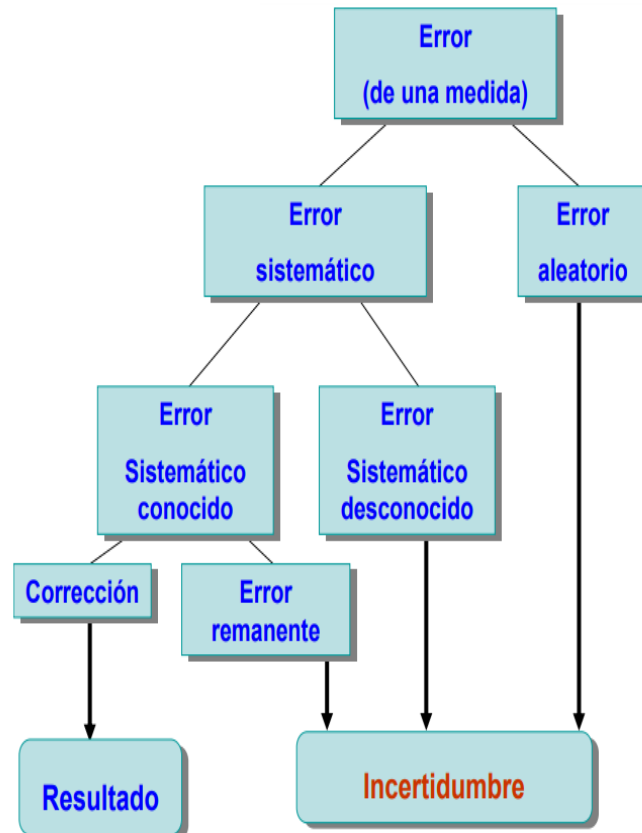


Imagen 4. **Relación entre errores e incertidumbre**

Fuente: Pan American Health Organization - Anexo 3 informe 36, 2002

INCERTIDUMBRE

Siempre que hablemos de medición intrínsecamente estamos hablando de incertidumbre, pues la incertidumbre está asociada al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mesurando.

El valor, número (medida) exacto de una magnitud física siempre es desconocido. Al medir solo podemos aspirar a conocer el valor de la misma con cierta aproximación o incertidumbre, que obtenemos al comparar la magnitud a

medir con un patrón, cuyo valor consideramos convencionalmente verdadero.

La definición del término incertidumbre (de la medición) utilizada en este curso y tomada de la norma CEOVENIN 2552:1999 (OIML V2:1993) es:

“Parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser razonablemente atribuidos al mesurando.”

El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o múltiplo de ésta) o la mitad de un intervalo de un nivel de confianza determinado.

El valor de la incertidumbre en los resultados de la medición depende de los elementos que se usan en la misma: equipos, infraestructura, conocimientos y competencia del personal.

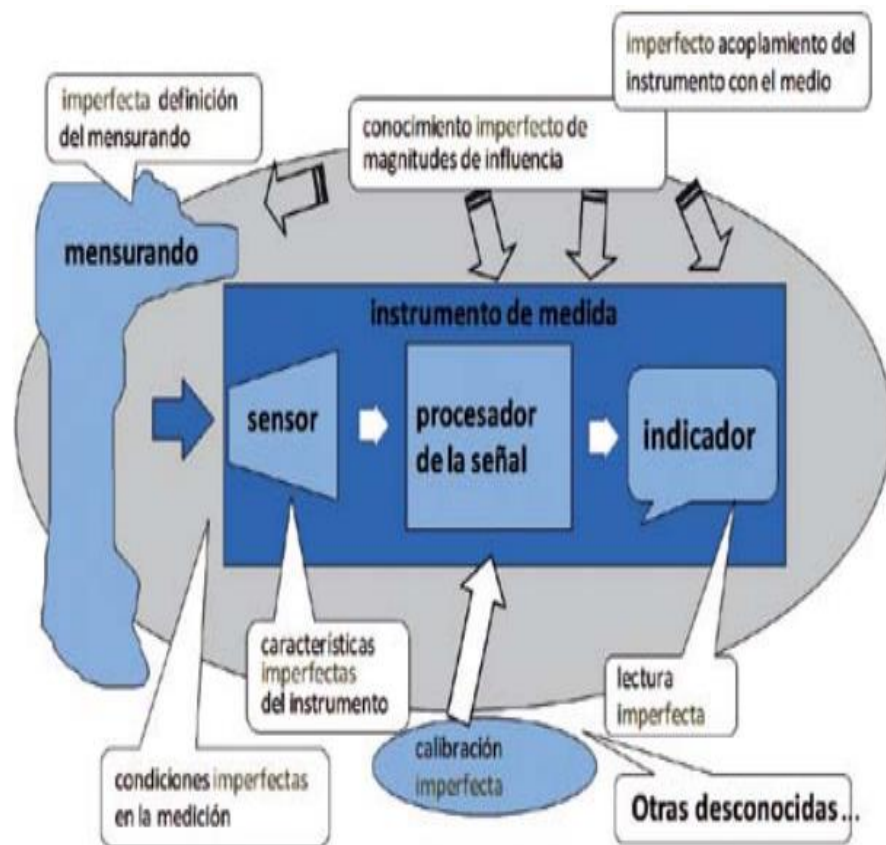


Imagen 5. **Causas de la incertidumbre de medida**

Fuente: Metrología como soporte a los Sistemas de Gestión en la Industria

Interpretando el gráfico anterior podemos decir entonces que el valor “verdadero” de una medición es:

$$\begin{aligned} \text{Medición verdadera} \\ &= \text{Medición observada (resultado)} \\ &\pm U (\text{incertidumbre}) \end{aligned}$$

Tipos de incertidumbre

- Tipo A

Aquellos que se evalúan por medios estadísticos.

- Tipo B

Aquellos que se evalúan por otros métodos

- Datos de mediciones previas
- Experiencia, conocimiento de materiales de referencia o instrumentos
- Especificaciones del fabricante
- Datos obtenidos de reportes de calibración.

Una forma para la evaluación de la incertidumbre tipo A es la conocida desviación estándar.

Efectos de los errores del sistema de medición

Los errores en la medición pueden llevar a tomar decisiones equivocadas sobre lo que se está midiendo. Si por ejemplo pensamos en la longitud que debe tener el tallo de una rosa de exportación, podemos por medio del siguiente gráfico ver los efectos de los errores:

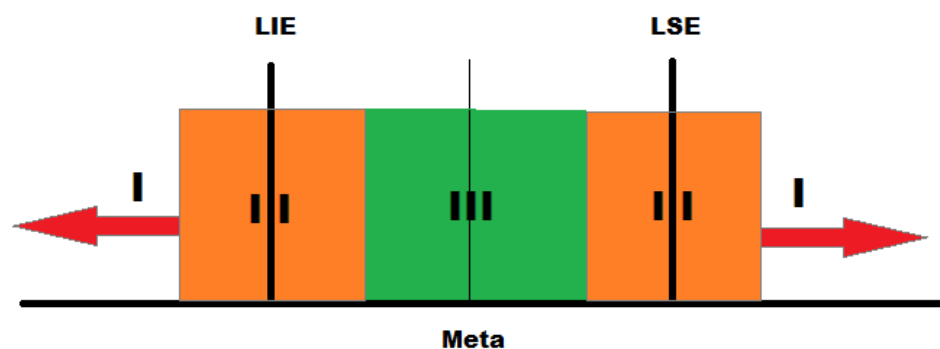


Imagen 6. Límites de especificación

Donde:

- Área I: Donde la longitud del tallo de la rosa siempre se identificará como “malas” o se rechazarán porque tienen una mayor (derecha) o una menor (izquierda) longitud de la que el cliente especifica.
- Área II: Donde potencialmente podrían tomarse decisiones equivocadas pues la longitud del tallo de la rosa esta justamente en los límites de especificación.
- Área III: Donde la longitud del tallo de la rosa siempre se identificará como “buenas”.

Se ha preguntado:

¿Por qué las partes que hemos medido y aceptado como “buenas” no trabajan en la operación del cliente?

¿Por qué las partes que hemos medido y aceptado como “malas” trabajan en la operación del cliente?

¿Qué puedo hacer para garantizar decisiones correctas?

Entre muchas acciones que podemos realizar para ello, podemos:

- Reducir la variación del sistema de medición.
- Cambio del equipo de medición
- Estandarizar un método.

En este libro nos centraremos en estudiar la estabilidad y el sesgo que son características de un sistema de medición para garantizar que el instrumento de medida es en perfectas condiciones, Para garantizar la metodología existen estudios de repetitividad o reproducibilidad que no son parte del estudio de este libro.

ESTABILIDAD

“Estabilidad (o cambio) es la variación total en las mediciones obtenida con un sistema de medición sobre la misma característica de la parte con el mismo instrumento con el mismo operador, pero en diferente tiempo. Esto es, la estabilidad es un cambio en sesgo en el tiempo.” (Grupo de Acciones de la Industria Automotriz (AIAG), 2010)

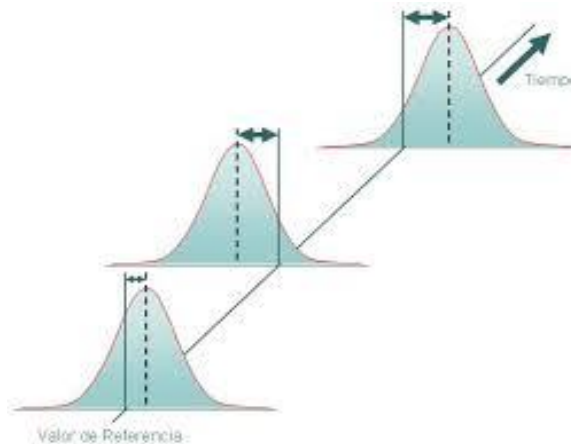


Imagen 7. **Definición de estabilidad**

Fuente: Imágenes de google.

Realización del estudio de Estabilidad

Para la realización de un estudio de estabilidad lo veremos con un ejemplo y siguiendo los siguientes pasos:

- I. Obtener una muestra y establecer su valor (o valores) de referencia en relación a un estándar rastreable.
- II. Sobre una base periódica (diariamente, semanalmente), mide la muestra patrón de 3 a 5 veces. Las lecturas necesitan tomarse en diferentes tiempos para representar cuando el sistema de medición está realmente siendo usado. Esto tomará en cuenta calentamientos, medio ambiente u otros factores que pudieran cambiar durante el día.
- III. Graficar los datos en una gráfica de control \bar{X} y R o \bar{X} y s en el orden en que se tomaron las lecturas.

Análisis de los resultados – Grafico:

Establezca los límites de control y evalúe si hay condiciones fuera de control o inestables usando el método de análisis para gráficos de control.

Los datos que se obtuvieron de un equipo de trabajo que midió una parte 5 veces en cada turno durante 4 días (4 subgrupos) fueron los siguientes (considere un valor de referencia de 18):

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Día 1	18,30	18,00	18,30	18,30	18,30
Día 2	18,30	18,10	18,00	18,15	18,30
Día 3	18,30	18,10	18,30	18,25	18,50
Día 4	18,30	18,10	18,35	18,35	18,30

Para Establecer los límites de control para la media se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \bar{\bar{X}} &= \text{Promedio de las lecturas;} & \bar{R} \\ &= \text{Promedio de los rangos} \end{aligned}$$

A_2 = Valor de la tabla (Anexo 3)

De los datos se obtiene que:

$$\bar{\bar{X}} = 18,25; \quad \bar{R} = 0,31; \quad A_2 = 0,577$$

Entonces:

$$LCS = 18,25 + (0,577 * 0,31) = 18,43$$

$$LCI = 18,25 - (0,577 * 0,31) = 18,07$$

Para Establecer los límites de control para el rango se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LCS = D_4 * \bar{R} \quad LCI = D_3 * \bar{R}$$

Se la tabla (Anexo 3) se obtiene:

$$D_4 = 2,114; \quad D_3 = 0$$

Entonces:

$$LCS = 2,114 * 0,31 = 0,66$$

$$LCI = 0 * 0,16 = 0$$

Gráficos:

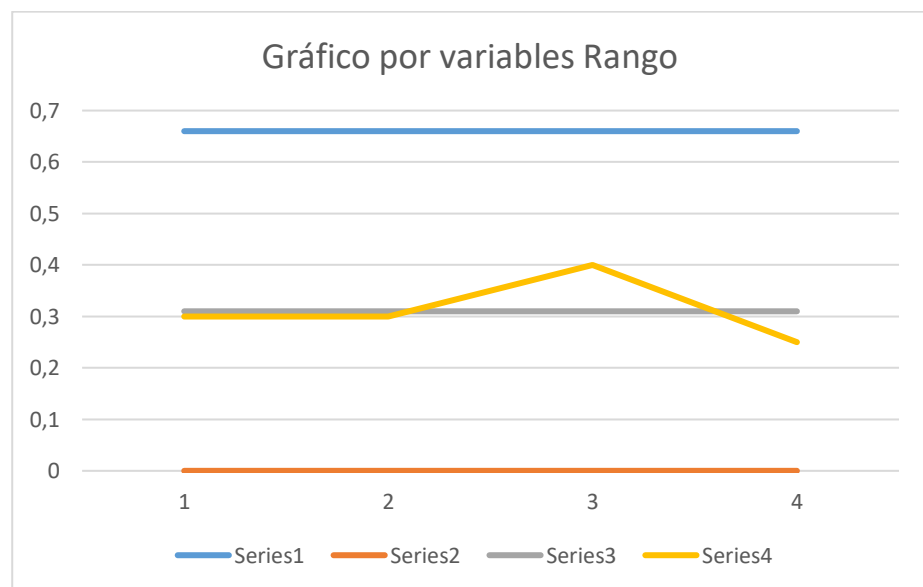
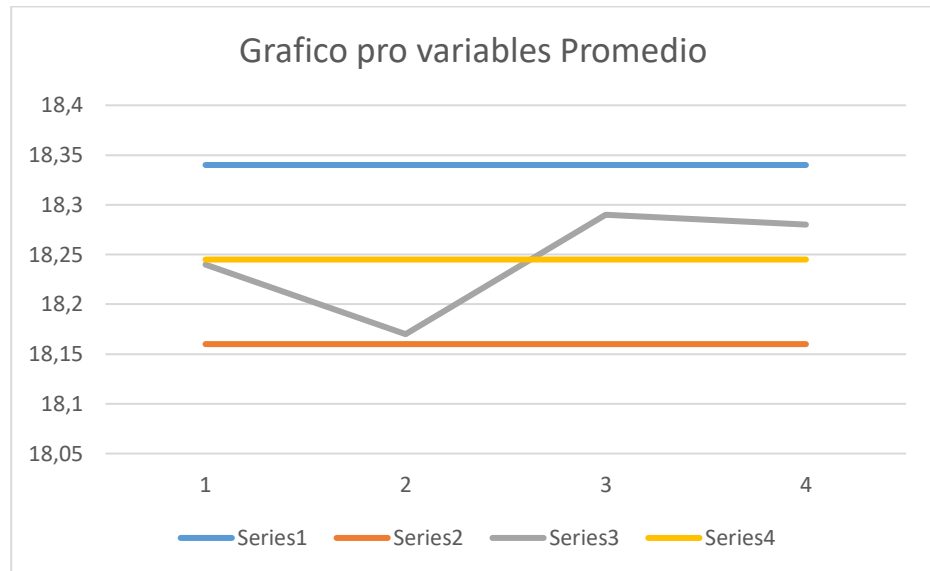


Imagen 8. Diagrama de control $\bar{X} - R$

El análisis de las gráficas de control indica que el proceso de medición es estable, puesto que no hay efectos obvios visibles de causas especiales.

Análisis de los resultados – Numérico:

No hay un método de análisis numérico específico o índice para la estabilidad.

Causas de inestabilidad

Posibles causas para inestabilidad incluyen:

- El instrumento necesita calibración, reducir el intervalo de calibración
- Instrumento, equipo o dispositivo desgastado
- Desgaste normal u obsolescencia
- Mantenimiento deficiente – aire, energía, filtros, corrosión, oxidación, limpieza
- Master desgastado o dañado, error en el master
- Calibración o uso del master para ajuste inapropiados
- Instrumento de calidad deficiente – diseño o conformancia
- Falta de robustez en el diseño del instrumento o método
- Método de medición diferente – ajuste, carga, sujeción, técnica
- Cambio ambiental- temperatura, humedad, vibración, limpieza
- Violación a un supuesto, error en la aplicación de una constante
- Aplicación – tamaño de la parte, posición, habilidad del operador, fatiga, error de observación (facilidad de lectura, paralelismo)

SESGO (BIAS)

El sesgo es la diferencia entre el valor verdadero (o valor de referencia) y el promedio observado (medido) de las mediciones de la *misma característica en la misma parte con el mismo instrumento en el mismo tiempo con el mismo operador.*



Imagen 9. **Definición de sesgo**

Fuente: Imágenes de google.

“Sesgo es la medida del error sistemático del sistema de medición. Es la contribución del error total integrado por los efectos combinados de todas las fuentes de variación, conocidas o no conocidas, cuya contribución al error total tiende a compensar en forma consistente y predecible todos los resultados de aplicaciones repetidas del mismo proceso de medición para el tiempo de las mediciones mismas” (Grupo de Acciones de la Industria Automotriz (AIAG), 2010)

Realización del estudio de Sesgo

Para la realización de un estudio de sesgo lo veremos con un ejemplo:

Un jefe de manufactura esta evaluando un sistema de medición nuevo para el seguimiento de un proceso, pero lo cual tiene que evaluar el sesgo del sistema de medición. se escogio una sola parte dentro del rango de operación del sistema de medición en base a la variación del proceso documentado.

Esta parte se midió por una inspección dimensional para determinar su valor de referencia. Esta parte fue medida después 15 veces por el operador lider y se obtienen los siguientes datos:

Valor de referencia: 6,0	
Medicion	Valor
1	5,8
2	5,7
3	5,9
4	5,9
5	6,0
6	6,1
7	6,0
8	6,1
9	6,4
10	6,3
11	6,0
12	6,1
13	6,2
14	5,6
15	6,0

Análisis de los resultados – Grafico:

Grafique los datos en un histograma en relación con el valor de referencia. Revise el histograma, usando sus conocimientos sobre esta técnica (recuerde que el histograma debe tener una forma de campana de gauss), para determinar si está presente alguna causa especial o anómala. Si no es así continúe con el análisis.

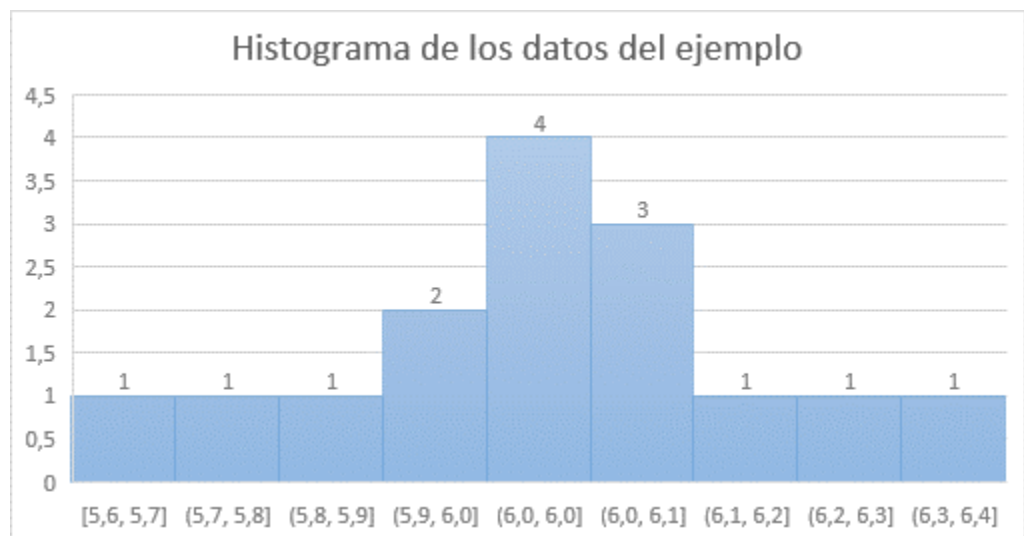


Imagen 10. Histograma del Ejemplo

1. Análisis de los resultados – Numérico:

a. Calcular el promedio de las n lecturas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{X} = 6,0067$$

b. Calcular la desviación estándar de repetitividad. (estudio del observador), Método basado en el rango de la muestra.

$$\sigma_r = \frac{\max(x_i) - \min(x_i)}{d*2}$$

El valor de $d*2$ está tomado de tablas (Anexo 1) con $g =$ #número de subgrupos y $m =$ # en un subgrupo. Para el ejemplo: $g = 1$ y $m = 15$.

$$\sigma_r = \frac{6,4 - 5,6}{3,55333}$$

$$\sigma_r = 0,22514$$

c. Determinar la t estadística para el sesgo.

*Sesgo = promedio de las mediciones observadas
– valor de referencia*

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}}$$

$$t = \frac{\text{Sesgo}}{\sigma_b}$$

$$\text{Sesgo} = 6,0067 - 6 = 0,0067$$

$$\sigma_b = \frac{0,22514}{\sqrt{15}} = 0,05813$$

$$t = \frac{0,0067}{0,05813} = 0,1153$$

d. El sesgo es aceptable en un nivel de confianza (α) si el cero cae dentro de los límites de confianza $1-\alpha$ alrededor del valor del sesgo:

$$\text{Sesgo} - \left[\sigma_b \left(t_{v,1-\alpha/2} \right) \right] \leq \text{cero} \leq \text{Sesgo} + \left[\sigma_b \left(t_{v,1-\alpha/2} \right) \right]$$

Donde: $t_{v,1-\alpha/2}$ se encuentra usando las tablas del estandar t (Anexo 2) y se calcula de la siguiente manera:

Se hace una interpolación con el valor v que está tomado de tablas (Anexo 1)

$$y = \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} * (y_2 - y_1) \right] + y_1$$

Donde:

$x =$ valor v de la tabla

$x_1 =$ el número entero inmediato inferior al valor de x

$x_2 =$ el número entero inmediato superior al valor de x

$y_1 =$ el valor t correspondiente a x_1

$y_2 =$ el valor t correspondiente a x_2

Entonces:

$v = x = 10,8$ (tomado de la tabla del Anexo 2)

$x_1 = 10$; $x_2 = 11$

$y_1 = 2,228$; $y_2 = 2,201$ (tomado de la tabla del Anexo 2)

$$y = \left[\frac{10,8 - 10}{11 - 10} * (2,201 - 2,228) \right] + 2,228 = 2,206 = \left(t_{v,1-\alpha/2} \right)$$

Por lo tanto:

$$0,0067 - [0,05813(2,206)] \leq 0 \leq 0,0067 + [0,05813(2,206)]$$

$$-0,1215 \leq 0 \leq 0,1349$$

Puesto que el cero cae dentro del intervalo de confianza del sesgo, el jefe de manufactura puede suponer que la medición del sesgo es aceptable suponiendo que el uso real del instrumento no va a introducir fuentes adicionales de variación.

		n	Promedio	Desviación Estándar, σ_r	Error Estándar de la media, σ_b	
	Valor medido	15	6,0067	0,22514	0,05813	
Valor de referencia = 6,00; $\alpha=0,05$						
	Estadístico t	v	Valor t significativo (2-colas)	Sesgo	Intervalo de confianza del 95% del Sesgo	
					Inferior	Superior
	Valor medido	0,1153	10,8	2,206	0,0067	-0,1215 0,1349

Imagen 11. **Resumen de resultados**

Causas de un Sesgo Excesivo:

Según el manual de Análisis de Sistema de Medición (MSA) Cuarta Edición Publicada por el Grupo de Acciones de la Industria Automotriz AIAG, las causas más probables son:

- El instrumento necesita calibración
- Instrumento, equipo o dispositivo desgastado
- Master dañado o desgastado, error en el master
- Calibración o uso de un master de ajuste inapropiados
- Instrumento de baja calidad – diseño o conformancia
- Diferente método de medición – ajuste, carga, sujeción, técnica
- Medición de característica equivocada
- Distorsión (del gage o la parte)
- Medio ambiente – temperatura, humedad, vibración, limpieza
- Violación a algún supuesto, error en la aplicación de una constante

- Aplicación – tamaño de la parte, posición, habilidad del operador, fatiga, error de observación (facilidad de lectura, paralelismo)

La diferencia entre exactitud (SESGO) y precisión

- **Exactitud sin precisión:** el error aleatorio en la medición es grande (campana de gauss muy abierta), e indica una precisión baja; pero el valor de la medida de medición (el promedio) coincide con el valor verdadero, o sea una exactitud alta.

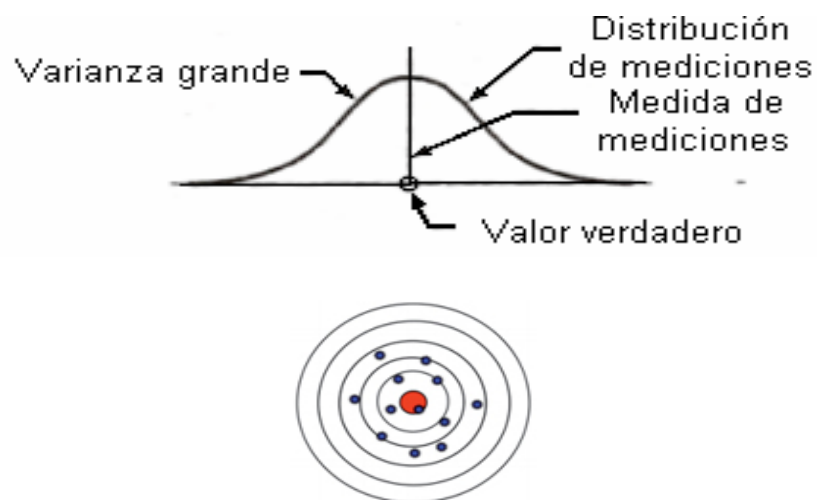


Imagen 12. **Exactitud alta, pero baja precisión**

Fuente: Imágenes de Google

- **Precisión sin exactitud:** el error de medición es pequeño (buena precisión), pero el valor medido difiere sustancialmente del valor verdadero (baja exactitud).

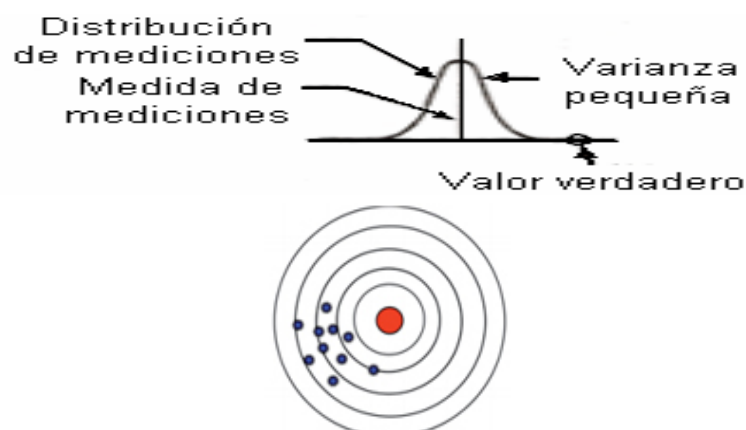


Imagen 13. **Exactitud baja, pero alta precisión**

Fuente: Imágenes de Google

- **Precisión y exactitud:** son buenos tanto la exactitud como la precisión.



Imagen 14. **Exactitud y precisión alta**

Fuente: Imágenes de Google

- **Ni Precisión y ni exactitud:** no son buenos ni en la exactitud ni en la precisión.

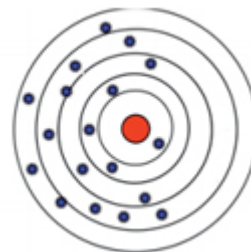


Imagen 15. **Exactitud baja, pero alta precisión**

Fuente: Imágenes de Google

Todos los procesos de medición tienen variaciones aleatorias por lo que un conjunto de mediciones se puede representar como una función de probabilidad. Una manera de disminuir las implicaciones de estas variaciones sobre un resultado esperado es expresando las mediciones con un rango de tolerancias aceptable; también existe otra manera de reducir las variaciones aleatorias especificando el nivel de incertidumbre asociado a las mediciones.

Ejercicio de Sesgo para realizar en clase.

Determinar si el sesgo es o no aceptable para los siguientes datos.

Referencia = 10,1

10 mediciones

Datos:

10,2 10,3

10,1 10,3

10,3 10,4

10,5 10,2

10,4 10,3

		n	Promedio	Desviación Estándar, σ_r	Error Estándar de la media, σ_b	
	Valor medido					
		Valor de referencia = 6,00; $\alpha=0,05$				
	Estadístico t	v	Valor t significativo (2-colas)	Sesgo	Intervalo de confianza del 95% del Sesgo	
					Inferior	Superior
	Valor medido					

TRAZABILIDAD

Las necesidades de medición por parte de la industria se definen por aspectos de la calidad de los productos, procesos de manufactura y requerimientos de los clientes, los cuales están generalmente definidos en normas escritas. Las normas internacionales de calidad (ISO 9001, ISO 17025, etc.) requieren la trazabilidad de las mediciones.

“El concepto de trazabilidad significa una cadena ininterrumpida de mediciones de comparación con instrumentos de exactitud cada vez mayor (menor incertidumbre de medición) empezando con el instrumento empleado en la industria y subiendo hasta el patrón nacional. Esta medición repetida con regularidad para comparar un

instrumento de medición contra un patrón con mayor exactitud se llama "calibración" (Sanetra, 2007)



Imagen 16. **Ejemplo de trazabilidad**
Fuente: Sanetra 2007

La trazabilidad es entonces, en pocas palabras, la propiedad del resultado de las mediciones efectuadas por un instrumento o por un PATRÓN.

CAPÍTULO III. METROLOGÍA DIMENSIONAL

INTRODUCCIÓN

La metrología dimensional incluye la medición de todas aquellas propiedades que se determinen mediante la unidad de longitud, como por ejemplo distancia, posición, diámetro, redondez, planitud, rugosidad, etc. La longitud es una de las siete magnitudes base del Sistema Internacional de Unidades.

Existe una gran diversidad de aplicaciones de la magnitud dimensional, la clasificación puede realizarse desde diferentes criterios, uno podría ser la de aplicación que son las longitudes, ángulos, acabado superficial, formas:

- Longitudes: Exteriores, Interiores, Profundidades, Alturas.
- Ángulos: Exteriores, Interiores.
- Acabado superficial: Rugosidad.
- Formas: Forma por elementos aislados, Rectitud, Planitud.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Un instrumento de medición es un equipo, aparato o máquina que realiza la lectura de una propiedad (o característica) de una variable aleatoria, la procesa, la traduce y la hace entendible al analista encargado de la medición.

A continuación, se presenta una manera de clasificar los instrumentos de medición dimensional, basada en el método de leer la respuesta:

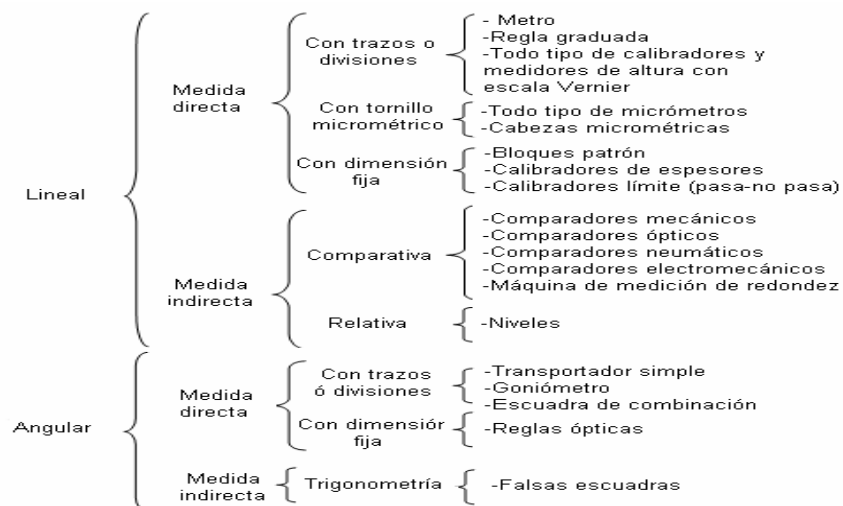


Imagen 17. Clasificación de los instrumentos de medición

Fuente: Galicia, H. y García N. 2003

Reglas para efectuar mediciones

Cada vez que haga una medición, es importante tener en cuenta las siguientes reglas para obtener resultados óptimos:

- Al hacer mediciones, se debe emplear el instrumento que corresponde a la precisión exigida.
- Mirar siempre verticalmente sobre el lugar de lectura (error de paralaje).
- Limpiar las superficies del material y el instrumento de medición antes de las mediciones.
- Desbarbar la pieza de trabajo antes de la medición.
- En mediciones de precisión, prestar atención a la temperatura de referencia tanto en el objeto como en el aparato de medición.
- En algunos instrumentos de medición, prestar atención para que la presión de medición sea exacta. No se debe emplear jamás la fuerza.
- No hacer mediciones en piezas de trabajo en movimiento o en máquinas en marcha.
- Verificar en intervalos periódicos los instrumentos de medición en cuanto a su precisión de medición.
- Verificar los instrumentos de medición regulables repetidas veces respecto a su posición de cero.

Instrumentos de metrología dimensional

Al comenzar el estudio de las prácticas en el trabajo con máquinas herramienta, una de las primeras preocupaciones será asimilar el uso, cuidado y aplicaciones de los instrumentos comunes de medición que encontrará en el Laboratorio de Manufactura.

Muchos instrumentos de medición han experimentado una modernización, aun cuando la función de estas herramientas

es básicamente la misma, muchas se han rediseñado y dotado de dispositivos de exhibición digitales, mecánicos o electrónicos. Estas características hacen que el instrumento sea más fácil de leer y mejoran su exactitud.

Durante la práctica se conocerán las técnicas de medición de dos equipos como son el Calibrador Vernier y el micrómetro. Sin que esto signifique que únicamente existen estos dos, pues en los laboratorios de la industria existen variados equipos de medición.

CALIBRADOR VERNIER

El calibrador Vernier es uno de los instrumentos mecánicos para la medición lineal de exteriores, medición de interiores y de profundidades más utilizado. Los calibradores permiten realizar lecturas con aproximación en escala métrica hasta 0.05 mm o 0.02 mm y en escala inglesa de 1/128 pulgadas o 0.001 pulgadas.

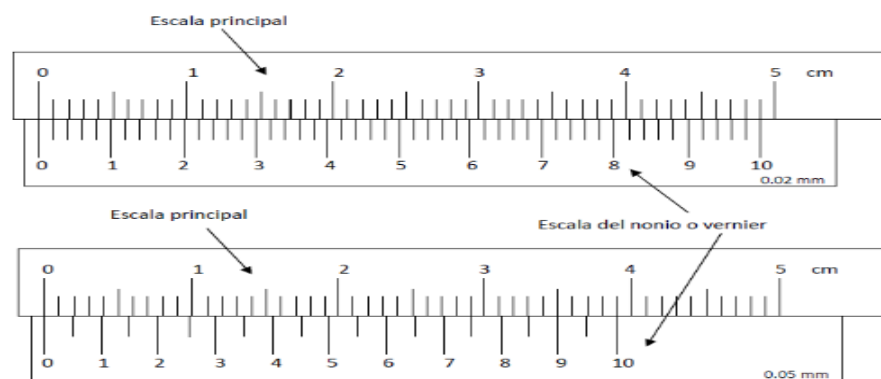


Imagen 18. **Calibradores vernier con diferentes escala mínima**

Fuente: Galicia, H. y García N. 2003

Partes de un calibrador Vernier

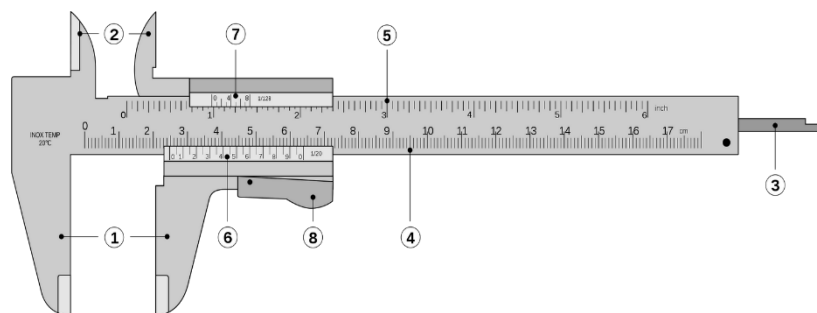


Imagen 19. **Calibrador Vernier y sus partes**

Fuente: Imágenes de Google

Las diferentes partes de un calibrador vernier:

- 1) Patillas para medir diámetros externos o espesores,
- 2) Patillas para medir diámetros internos,
- 3) Varilla para mediciones de profundidad,
- 4) Escala principal en milímetros,
- 5) Escala principal en pulgadas,
- 6) Escala del nonio en milímetros,
- 7) Escala del nonio en pulgadas,
- 8) Seguro para deslizar o fijar el nonio.

PROCESO DE MEDICIÓN

Para realizar mediciones con el vernier es necesario observar cuál línea de la escala del nonio coincide con alguna de la escala principal. Para determinar la medida haremos lo siguiente:

1. Contar la cantidad de líneas de la escala principal que están hasta antes del cero de la escala del vernier.
2. Observamos que número de línea del vernier coincide con alguna línea de la escala principal y multiplicamos ese número por la escala mínima.
3. Sumamos la cantidad leída en los dos pasos anteriores

Ejemplo de lectura:

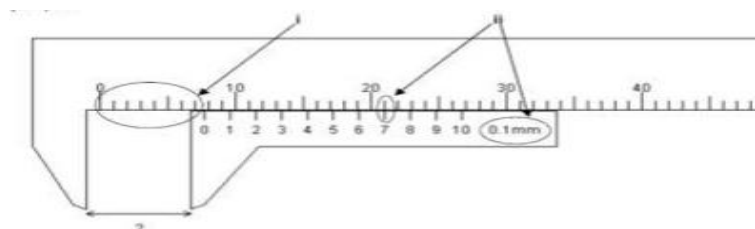


Imagen 20. **Ejemplo de lectura con el calibrador vernier**

Fuente: Imágenes de Google

Ejemplo:

1. Contamos la cantidad de líneas antes del cero del vernier:
7mm

2. Observamos que coincide el número 7 de la escala del vernier con la línea 21 de la escala principal; la escala mínima de este vernier es 0.1 mm, entonces:

$$(7 \cdot 0.1 \text{ mm}) = 0.7 \text{ mm}$$

3. Sumamos la cantidad leída en los pasos anteriores: $7 + 0.7 = 7.7 \text{ mm}$

Recomendaciones de uso

Un calibrador Vernier es una herramienta de precisión delicada y debe tratarse como tal y es muy importante que se aplique la presión correcta al tomar una medida.

Las mordazas de medición deben hacer contacto firme con la pieza de trabajo, sin embargo, si se aplica presión excesiva, se hará que se abran las mordazas y que se obtengan lecturas inexactas. Al medir un objeto utilice la mordaza fija como punto de referencia, luego mueva la mordaza deslizante hasta que logre el contacto.

Asegúrese que la regla del calibrador esté en línea con las superficies que se estén midiendo, si es posible haga la lectura estando todavía en contacto con la pieza de trabajo, al retirar el instrumento podría cambiar la lectura.

Para la medición de profundidades, situar la varilla de profundidad al fondo de la pieza. Toda medida debe tomarse por lo menos dos veces para asegurar su confiabilidad.

Ahora pondrás en práctica lo que has aprendido. La actividad consiste en realizar mediciones de diferentes cuerpos geométricos.

Calibrador digital

Utiliza un sistema electrónico que funciona en relación directa con una escala registrada por un elemento sensor. La lectura es presentada en una pantalla alfanumérica y puede ser configurado para presentar sus lecturas en submúltiplos de las escalas más utilizadas.

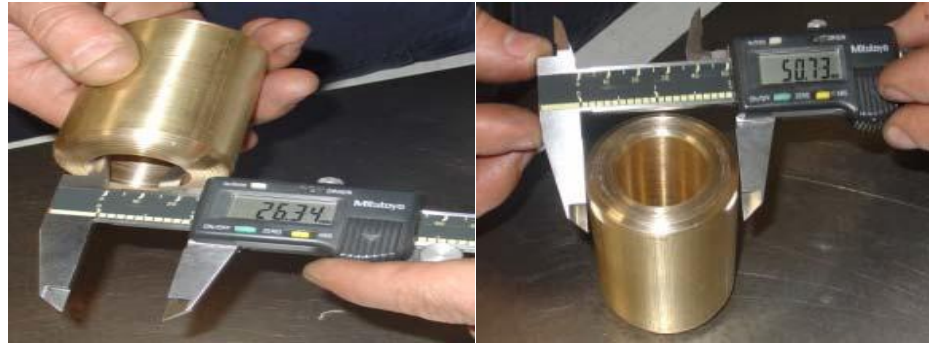


Imagen 21. **Calibrador Vernier digital en función de medición de interiores y exteriores**

Fuente: Imágenes de Google

Calibrador de carátula

El calibrador de carátula está equipado con un indicador de carátula en lugar de un nonio para permitir la lectura fácil de la escala.

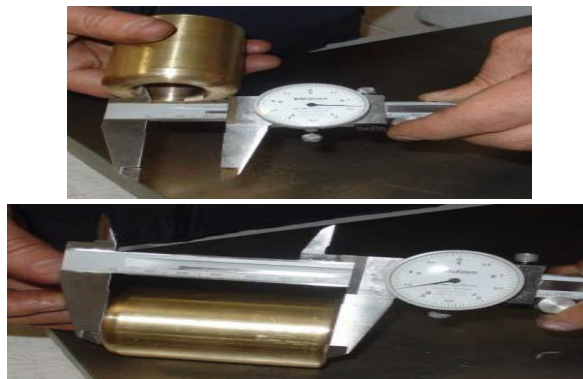


Imagen 22. **Calibrador Vernier de carátula en función de medición de interiores y exteriores**

Fuente: Imágenes de Google

MICRÓMETRO

El micrómetro también llamado Tornillo de Palmer, es un instrumento de medición cuyo funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros (0,01 mm) y de milésimas de milímetros (0,001 mm = 1 μ m) y su fabricación se basa en la norma DIN 863.

Como se mencionó anteriormente el micrómetro es una herramienta para tomar mediciones más precisas, que las que se toman con el calibrador Vernier. El micrómetro posee un tornillo de alta precisión el cual permite el pequeño movimiento del husillo, posteriormente es el que determinará la medida de la pieza que se esté calculando.

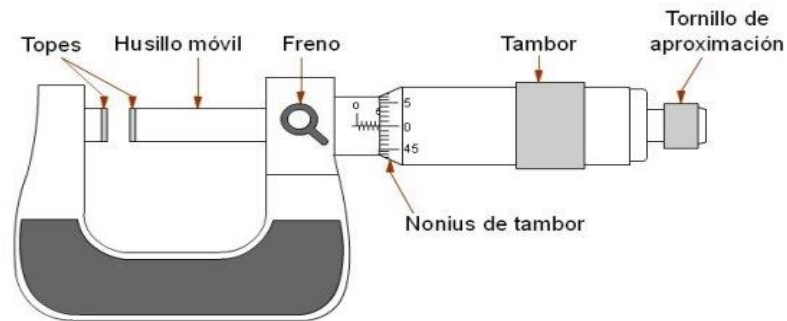


Imagen 23. El micrómetro y sus partes

Fuente: Imágenes de Google

Tipos de micrómetros – según la medición que efectúen

Los tipos de micrómetros más comunes son:

1. Micrómetro de exteriores
2. Micrómetro de interiores
3. Micrómetro de profundidades

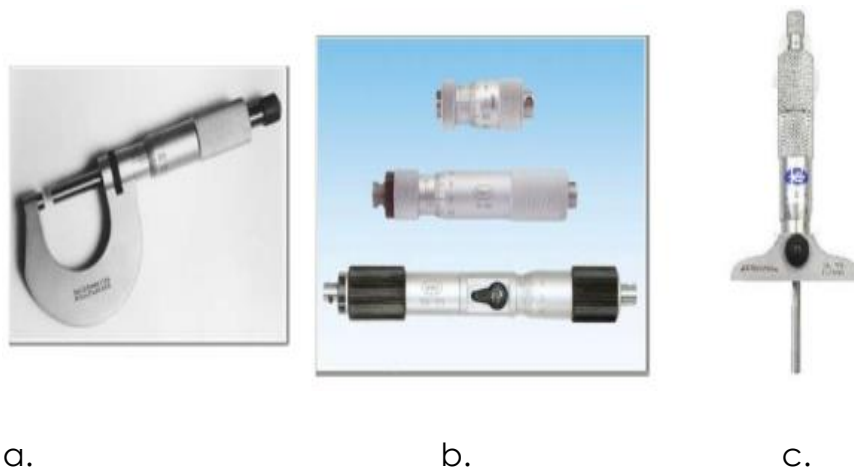


Imagen 24. a) Micrometro para exteriores b) Mocrómetro para interiores c) Micrómetro para profundidades

Fuente: Imágenes de Google

Proceso de medición

Este instrumento es muy sensible al calor y se debe almacenar a temperatura ambiente, al igual que el objeto que se vaya a medir.

La pieza que queremos medir la colocamos contra la punta de apoyo del yunque con la mano izquierda mientras acercamos la punta de contacto del husillo girando la perilla del trinquete con los dedos pulgares y el índice. Si por ejemplo queremos medir un anillo, deberá estar sujeto entre el yunque y el husillo.

Cuando la pieza a medir este perfectamente cogida entre las dos partes (entre el yunque y el extremo del usillo), sigue girando la perilla del trinquete hasta que escuches 3 clics. Ahora fijamos la medida usando para eso la tuerca del freno (giramos el freno) mientras el husillo y el yunque estén sujetando la pieza que queremos medir.

Retiramos la pieza del micrómetro ya bloqueado con el freno y leemos la medida de la pieza en el micrómetro.

Proceso de lectura

Ahora que ya tenemos la medición hecha vamos a ver cuánto mide realmente la pieza. Lo mejor es con un ejemplo.



Imagen 25. Lecturo del micrómetro

Fuente: Imágenes de Google

La escala graduada nos da la medida en milímetros y la escala en nonios las centésimas de milímetros. Veamos que marca el ejemplo.

En la escala graduada o escala longitudinal se ve en su parte superior la división de 5 mm y en la inferior la de otro medio milímetro más (una rayita más allá de los 5). Eso quiere decir que de momento la medida es de 5,5 mm y un poco más. Veamos cuanto es ese poco más midiendo las centésimas de milímetro con el nonio.

En la escala de nonios, la división 28 coincide con la línea central longitudinal. (28 centésimas de milímetros)

¿Cuánto medirá?... Pues 5 milímetros + 0,5 milímetro y ahora las centésimas de milímetros nos las dice la medida del nonio, es decir 28 centésimas de milímetros. Pero para sumarlo (el 28) con las otras dos medidas, que vienen en milímetros, lo pasamos de centésimas de milímetros a milímetros, lo que 28 centésimas de milímetros son 0,28 mm (Para pasar centésimas de mm a mm lo dividimos entre 100). Si ahora sumamos todo correctamente en la misma unidad saldrá: $5 + 0,5 + 0,28 = 5,78$ mm .

Aquí otras 3 medidas con su solución para comprobar:

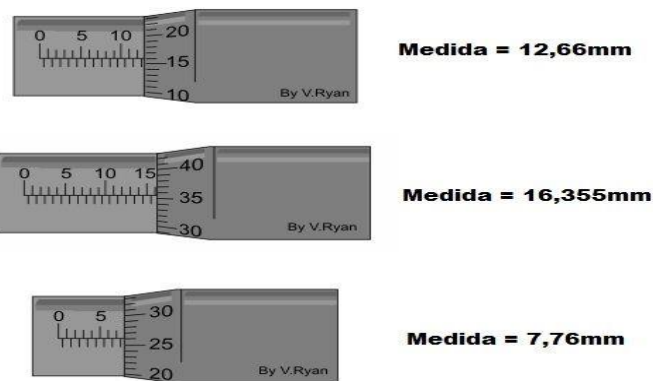


Imagen 26. Ejemplos de lecturo del micrómetro

Fuente: Imágenes de Google

Precauciones al medir

- Verificar la limpieza del micrómetro.

El mantenimiento adecuado del micrómetro es esencial, antes de guardarlo, no deje de limpiar las superficies del usillo, yunque, y otras partes, removiendo el sudor, polvo manchas de aceite, después aplique aceite anticorrosivo.

- Utilice el micrómetro adecuadamente

Para el manejo adecuado del micrómetro, sostenga la mitad del cuerpo en la mano izquierda, y el manguito o trinquete en la mano derecha, mantenga la mano fuera del borde del yunque.



Imagen 27. **Sujeción del micrómetro**

Fuente: Imágenes de Google

Glosario del módulo

Para poderse entender, los metrologos utilizan un léxico acordado internacionalmente por medio del Vocabulario Internacional de Metrología, VIM (54); algunas de las definiciones más usuales se dan a continuación.

- **Magnitud (medible):** Atributo de un fenómeno, de un cuerpo o de una sustancia, que es susceptible de distinguirse cualitativamente y de determinarse cuantitativamente.
- **Magnitud de base:** Una de las magnitudes que, en un sistema de magnitudes, se admiten por convención como funcionalmente independientes unas de otras.
- **Magnitud derivada:** Una magnitud definida, dentro de un sistema de magnitudes, en función de las magnitudes de base de dicho sistema.
- **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 de dicho sistema.
- **Magnitud de dimensión uno (adimensional):** Magnitud cuya expresión dimensional, en función de las dimensiones de

las magnitudes de base, presenta exponentes que se reducen todos a cero.

- **Unidad (de medida):** Una magnitud particular, definida y adoptada por convención, con la cual se comparan las otras magnitudes de igual naturaleza para expresarlas cuantitativamente en relación a dicha magnitud.
- **Unidad (de medida) de base:** Unidad de medida de una magnitud de base en un sistema dado de magnitudes.
- **Valor (de una magnitud):** Expresión cuantitativa de una magnitud en particular, generalmente bajo la forma de una unidad de medida multiplicada por un número.
- **Medición:** Conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar el valor de una magnitud.
- **Mensurando:** Magnitud dada, sometida a medición.
- **Exactitud de medición:** Grado de concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero (o real) de lo medido (el mensurando).
- **Repetibilidad (de los resultados de mediciones):** Grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de un mismo mensurando, llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición.
- **Reproducibilidad:** Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones de un mismo mensurando, llevadas a cabo haciendo variar las condiciones de medición.
- **Incertidumbre:** Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que, con fundamento, pueden ser atribuidos al mensurando.
- **Medida materializada:** Dispositivo destinado a reproducir o a proveer de forma permanente durante su empleo, uno o varios valores conocidos de una magnitud dada.
- **Patrón:** Medida materializada, aparato 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. Los patrones pueden ser internacionales (reconocidos por acuerdo internacional) y nacionales (reconocidos por acuerdo nacional).

- **Patrón primario:** Patrón que se designa o se recomienda por presentar las más altas calidades metrológicas y cuyo valor se establece sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.
- **Patrón secundario:** Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.
- **Patrón de referencia:** Patrón, generalmente de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar u organización dados, del cual se derivan las mediciones que se hacen en dicho lugar u organización.
- **Patrón de trabajo:** Patrón utilizado corrientemente para controlar medidas materializadas, aparatos de medición o materiales de referencia.
- **Patrón de transferencia:** Patrón empleado como intermediario para comparar patrones entre sí.
- **Trazabilidad:** Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.
- **Instrumento de medición:** Un instrumento de medición es un equipo, aparato o máquina que realiza la lectura de una propiedad (o característica) de una variable aleatoria, la procesa, la traduce y la hace entendible al analista encargado de la medición.
- **Calibración:** Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un "instrumento de medición", o los representados por una medida materializada, y los valores conocidos correspondientes de una magnitud medida. En

otras palabras: Es el conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar los errores de un instrumento de medición, y en caso necesario otras características metrológicas.

- **Calibración del instrumento:** Para garantizar la uniformidad y la precisión de las medidas, los instrumentos de medición se calibran conforme a los patrones nacionales de pesos y medidas aceptados internacionalmente para una determinada unidad de medida, como el ohmio, el amperio, el voltio o el vatio, centímetro, micras, grados, gramos, kilos, etc.
- **Precisión:** Se habla de precisión cuando existe la ausencia de errores sistemáticos. Es el grado de similitud entre dos o varias mediciones consecutivas del mismo objeto, con el mismo aparato y con el mismo procedimiento (incluida la persona).
- **Exactitud:** Concordancia de una medición con el valor verdadero conocido, para la cantidad que se está midiendo. Desviación entre el valor medido y el valor de un patrón de referencia tomado como verdadero.
- **Confiabilidad:** Condición en la cual los resultados obtenidos son iguales a los resultados deseados o previstos. Asociada a la confiabilidad existe la contraparte llamada incertidumbre de medición.
- **Incertidumbre de medición:** Estimación que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero de la magnitud.
- **Resolución:** Es la menor división o la lectura más pequeña que se puede hacer en un instrumento de medición.
- **Rango:** Indica cual es la medición mínima y máxima que se puede realizar con un determinado instrumento de medición.

Anexo 1

Valores asociados con la distribución del rango promedio

Número de los Subgrupos (g)	Tamaño de los subgrupos (m)																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1.41421	1.91155	2.23887	2.48124	2.67253	2.82981	2.96288	3.07794	3.17905	3.26909	3.35016	3.42378	3.49116	3.55333	3.61071	3.66422	3.71424	3.76118	3.80537	
2	1.27931	1.80538	2.15069	2.40484	2.60438	2.76779	2.90562	3.02446	3.12869	3.22134	3.30463	3.38017	3.44922	3.51287	3.57156	3.62629	3.67734	3.72524	3.77032	
3	1.23105	1.76858	2.12049	2.37883	2.58127	2.74681	2.89628	3.00643	3.11173	3.20526	3.28931	3.36550	3.43512	3.49927	3.55842	3.61351	3.66495	3.71319	3.75857	
4	1.20621	1.74889	2.10522	2.36571	2.56964	2.73626	2.87656	2.99737	3.10321	3.19720	3.28163	3.35815	3.42805	3.49246	3.55183	3.60712	3.65879	3.70715	3.75268	
5	1.19105	1.73857	2.09601	2.35781	2.56363	2.73081	2.87071	2.99192	3.09808	3.19235	3.27701	3.35372	3.42581	3.49336	3.55787	3.60938	3.65502	3.70352	3.74914	
6	1.18083	1.72899	2.08985	2.35253	2.55795	2.72567	2.86680	2.98829	3.09467	3.18911	3.27392	3.35077	3.42097	3.48563	3.54522	3.60072	3.65253	3.70109	3.74678	
7	1.17348	1.72555	2.08643	2.34875	2.55460	2.72263	2.86401	2.98568	3.09200	3.18506	3.27006	3.34708	3.41742	3.48221	3.54192	3.59751	3.64941	3.69806	3.74382	
8	1.16794	1.72147	2.08212	2.34591	2.55208	2.72036	2.86192	2.98373	3.09019	3.18306	3.26806	3.34508	3.41542	3.48021	3.53993	3.59559	3.64755	3.69625	3.74205	
9	1.16361	1.71828	2.07953	2.34370	2.55013	2.71858	2.86028	2.98221	3.08896	3.18370	3.26878	3.34585	3.41624	3.48107	3.54081	3.59644	3.64838	3.69705	3.74284	
10	1.16014	1.71579	2.07577	2.34048	2.54728	2.71600	2.85791	2.98000	3.08688	3.18174	3.26690	3.34406	3.41452	3.47941	3.53921	3.59489	3.64687	3.69558	3.74141	
11	1.15729	1.71363	2.07316	2.33824	2.54530	2.71422	2.85627	2.97847	3.08544	3.18037	3.26561	3.34292	3.41333	3.47826	3.53810	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041	
12	1.15490	1.71189	2.07146	2.33727	2.54462	2.71393	2.85596	2.97817	3.08514	3.18010	3.26534	3.34275	3.41316	3.47809	3.53793	3.59361	3.64562	3.69437	3.74021	
13	1.15289	1.71041	2.07047	2.33654	2.54426	2.71407	2.85614	2.97835	3.08532	3.18029	3.26553	3.34294	3.41335	3.47828	3.53812	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041	
14	1.15115	1.70914	2.07213	2.33737	2.54452	2.71452	2.85662	2.97887	3.08584	3.18081	3.26605	3.34346	3.41387	3.47880	3.53864	3.59432	3.64633	3.69508	3.74092	
15	1.14965	1.70804	2.07125	2.33661	2.54385	2.71290	2.85506	2.97735	3.08438	3.17938	3.26465	3.34206	3.41247	3.47740	3.53724	3.59292	3.64493	3.69368	3.73952	
16	1.14833	1.70708	2.07047	2.33594	2.54326	2.71237	2.85457	2.97689	3.08395	3.17895	3.26422	3.34163	3.41204	3.47697	3.53681	3.59249	3.64450	3.69325	3.73909	
17	1.14717	1.70623	2.06978	2.33535	2.54274	2.71190	2.85413	2.97649	3.08358	3.17858	3.26385	3.34126	3.41167	3.47660	3.53644	3.59212	3.64413	3.69288	3.73872	
18	1.14611	1.70547	2.06917	2.33483	2.54228	2.71148	2.85375	2.97613	3.08324	3.17824	3.26351	3.34092	3.41133	3.47626	3.53610	3.59178	3.64379	3.69254	3.73838	
19	1.14520	1.70480	2.06862	2.33436	2.54187	2.71111	2.85332	2.97574	3.08285	3.17785	3.26312	3.34053	3.41094	3.47587	3.53571	3.59139	3.64340	3.69215	3.73800	
20	1.14437	1.70419	2.06813	2.33384	2.54149	2.71074	2.85293	2.97535	3.08248	3.17752	3.26279	3.34020	3.41061	3.47554	3.53538	3.59106	3.64307	3.69182	3.73767	
d ₂	1.12838	1.69257	2.05875	2.32593	2.53441	2.70436	2.84742	3.00751	3.17287	3.33958	3.49676	3.64511	3.78496	3.91681	4.04115	4.15848	4.26921	4.37385	4.47280	
cd	.876	1.815	2.7378	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679	10.5396	11.0913	11.6259	12.144	12.6468	13.1362	

Entradas de la Tabla 1er. línea de cada celda son los grados de libertad (V) y la 2da. línea de cada celda de es el valor crítico de t para el nivel de significancia α . Los valores adicionales de α pueden ser construidos de la diferencia de las constantes. cd: Nota: La notación usada en esta tabla sigue la de Acheson Duncan, Quality Control and Industrial Statistics, 2da. edición, McGraw-Hill, 1986.

Anexo 2

Distribución t-Student, valores de $t_{\alpha}(v)$

ν	α									
	.60	.75	.90	.95	.975	.990	.995	.9975	.999	.9995
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

Anexo 3

Factores para diagramas de control.

Tamaño de muestra, n	Factores para diagramas \bar{x}		Factores para diagramas R	
	$d_2 = \frac{R}{\sigma}$	$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$	$d_3 = \frac{\sigma_R}{\sigma}$	$D_3 = 1 - \frac{3d_3}{d_2}$ $D_4 = 1 + \frac{3d_3}{d_2}$
2	1.128	1.881	0.853	0
3	1.693	1.023	0.888	0
4	2.059	0.729	0.880	0
5	2.326	0.577	0.864	0
6	2.534	0.483	0.848	0
7	2.704	0.419	0.833	0.076
8	2.847	0.373	0.820	0.136
9	2.970	0.337	0.808	0.184
10	3.078	0.308	0.797	0.223
11	3.173	0.285	0.787	0.256
12	3.258	0.266	0.779	0.283
13	3.336	0.249	0.770	0.308
14	3.407	0.235	0.763	0.328
15	3.472	0.223	0.756	0.347
16	3.532	0.212	0.750	0.363
17	3.588	0.203	0.744	0.378
18	3.640	0.194	0.739	0.391
19	3.689	0.187	0.734	0.403
20	3.735	0.180	0.729	0.414
21	3.778	0.173	0.724	0.425
22	3.819	0.167	0.720	0.434
23	3.858	0.162	0.716	0.443
24	3.895	0.157	0.712	0.452
25	3.931	0.153	0.708	0.460

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Centro Nacional de Metrología (CENAM). 2008. *Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre en metrología dimensional*. México : CENAM, 2008.
- COVENIN 2552:1999. 1999. *Vocabulario Internacional de términos básicos y generales en metrología*. s.l. : OIMLV2:1993, 1999.
- Galicia, H. y García, N. 2003. *Metrología Geométrica Dimensional*. México : AGT EDITOR, S.A., 2003.
- Grupo de Acciones de la Industria Automotriz (AIAG). 2010. *Análisis de Sistemas de Medición (MSA) 4º edición*. s.l. : AIAG, 2010.
- H., Carlos Naveas. 2009. *Introducción a la Ingeniería*. Valparaíso : Universidad de Playa Ancha, 2009.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). 2013. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1:2013*. Quito : INEN, 2013.
- Karl-Christian Gothner; Sebastian Rovira. 2011. *Impacto de la infraestructura de la calidad en América Latina*. s.l. : Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2011.
- Ministerio de Industrias y Productividad. 2018. *Plan Nacional de la Calidad, 2018*. s.l. : MIPRO, 2018.
- Organización Internacional para la Estandarización (ISO). 2015. *Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos ISO 9001*. s.l. : ISO, 2015.
- Organización Internacional para la Estandarización. 2003. *ISO 10012:2003 Sistemas de Gestión de las Mediciones, Requisitos para procesos de medición y equipos de medición*. s.l. : ISO, 2003.
- Sanetra, Clemens y Rocío M. Marbán. 2007. *Enfrentando el desafío global de la calidad, Una infraestructura nacional de calidad*. s.l. : OEA, 2007.
- Sifredo J. Sáez Ruiz; Luis Font Avila. 2001. *Incertidumbre de la Medición: Teoría y práctica*. Maracay : L&S Consultores C.A., 2001.
- Subsecretaría del sistema de la calidad de la productividad. 2016. *Plan Nacional de la Calidad*. s.l. : Ministerio de Industrias y Productividad, 2016.

ISBN: 978-9942-33-234-9



9 789942 332349

