



INSTITUTO SUPERIOR
TECNOLÓGICO PEILEO

METROLOGÍA



METROLOGÍA

Directorio editorial institucional

Dr. Rodrigo Mena Mg.	Rector
Mg. Sandra Cando	Coordinadora Institucional
Mg. Oscar Toapanta	Coordinador de I+D+i
Ing. Johanna Iza	Líder de Publicaciones

Diseño y diagramación

Mg. Belén Chávez
Mg. Santiago Mayorga

Revisión técnica de pares académicos

Christian Andrés Martínez Andino

IST PELILEO

Correo: cmartinez@institutos.gob.ec

Ángel Fabricio Cherres Coca

IST PELILEO

Correo: acherres@institutos.gob.ec

ISBN: 978-9942-686-15-2

Primera edición

Agosto 2024

<https://istp.edu.ec>

Usted es libre de compartir, copiar la presente guía en cualquier medio o formato, citando la fuente, bajo los siguientes términos: Debe dar crédito de manera adecuada, bajo normas APA vigentes, fecha, página/s. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma arbitraria sin hacer uso de fines de lucro o propósitos comerciales; debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar restricciones digitales que limiten legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).





AUTORES



Ing. Andrés Sánchez

DOCENTE



Ing. Johanna Iza, Mg.

DOCENTE

Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por la Universidad Técnica de Ambato, Docentes de materias técnicas en el área de tecnologías de la información y comunicación y Electromecánica, docente investigador en el área técnica, residente de obras en proyectos para la corporación nacional de telecomunicaciones CNT, Analizador de Radio Frecuencia en Boostelecom. Docente actualmente en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo carrera de Electromecánica y Coordinador de Aseguramiento de la calidad para el ISTP.

Ingeniera en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. He acumulado valiosa experiencia impartiendo cursos de robótica educativa, lo que ha permitido adquirir habilidades tanto técnicas como creativas, fundamentales en la automatización. Docente actualmente en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo carrera Electromecánica.

PRÓLOGO

La metrología es una disciplina interdisciplinaria que se enfoca en la medición precisa y la calibración de dispositivos y sistemas electromecánicos. Esta rama de la metrología combina conceptos de electricidad, electrónica y mecánica para garantizar la exactitud y confiabilidad de las mediciones en una amplia gama de aplicaciones, desde la producción industrial hasta la investigación científica.

La electromecánica es esencial en numerosos campos, incluyendo la automatización industrial, la robótica, la instrumentación médica y la aeronáutica. Para asegurar que estos sistemas funcionen de manera óptima y cumplan con los estándares de calidad, es fundamental contar con una metrología especializada que pueda verificar y calibrar los componentes eléctricos y mecánicos de estos sistemas de manera precisa.



CONTENIDOS



01

CAPÍTULO UNO

DIMENSIONES BÁSICAS

Introducción Metrología
Sistema Internacional de Unidades
Conversiones entre unidades
Ejercicios de Aplicación

CAPÍTULO DOS

NORMAS Y NORMALIZACIÓN

Normalización
Metrología de Precisión
Metrología Industrial

02

CAPÍTULO TRES

AJUSTES Y TOLERANCIAS

Introducción
Tolerancias geométricas
Tolerancia y Ajuste
Ejercicios de Ajustes – Aplicaciones

CAPÍTULO CUATRO

INCERTIDUMBRE Y ERRORES

Conceptos y definiciones de incertidumbre
Incertidumbre de medida
Errores de medida
Causas de Error
Expresiones de mediciones
Expresiones de incertidumbre

03

CAPÍTULO CINCO

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Tipos de Instrumentos
Calibrador Pie de Rey
Calibrador: sistema métrico
Calibrador: sistema ingles
Micrómetro
Micrómetro: Sistema métrico
Micrómetro: Sistema Ingles
Goniómetros
Multímetro Analógicos y Digitales
Osciloscopios
Pinza Amperimétrica
Telurómetro

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



01

GENERALIDADES

Dimensiones Básicas



Figura 1: Metrología Dimensional

Introducción a la metrología

Las dimensiones básicas son las cantidades fundamentales que se utilizan para medir y describir diversas propiedades físicas. Estas dimensiones básicas son la base para construir sistemas de unidades y realizar mediciones precisas. Las dimensiones básicas comúnmente reconocidas en metrología son:

Longitud (L): La longitud es una dimensión fundamental que se utiliza para medir distancias y tamaños. Se representa en metros (m) en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Masa (M): La masa es la medida de la cantidad de materia en un objeto. Se representa en kilogramos (kg) en el SI.

Tiempo (T): El tiempo se utiliza para medir la duración de eventos o procesos. Se representa en segundos (s) en el SI.

Corriente eléctrica (I): La corriente eléctrica se relaciona con el flujo de carga eléctrica en un circuito. Se representa en amperios (A) en el SI.

Temperatura (Θ): La temperatura se utiliza para medir la intensidad del calor. Se representa en kelvin (K) en el SI.

Cantidad de sustancia (n): La cantidad de sustancia se relaciona con la cantidad de entidades elementales (como átomos o moléculas) en una muestra. Se representa en moles (mol) en el SI.



Intensidad luminosa (Iv): La intensidad luminosa se utiliza para medir la cantidad de luz emitida por una fuente en una dirección específica. Se representa en candelas (cd) en el SI.

Estas siete dimensiones básicas forman la base de la metrología y se utilizan para definir todas las demás unidades de medida en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las mediciones se expresan en términos de estas dimensiones básicas y sus respectivas unidades, lo que permite una estandarización y comparación precisa de mediciones en todo el mundo.

Sistema Internacional de Unidades



Figura 2 Sistema Internacional de Unidades

Es el sistema de medidas estándar internacionalmente reconocido y utilizado en todo el mundo para expresar y comparar cantidades físicas. Fue establecido para proporcionar

una base consistente y universal para las mediciones en una amplia variedad de disciplinas científicas y tecnológicas.

Unidades Fundamentales

Son unidades básicas o unidades principales, son las unidades de medida que sirven como la base de un sistema de unidades de medida. Estas unidades son independientes y no pueden expresarse en términos de otras unidades del sistema internacional.

Unidades derivadas

Las unidades derivadas son aquellas que se obtienen combinando las unidades fundamentales de acuerdo con las leyes de la física. Algunos ejemplos de unidades derivadas son:

Metro cuadrado (m²): Utilizado para medir áreas, se deriva del metro.

Metro cúbico (m³): Utilizado para medir volúmenes, se deriva del metro.

Segundo por metro (s/m): Utilizado para medir la velocidad, se deriva del segundo y el metro.

Newton (N): Utilizado para medir la fuerza, se deriva de kilogramos, metros y segundos.

Joule (J): Utilizado para medir la energía, se deriva de kilogramos, metros y segundos.



Las unidades derivadas se construyen a partir de las unidades fundamentales y se utilizan para describir cantidades

más complejas o compuestas en diversas disciplinas científicas y tecnológicas.

Unidades Fuera del SI

Son una serie de unidades no establecida como parte del SI y que pueden ser utilizadas en áreas específicas, los valores están definidos de forma experimental

Tabla 1 Sucesivas definiciones de metro y sus incertidumbres

Magnitud	Unidad	Símbolo	Valor en Unidades (SI)
Tiempo	Minuto	min	1 min=60s
	Hora	h	1h = 60 min = 3600s
	Día	d	1d = 24h = 86400s
Ángulo Plano	Grado	°	1°=($\pi/180$)rad
	Minuto	'	1'=(1/60)°=($\pi/10800$)rad
	Segundo	"	1"=(1/60)'=($\pi/648000$)rad
	Grado centesimal	gon	1gon = ($\pi/200$) rad
Superficie	Hectárea	ha	1ha = 1hm ² = 10 ⁴ m ²
Volumen	litro	L	1L=1dm ³ = 10 ³ m ³
Masa	tonelada	t	1t=10 ³ kg

Conversiones entre Unidades

Las conversiones entre las unidades del Sistema Internacional (SI) suelen realizarse utilizando factores de conversión que relacionan las unidades. A continuación, te proporciono algunos ejemplos de conversiones comunes entre unidades SI:

Longitud:

1 metro (m) = 100 centímetros (cm)

1 metro = 1,000 milímetros (mm)

1 kilómetro (km) = 1,000 metros

Masa:

1 kilogramo (kg) = 1,000 gramos (g)

1 gramo = 1,000 miligramos (mg)

Tiempo:

1 minuto (min) = 60 segundos (s)

60 minuto(min) = 1 hora (h)

1 hora (h) = 3,600 segundos



Área:

1 metro cuadrado (m²) = 10,000 centímetros cuadrados (cm²)

1 hectárea (ha) = 10,000 metros cuadrados

Volumen:

1 metro cúbico (m³) = 1,000 litros (L)

1 litro = 1,000 centímetros cúbicos (cm³)

1 Galón (Gl) = 3.78 Litros (L)

Velocidad:

1 metro por segundo (m/s) = 3.6 kilómetros por hora (km/h)

Fuerza:

1 newton (N) = 1 kilogramo metro por segundo cuadrado (kg · m/s²)

Energía:

1 julio (J) = 1 newton metro (N · m)

1 julio = 1 vatio segundo (W · s)

Potencia:

1 vatio (W) = 1 julio por segundo (J/s)

1 Caballo Fuerza (HP) = 745.7 vatios (W)

Presión:

1 pascal (Pa) = 1 newton por metro cuadrado (N/m²)

Temperatura:

Conversión de grados Celsius (°C) a kelvin (K): K = °C + 273.15

Estos son solo algunos ejemplos de conversiones entre unidades SI. Para realizar conversiones, es importante conocer las relaciones entre las unidades y, en muchos casos, se utilizan factores de conversión específicos.

En resumen se ha realizado un análisis de las principales unidades de medida y las conversiones entre unidades del Sistema Internacional (SI) y proporciona ejemplos comunes. Estas conversiones se realizan mediante factores que relacionan diferentes unidades. Se incluyen conversiones en varias magnitudes:

Longitud: 1 metro = 100 cm, 1 kilómetro = 1,000 m, etc.

Masa: 1 kilogramo = 1,000 gramos.

Tiempo: 1 minuto = 60 segundos, 1 hora = 3,600 segundos.

Área: 1 metro cuadrado = 10,000 cm².

Volumen: 1 metro cúbico = 1,000 litros.



Velocidad: $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$.

Fuerza: $1 \text{ newton} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$.

Energía: $1 \text{ julio} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Potencia: $1 \text{ vatio} = 1 \text{ J/s}$, $1 \text{ HP} = 745.7 \text{ W}$.

Presión: $1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$.

Temperatura: $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15$

Importancia de las conversiones: Las conversiones entre unidades son esenciales en una amplia variedad de campos como la ciencia, la ingeniería y la vida cotidiana. Permiten que se realicen mediciones y cálculos precisos y consistentes a nivel global.

Relación entre unidades: El Sistema Internacional (SI) está diseñado para estandarizar las unidades y sus conversiones. Cada magnitud física, como longitud, masa, tiempo o temperatura, tiene unidades bien definidas y relaciones claras entre ellas, lo que facilita la conversión.

Facilidad mediante factores de conversión: Los factores de conversión permiten pasar fácilmente de una unidad a otra dentro del mismo sistema o incluso entre sistemas diferentes, como el inglés y el SI, de manera sencilla y sistemática.

Utilidad en la resolución de problemas: Comprender las conversiones es fundamental para resolver problemas físicos, económicos y en la vida cotidiana, como en la conversión de divisas, distancias, volúmenes, entre otros.

Familiarización con los factores de conversión: Es recomendable memorizar las conversiones más comunes, como metros a kilómetros, gramos a kilogramos, o minutos a horas, ya que facilitan los cálculos sin depender de herramientas externas.

Uso de herramientas tecnológicas: Para conversiones más complejas o precisas, se recomienda el uso de calculadoras, aplicaciones o tablas de conversión que automaticen el proceso y reduzcan el riesgo de error.

Comprensión del contexto de la unidad: Antes de realizar una conversión, es importante tener claro el contexto en el que se utiliza la unidad, ya que, por ejemplo, la conversión de unidades de volumen puede variar si se trata de líquidos o sólidos.

Aplicación constante: Practicar con problemas cotidianos, como convertir el consumo de



combustible de litros a galones, o calcular la velocidad en diferentes unidades, ayudará a reforzar el entendimiento y fluidez en el uso de conversiones.



ACTIVIDAD 1

Realizar las conversiones planteadas en la siguiente actividad como refuerzo del tema dimensiones básicas y sistema internacional de unidades.

Ejercicios de aplicación

Convertir 1 milla a metros

- A. 1000 m
- B. 16m
- C. 1609 m
- D. 500m

Convertir 12.3 millas a metros

- A. 12500 m
- B. 12000 m
- C. 19794 m
- D. 1609 m

Convertir 45 millas a kilómetros

- A. 75.900 km
- B. 70.858 km
- C. 72.420 km
- D. 78.9 km

Convertir 1 metro a yardas

- A. 1.093 yardas
- B. 2.54 yardas
- C. 1 yarda
- D. 0.9 yardas

Convertir 100 metros a yardas

- A. 1.3 yarda



- B. 100.3 yardas
- C. 109.3 yardas
- D. 900.3 yardas

Convertir 3 metros a pies

- A. 7.598 ft
- B. 9.842 ft
- C. 6.895 ft
- D. 800 ft

Convertir 2.5 pies a pulgadas

- A. 27.5in
- B. 25in
- C. 28in
- D. 30in

Convertir 1 galón a litros

- A. 4.356 lts
- B. 4 lts
- C. 3.785 lts
- D. 35 lts

Convertir 4 galones a litros

- A. 16.956 lts
- B. 16 ts
- C. 15.139 lts
- D. 14 lts



02

NORMAS Y NORMALIZACIÓN

Unidad 2

Normas y Normalización



Figura 3 Normalización Industrial

Normalización

La normalización industrial se refiere a la práctica de establecer estándares técnicos y de calidad en la industria para garantizar la uniformidad, la interoperabilidad y la seguridad de productos, procesos y sistemas. Estos estándares son desarrollados y mantenidos por organizaciones de normalización que pueden ser nacionales o internacionales, y su objetivo es promover la eficiencia y la calidad en diversos sectores industriales.

Calidad y seguridad: Los estándares ayudan a garantizar que los productos y procesos cumplan con ciertos requisitos de calidad y seguridad. Esto protege a los consumidores y reduce los

riesgos asociados con productos defectuosos o peligrosos.

Interoperabilidad: En sectores donde múltiples empresas interactúan o donde se requiere la compatibilidad entre sistemas, la normalización asegura que los productos y servicios puedan funcionar juntos de manera efectiva. Esto es especialmente importante en campos como la tecnología de la información y las comunicaciones.

Eficiencia: Los estándares pueden mejorar la eficiencia al establecer prácticas y procedimientos comunes, lo que reduce costos y aumenta la productividad.

Facilitación del comercio internacional: Los estándares



internacionales permiten que los productos sean comercializados y utilizados en todo el mundo, lo que fomenta el comercio internacional y la competencia.

Innovación: La normalización también puede promover la innovación al establecer un marco común para la creación y evaluación de nuevos productos y tecnologías.

Organizaciones de normalización reconocidas a nivel mundial incluyen la ISO (Organización Internacional de Normalización), el IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y el ASTM International (anteriormente conocido como la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales). Estas organizaciones desarrollan estándares técnicos en una amplia gama de campos, desde la fabricación y la ingeniería hasta la salud y la seguridad.

La normalización industrial es esencial para asegurar la calidad y la eficiencia en la producción y la prestación de servicios, así como para promover la competitividad y la innovación en la industria a nivel global.

Metrología de Precisión

La metrología es la ciencia de la medición y la metrología de precisión se centra en la medición extremadamente precisa y exacta de cantidades

físicas, como longitudes, masas, tiempos, temperaturas y otras magnitudes. Esto es esencial en una variedad de aplicaciones, incluyendo la fabricación de componentes de alta precisión, la investigación científica y la tecnología de vanguardia.



Figura 4 Instrumentos de Precisión

Fuente: GoConqr

<https://www.goconqr.com/mapamental/28912455/metrologia>

La metrología de precisión implica el uso de instrumentos y técnicas altamente calibrados para realizar mediciones con una precisión extrema. Esto a menudo implica tener en cuenta factores como la incertidumbre de medición, la estabilidad de los instrumentos, la repetibilidad y la reproducibilidad de las mediciones. Algunos ejemplos de técnicas y herramientas utilizadas en la metrología de precisión incluyen:

Interferometría: Una técnica que utiliza la interferencia de la luz o de otras ondas para medir distancias extremadamente pequeñas con alta precisión.

Microscopía de alta resolución: La observación y medición de objetos a nivel microscópico o



submicrométrico utilizando microscopios de alta resolución.

Comparadores de alta precisión: Instrumentos que se utilizan para comparar dimensiones con alta precisión, especialmente en la fabricación de piezas de ingeniería.

Calibradores láser: Estos dispositivos utilizan rayos láser para mediciones extremadamente precisas de distancias y dimensiones.

Máquinas de medición por coordenadas (CMM): Son sistemas computarizados que miden con precisión las dimensiones tridimensionales de objetos utilizando sondas y software especializado.

La metrología de precisión es fundamental en muchas industrias, como la industria aeroespacial, la fabricación de semiconductores, la nanotecnología, la investigación científica y la medicina. La alta precisión en las mediciones es esencial para garantizar la calidad y la confiabilidad de los productos y resultados, y para impulsar avances tecnológicos en campos diversos. Además, en muchos países, existen organismos de metrología que establecen estándares y protocolos para garantizar la precisión y la trazabilidad de las mediciones en diversas aplicaciones.

Metrología Industrial



Figura 5 Metrología Industrial 4.0

Fuente: Akismet

<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion>

Se refiere a la aplicación de principios y técnicas de metrología en el contexto de la industria. La metrología es la ciencia de la medición, y en la industria, se utiliza para garantizar la precisión y la calidad en la fabricación de productos, así como para asegurar que los procesos industriales se ejecuten de manera eficiente y cumpliendo con las normativas.

Algunos aspectos clave de la metrología industrial incluyen:

Medición de calidad: La metrología industrial se utiliza para medir y verificar la calidad de los productos fabricados. Esto implica la medición de dimensiones, tolerancias, propiedades de materiales, superficies, entre otros aspectos, para asegurar que los productos cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas.

Control de procesos: La metrología industrial también se

utiliza para controlar y optimizar los procesos de fabricación. Esto implica la medición y seguimiento de variables críticas del proceso, lo que permite realizar ajustes en tiempo real para mantener la calidad y la eficiencia de la producción.

Calibración de instrumentos: Para garantizar mediciones precisas, es esencial calibrar y mantener los instrumentos de medición utilizados en la industria. La metrología industrial incluye la gestión de la calibración de los equipos y la trazabilidad de las mediciones.



Figura 6 Instrumentos utilizados en la metrología

Fuente: Vector Cero Metrología

<https://vector0metrologia.com/la-importancia-de-la-metrologia-en-nuestra-vida-cotidiana>

Estándares y normativas: La metrología industrial se basa en estándares y normativas establecidos por organismos de normalización, como la ISO (Organización Internacional de Normalización) y otros organismos nacionales e internacionales. Estos estándares proporcionan pautas para la medición, la calidad y la calibración.

Trazabilidad: La trazabilidad es un aspecto fundamental de la metrología industrial. Esto significa

que las mediciones realizadas deben poder rastrearse hasta estándares de referencia conocidos, asegurando la confiabilidad de las mediciones.

Instrumentación: En la metrología industrial, se utilizan una variedad de instrumentos de medición, como calibradores, micrómetros, máquinas de medición por coordenadas (CMM), sistemas de visión artificial y otros equipos especializados.



En resumen, la normalización industrial es el proceso de establecer normas y especificaciones técnicas comunes para productos, servicios y procesos dentro de una industria. Estas normas buscan asegurar la calidad, seguridad, compatibilidad e interoperabilidad de los productos, promoviendo la eficiencia en la producción y facilitando el comercio a nivel nacional e internacional. Al adoptar estándares unificados, las empresas pueden reducir costos, mejorar la productividad y asegurar que sus productos cumplan con los requisitos regulatorios y las expectativas del mercado.

La estandarización industrial también fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico, ya que proporciona un marco común para el diseño, la fabricación y la evaluación de nuevos productos. Al tener estándares claros, las empresas pueden concentrarse en mejorar sus procesos y productos sin preocuparse por problemas de compatibilidad o seguridad. Además, la normalización permite que los productos sean fácilmente intercambiables y compatibles, lo que es esencial para industrias como la automotriz, la electrónica y la construcción, donde la interoperabilidad es clave.

Finalmente, la normalización industrial también juega un papel importante en la sostenibilidad y el cumplimiento de regulaciones medioambientales. Muchas normas actuales incluyen requisitos para la eficiencia energética, el reciclaje y la reducción de emisiones, lo que ayuda a las empresas a cumplir con las normativas y adoptar prácticas más sostenibles. La normalización, entonces, no solo impulsa la competitividad y la eficiencia, sino que también contribuye a un desarrollo industrial más responsable y respetuoso con el medio ambiente.



CUESTIONARIO

Normalización en la Industria

Cuestionario 1

¿Qué técnica utiliza la interferencia de la luz para medir distancias extremadamente pequeñas con alta precisión?

- A. Microscopía de alta resolución.
- B. Interferometría.
- C. Calibradores láser.
- D. Comparadores de alta precisión.

¿Qué es la seguridad en la normalización industrial?

- A. La capacidad de los productos y servicios para funcionar juntos de manera efectiva.
- B. La capacidad de los productos y servicios para ser comercializados y utilizados en todo el mundo.
- C. La capacidad de los productos y servicios para cumplir con ciertos requisitos de calidad y seguridad.
- D. La capacidad de los productos y servicios para mejorar la eficiencia y la productividad.

¿Qué es la normalización industrial?

- A. La práctica de establecer estándares técnicos y de calidad en la industria para garantizar la uniformidad, la compatibilidad y la seguridad de productos, procesos y sistemas.
- B. La práctica de establecer estándares técnicos y de calidad en la industria para garantizar la eficiencia, la interoperabilidad y la seguridad de productos, procesos y sistemas.
- C. La práctica de establecer estándares técnicos y de calidad en la industria para garantizar la diversidad, la compatibilidad y la seguridad de productos, procesos y sistemas.
- D. La práctica de establecer estándares técnicos y de calidad en la industria para garantizar la uniformidad, la interoperabilidad y la seguridad de productos, procesos y sistemas.

**¿Cuál es uno de los beneficios de los estándares en la industria?**

- A. Aumento de la diversidad y la competencia.
- B. Mejora de la eficiencia y la productividad.
- C. Reducción de la calidad y la seguridad.
- D. Aumento de los costos y la productividad.

¿Qué es la metrología de precisión?

- A. La ciencia de la medición de cantidades físicas.
- B. La ciencia de la medición de cantidades químicas.
- C. La ciencia de la medición de cantidades astronómicas.
- D. La ciencia de la medición de cantidades biológicas.

¿Qué es la interoperabilidad en la normalización industrial?

- A. La capacidad de los productos y servicios para mejorar la eficiencia y la productividad.
- B. La capacidad de los productos y servicios para cumplir con ciertos requisitos de calidad y seguridad.
- C. La capacidad de los productos y servicios para ser comercializados y utilizados en todo el mundo.
- D. La capacidad de los productos y servicios para funcionar juntos de manera efectiva.

¿Qué es la eficiencia en la normalización industrial?

- A. La capacidad de los productos y servicios para ser comercializados y utilizados en todo el mundo.
- B. La capacidad de los productos y servicios para mejorar la eficiencia y la productividad.
- C. La capacidad de los productos y servicios para funcionar juntos de manera efectiva.
- D. La capacidad de los productos y servicios para cumplir con ciertos requisitos de calidad y seguridad.

¿Qué organizaciones son reconocidas a nivel mundial en la normalización industrial?

- A. ISO, IEEE y ASME.
- B. ISO, IEC y ASTM International.
- C. ISO, IEEE y ASTM International.
- D. ISO, IEC y ASME.



03

Ajustes y Tolerancias

AJUSTES Y TOLERANCIAS



Figura 7 Perspectiva del Ajuste y Tolerancia

Introducción

Son conceptos clave en la ingeniería y la manufactura que se utilizan para definir las dimensiones y las holguras permitidas en las piezas mecánicas. Estos conceptos son esenciales para asegurar que las piezas se ajusten adecuadamente y funcionen según lo previsto.

Ajuste:

Un ajuste se refiere a la relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse. Describe cómo se ajustan las piezas entre sí en términos de la interferencia o la separación entre ellas. Los ajustes se dividen generalmente en tres categorías:

Ajuste de interferencia: Las piezas encajan juntas de manera muy

ajustada, de modo que hay una interferencia entre ellas. Esto suele requerir fuerza para ensamblarlas.

Ajuste de holgura: Las piezas tienen una pequeña separación entre ellas, lo que permite un movimiento libre. Este tipo de ajuste se utiliza para piezas que deben moverse entre sí sin problemas.



Ajuste de transición: Es un término intermedio entre los dos anteriores, con una pequeña interferencia o holgura. A

menudo se utiliza cuando se necesita un equilibrio entre ajuste apretado y movilidad.

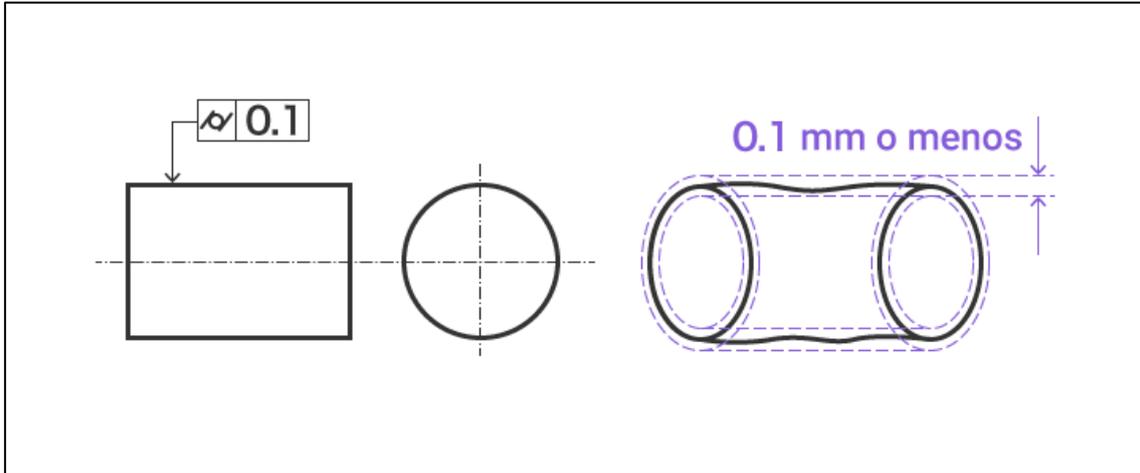


Figura 8 Ejemplo de Tolerancia admitida

Fuente: Keyence

<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/type/form-tolerance.jsp>

Tolerancia

La tolerancia es la variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza. En otras palabras, es la diferencia permitida entre la dimensión nominal (el valor teórico) y las dimensiones reales de una pieza. Las tolerancias se expresan generalmente como un rango, como ± 0.1 mm.

Por ejemplo, si una pieza debe tener una longitud nominal de 100 mm y se permite una tolerancia de ± 0.1 mm, entonces las piezas que cumplan con esta especificación tendrán longitudes en el rango de 99.9 mm a 100.1 mm.

La combinación de ajustes y tolerancias es fundamental para el diseño y la fabricación de piezas y ensamblajes en

ingeniería. Los ingenieros deben especificar las tolerancias adecuadas para garantizar la funcionalidad de las piezas, teniendo en cuenta factores como la precisión requerida, el costo de fabricación y la facilidad de ensamblaje.

El término tolerancia posee un doble significado en tecnología ya que existen dos tipos de tolerancias:

Tolerancia de diseño

A partir de una dimensión específica, se considera que es suficiente para garantizar que el componente funcione adecuadamente en relación con esa dimensión dentro del conjunto mecánico en el que se incorporará.



Tolerancia de fabricación

Denominada tolerancia efectiva, es la tolerancia resultante obtenida de la fabricación con un método determinado y con ciertos medios definidos.

Conceptos relacionados

Dimensión nominal: valor teórico de una dimensión respecto al cual se establecen las medidas límite, es decir, la tolerancia.

Dimensión efectiva: valor obtenido tras la fabricación y que se determina sobre una pieza real.

Dimensiones límite: valores extremos, máximo y mínimo que puede tomar la dimensión considerada.

Línea cero: también denominada línea de referencia, una línea recta que se utiliza como referencia para establecer la posición de los límites superior e inferior de la dimensión nominal.

Cota funcional: es aquella cota que posee relevancia en el funcionamiento de la pieza.

Diferencia efectiva: es la diferencia entre la medida obtenida y la nominal.

Diferencia superior/inferior: es la diferencia entre la dimensión superior y la nominal.

Desviación fundamental: de una cota afectada de tolerancia es la desviación máxima (puede ser

desviación superior o inferior) que posea menor valor absoluto.

Los proyectistas suelen tener cierta tendencia a especificar tolerancias de

diseño lo menores posibles, pero ello tiene repercusiones en diferentes aspectos, ya que obliga a la oficina de métodos a elegir procedimientos de fabricación más estrechamente controlados, lo que a su vez incide en el coste de producción, encareciéndolo.

La elección de las tolerancias de diseño es una cuestión que requiere un compromiso tecnológico que está influido por cuestiones de diversa índole: económicas, de normativa, de seguridad, de medios disponibles, etc.

Tolerancias Geométricas

Son un conjunto de símbolos y métodos utilizados en ingeniería y diseño para especificar las formas y relaciones geométricas de las características de una pieza o conjunto de piezas. Estas tolerancias son fundamentales para garantizar que las piezas se ajusten y funcionen correctamente en un ensamblaje. Aquí hay una descripción de algunos de los símbolos y conceptos más comunes en las tolerancias geométricas:



Rectitud (| |): La tolerancia de rectitud especifica cuán cerca debe estar una línea o superficie de la forma ideal de línea recta. Se representa con el símbolo "| |" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

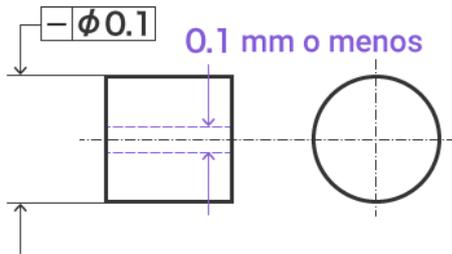


Figura 9 Rectitud
Fuente:
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/type/form-tolerance.jsp>

Planitud (Δ): La tolerancia de planitud se refiere a cuán cerca debe estar una superficie de la forma ideal de plano. Se representa con el símbolo "Δ" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

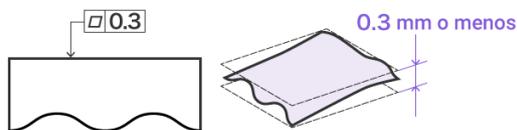


Figura 10 Planitud Geométrica
Fuente:
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/type/form-tolerance.jsp>

Circularidad (○): La tolerancia de circularidad se utiliza para especificar cuán cerca debe

estar una forma circular perfecta. Se representa con el símbolo "○" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

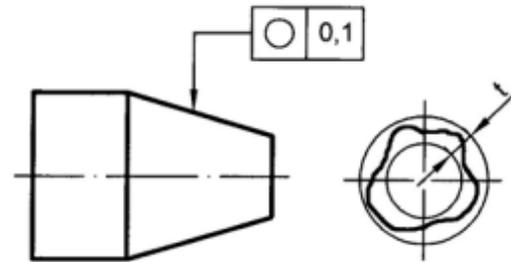


Figura 11 Circularidad Geométrica
Fuente:
https://www.upct.es/~deg/Antonio_Guillamon/pdf/Tolerancias%20geometricas.pdf

Cilindricidad (□): La tolerancia de cilindridad se aplica a cilindros y se refiere a cuán cerca debe estar la superficie exterior del cilindro de la forma ideal de cilindro perfecto. Se representa con el símbolo "□" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

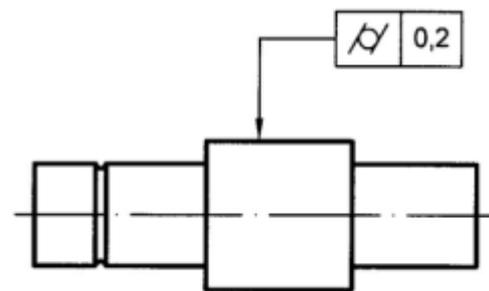


Figura 12 Cilindricidad Geométrica
Fuente:
https://www.upct.es/~deg/Antonio_Guillamon/pdf/Tolerancias%20geometricas.pdf

Concentricidad (⊙): La concentricidad especifica cuán cerca debe estar el centro geométrico de una característica circular con



respecto al centro de referencia de otra característica circular. Se representa con el símbolo "◎" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

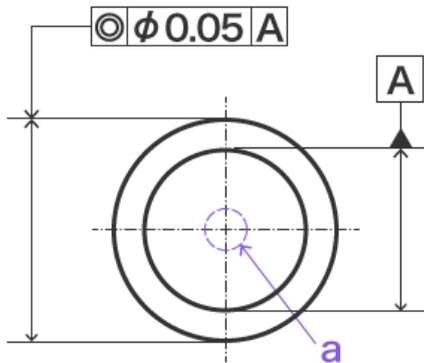


Figura 13 Concentricidad Geométrica
Fuente:
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/type/location-tolerance.jsp>

Perpendicularidad (⊥): La tolerancia de perpendicularidad se utiliza para especificar la orientación de una superficie o eje en relación con una línea o plano de referencia. Se representa con el símbolo "⊥" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

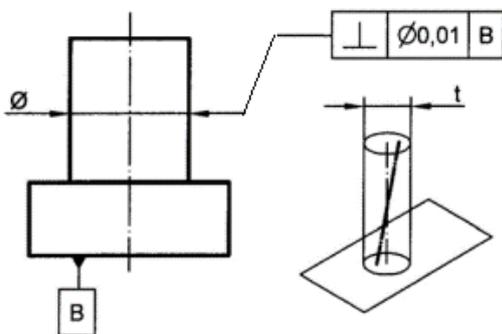


Figura 14 Perpendicularidad Geométrica
Fuente:
https://www.upct.es/~deg/Antonio_Guillamon/pdf/Tolerancias%20geometricas.pdf

Paralelismo (//): El paralelismo se utiliza para especificar cuán cerca debe estar una superficie, línea o eje de una posición paralela ideal. Se representa con el símbolo "//" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

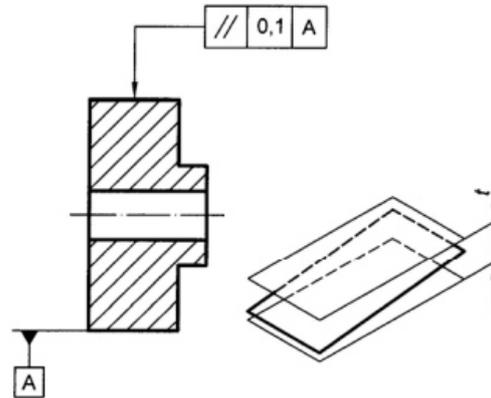


Figura 15 Paralelismo Geométrico
Fuente:
https://www.upct.es/~deg/Antonio_Guillamon/pdf/Tolerancias%20geometricas.pdf

Simetría (≡): La tolerancia de simetría se aplica a características simétricas y especifica cuán cerca deben estar las características con respecto a su línea de simetría ideal. Se representa con el símbolo "≡" y un valor numérico que indica la magnitud de la tolerancia.

La especificación de estas tolerancias ayuda a garantizar que las piezas se ajusten y funcionen correctamente en un ensamblaje, lo que es esencial en la ingeniería y la fabricación de alta precisión.

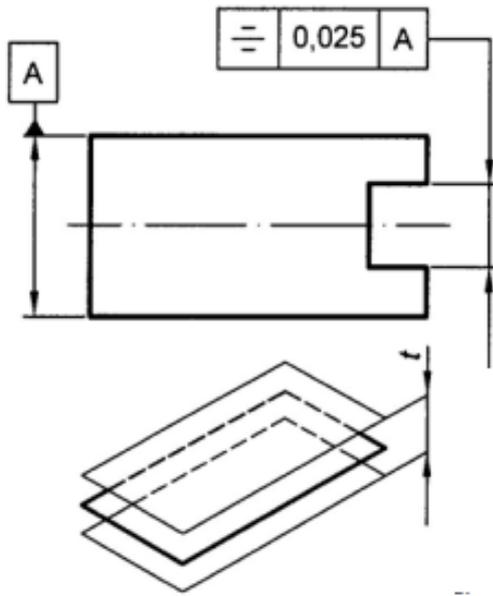


Figura 16 Perpendicularidad Geométrica

Fuente:

https://www.upct.es/~deg/Antonio_Guillamon/pdf/Tolerancias%20geometricas.pdf

Tolerancia

La tolerancia se refiere a la variación permitida en las dimensiones de una pieza o componente manufacturado. En otras palabras, es la diferencia entre el tamaño máximo y mínimo permitido para una característica específica de una pieza. Las tolerancias se establecen para garantizar que las piezas encajen de manera adecuada y cumplan con sus funciones, pero también para permitir la fabricación eficiente.

Las tolerancias pueden ser dimensionales o geométricas. Las dimensionales se refieren a las variaciones en las medidas lineales, como la longitud, el diámetro o el espesor, mientras que las tolerancias geométricas se utilizan para controlar la forma,

la orientación o la posición de las características de una pieza.

Ajuste

El ajuste se relaciona con la relación entre dos piezas que encajan entre sí, y se basa en las tolerancias de ambas piezas. Los ajustes se utilizan para determinar cuán holgadas o ajustadas deben ser las piezas al ensamblarse. Los tipos de ajustes más comunes incluyen:

Ajuste de interferencia: Las piezas encajan con una presión ajustada y deben ser presionadas juntas. Este tipo de ajuste se utiliza para evitar el movimiento relativo entre las piezas.

Ajuste de holgura: Las piezas encajan con espacio libre entre ellas. Este tipo de ajuste permite cierta holgura o movimiento entre las piezas.

Ajuste de deslizamiento: Las piezas se deslizan una dentro de la otra sin holgura ni interferencia.

Ajuste de transición: Es un término general que se utiliza para describir ajustes que se encuentran entre los extremos de interferencia y holgura. Puede haber cierta fricción o ajuste apretado, pero no tan ajustado como en un ajuste de interferencia.

El uso de tolerancias y ajustes es crucial en la fabricación y el diseño de productos para



garantizar la calidad y la funcionalidad. Una correcta selección de tolerancias y ajustes contribuye a evitar problemas como piezas que no encajan adecuadamente o que se desgastan prematuramente debido a interferencias excesivas.

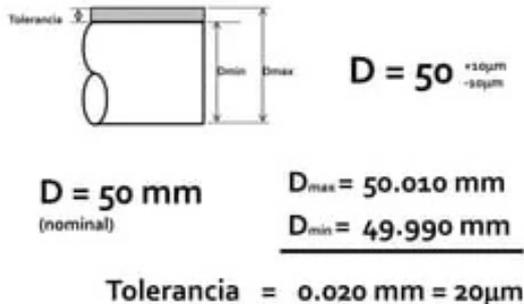


Figure 17 Ejemplo de Tolerancia

Fuente: NacXo Beltran

<https://es.slideshare.net/nacxobeltranduran/ajustes-y-tolerancias>

Ejercicios de Aplicación

Ejercicio 1: Tolerancia dimensional

Supongamos que debes diseñar un eje de acero con un diámetro nominal de 20 mm. Para una aplicación precisa, puedes especificar la siguiente tolerancia dimensional:

Diámetro del eje: 20h7

Esto significa que el diámetro del eje puede variar entre 20 mm (límite inferior) y 20.030 mm (límite superior). El "h7" es una notación ISO que indica una tolerancia

ajustada para aplicaciones donde el ajuste es crítico.

Ejercicio 2: Ajuste de interferencia

Para asegurar un ajuste de interferencia entre el cojinete y el eje, puedes especificar el siguiente ajuste:

Eje: 25h7

Cojinete: 25H7

Ambos el eje y el cojinete están dimensionados para un diámetro de 25 mm, con tolerancias ajustadas "h7". Esto garantiza que habrá una interferencia controlada entre el cojinete y el eje.

Ejercicio 3: Ajuste de holgura

Supongamos que deseas un ajuste de holgura para la tapa y el orificio de la carcasa. Puedes especificar el siguiente ajuste:

Tapa: 30H9

Orificio de la carcasa: 30h9

Ambos la tapa y el orificio de la carcasa tienen un diámetro de 30 mm, pero con tolerancias "H9" que proporcionan una holgura controlada. Esto permite que la tapa encaje de manera libre, pero sin ser demasiado holgada.

Ejercicio 4: Ajuste de deslizamiento



Para permitir un ajuste de deslizamiento suave entre el eje y la rueda, puedes especificar el siguiente ajuste:

Eje: 40H7

Rueda: 40H7

Ambos el eje y la rueda tienen un diámetro de 40 mm, con tolerancias "H7" que proporcionan un ajuste de deslizamiento controlado. Esto permite que el eje gire suavemente dentro del orificio de la rueda.



CUESTIONARIO

CAPÍTULO III



CUESTIONARIO CAPÍTULO III

¿Qué es la línea cero?

- A. El valor teórico de una dimensión respecto al cual se establecen las medidas límite.
- B. El valor obtenido tras la fabricación y que se determina sobre una pieza real.
- C. Los valores extremos, máximo y mínimo que puede tomar la dimensión considerada.
- D. Una línea recta que se utiliza como referencia para establecer la posición de los límites superior e inferior de la dimensión nominal.

¿Cuáles son los tipos de ajustes?

- A. Ajuste de diseño, ajuste de fabricación y ajuste de tolerancia.
- B. Interferencia, holgura y transición.
- C. Ajuste de precisión, ajuste de equilibrio y ajuste de movilidad.
- D. Ajuste de tolerancia, ajuste de interferencia y ajuste de separación.

¿Qué es un ajuste?

- A. La interferencia o separación entre dos piezas.
- B. La diferencia entre la dimensión nominal y las dimensiones reales de una pieza.
- C. La variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza.
- D. La relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse.

¿Cuál es la diferencia entre tolerancia de diseño y tolerancia de fabricación?

- A. La tolerancia de diseño se refiere a la precisión requerida en la fabricación de una pieza, mientras que la tolerancia de fabricación se refiere a la interferencia o separación entre dos piezas.
- B. La tolerancia de diseño se refiere a la variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza, mientras que la tolerancia de fabricación se refiere a la relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse.
- C. La tolerancia de diseño se refiere a la relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse, mientras que la tolerancia de fabricación se refiere a la variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza.



- D. La tolerancia de diseño se refiere a la interferencia o separación entre dos piezas, mientras que la tolerancia de fabricación se refiere a la precisión requerida en la fabricación de una pieza.

¿Qué es la diferencia efectiva?

- A. La diferencia entre la dimensión superior y la nominal.
- B. La diferencia entre la dimensión inferior y la nominal.
- C. La diferencia entre la dimensión máxima y la nominal.
- D. La diferencia entre la medida obtenida y la nominal.

¿Qué es la diferencia superior/inferior?

- A. La diferencia entre la dimensión máxima y la nominal.
- B. La diferencia entre la dimensión inferior y la nominal.
- C. La diferencia entre la dimensión mínima y la nominal.
- D. La diferencia entre la dimensión superior y la nominal.

¿Qué es una tolerancia?

- A. La relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse.
- B. La variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza.
- C. La diferencia entre la dimensión nominal y las dimensiones reales de una pieza.
- D. La interferencia o separación entre dos piezas.

¿Qué es la tolerancia de diseño?

- A. La tolerancia que se refiere a la variación permitida en una dimensión o propiedad de una pieza.
- B. La tolerancia resultante obtenida de la fabricación con un método determinado y con ciertos medios definidos.
- C. La tolerancia que se considera suficiente para garantizar que el componente funcione adecuadamente en relación con una dimensión específica.
- D. La tolerancia que se refiere a la relación entre dos piezas que deben unirse o ensamblarse.

¿Qué es una dimensión nominal?

- A. El valor obtenido tras la fabricación y que se determina sobre una pieza real.
- B. Una línea recta que se utiliza como referencia para establecer la posición de los límites superior e inferior de la dimensión nominal.
- C. Los valores extremos, máximo y mínimo que puede tomar la dimensión considerada.



- D. El valor teórico de una dimensión respecto al cual se establecen las medidas límite.

¿Qué son las dimensiones límite?

- A. El valor obtenido tras la fabricación y que se determina sobre una pieza real.
- B. Los valores extremos, máximo y mínimo que puede tomar la dimensión considerada.
- C. Una línea recta que se utiliza como referencia para establecer la posición de los límites superior e inferior de la dimensión nominal.
- D. El valor teórico de una dimensión respecto al cual se establecen las medidas límite.



04

INCERTIDUMBRE Y ERRORES

INCERTIDUMBRE Y ERRORES



Figura 9 Incertidumbre y Error en Metrología

Incertidumbre de medición

La incertidumbre de medición se refiere a la falta de conocimiento completo y exacto sobre el valor verdadero de la dimensión que se está midiendo. En otras palabras, es la estimación de cuán cerca estamos de la verdadera magnitud de la dimensión. La incertidumbre no implica necesariamente un error en la medición, pero se relaciona

con la variabilidad y las limitaciones inherentes al proceso de medición. Algunos factores que contribuyen a la incertidumbre de medición en metrología dimensional incluyen:

Tolerancias y especificaciones:

Las tolerancias de diseño o especificaciones definen la variación permitida en la dimensión. La incertidumbre se relaciona con cuán cerca está la



medición del valor nominal o requerido dentro de estas tolerancias.

Instrumentación: La precisión y repetibilidad del equipo de medición, así como su calibración, afectan la incertidumbre de medición.

Operador: La habilidad y consistencia del operador en la realización de mediciones también contribuyen a la incertidumbre.

Ambiente: Factores como la temperatura, la humedad y la vibración pueden afectar las mediciones y, por lo tanto, contribuyen a la incertidumbre.

Gestionar y reducir la incertidumbre de medición es esencial para asegurar mediciones precisas y confiables en metrología dimensional. Esto se logra mediante la selección de equipos adecuados, la capacitación de los operadores y la documentación de procedimientos de medición.

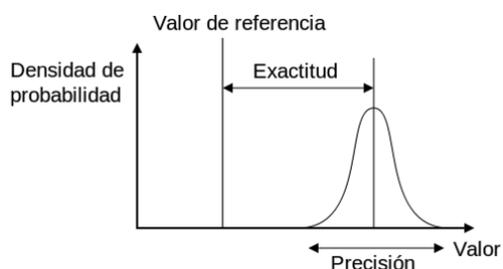


Figura 19 Desviación permitida en una evaluación
 Fuente: Víctor Yépez Piquera
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/10/02/cifras-significativas-y-errores-de-medicion/>

Error de medición

El error de medición se refiere a la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una dimensión. Esta diferencia puede ser causada por inexactitudes en el equipo de medición, errores sistemáticos o aleatorios, o incluso errores humanos. Los errores pueden ser positivos (la medición es mayor que el valor verdadero) o negativos (la medición es menor que el valor verdadero). La corrección de errores sistemáticos es esencial para minimizar la desviación entre las mediciones y el valor verdadero.

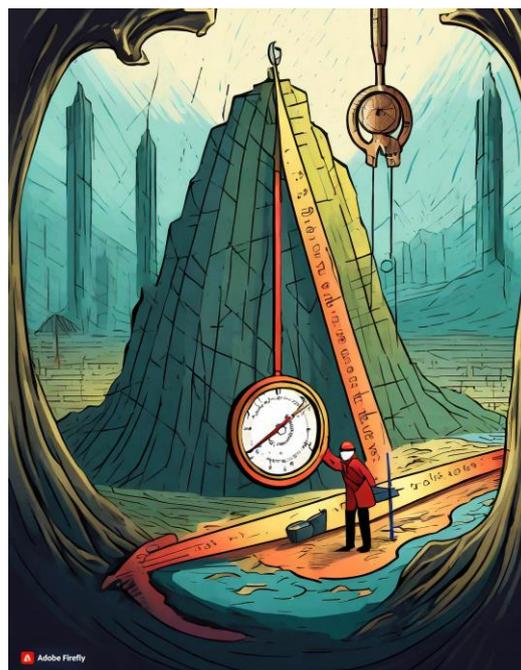


Figura 20 Referencia de una medición y el error

Uno de los factores que enfrenta la metrología son la incertidumbre y el error de medición. La gestión adecuada de la incertidumbre y la corrección de los errores son



fundamentales para garantizar mediciones confiables y precisas en esta disciplina, lo que es esencial en aplicaciones que van desde la fabricación de piezas hasta la calidad de productos y la investigación científica.

Incertidumbre de medida

La incertidumbre de medida es una estimación de cuánto se desconoce el valor verdadero de una magnitud que se está midiendo. Representa la falta de conocimiento completo y exacto en una medición y se expresa como un intervalo de valores dentro del cual se espera que el valor verdadero esté con cierta probabilidad. La incertidumbre se calcula teniendo en cuenta diversas fuentes de error y contribuciones, como la precisión del instrumento, las condiciones ambientales y la habilidad del operador.

Errores de medida

Los errores de medida son desviaciones entre el valor medido y el valor verdadero de una magnitud. Los errores pueden ser sistemáticos o aleatorios. Los errores sistemáticos son desviaciones consistentes en una dirección específica, mientras que los errores aleatorios son variaciones al azar alrededor del valor verdadero. La corrección de errores sistemáticos es esencial para mejorar la precisión de las mediciones.

Causas de error

Las causas de error en las mediciones pueden incluir factores como la calibración incorrecta del equipo, el mal ajuste del instrumento, la variabilidad en las condiciones ambientales (como la temperatura y la humedad), la interferencia de factores externos y errores humanos en la realización de la medición. Identificar y minimizar estas causas es fundamental para reducir la incertidumbre y los errores de medida.

Expresiones de mediciones

Las expresiones de mediciones son representaciones de los valores medidos. Pueden ser números reales o fraccionarios que indican la magnitud medida de una cantidad física. Estas expresiones pueden incluir unidades de medida y tolerancias que especifican la variación permitida en el valor medido.

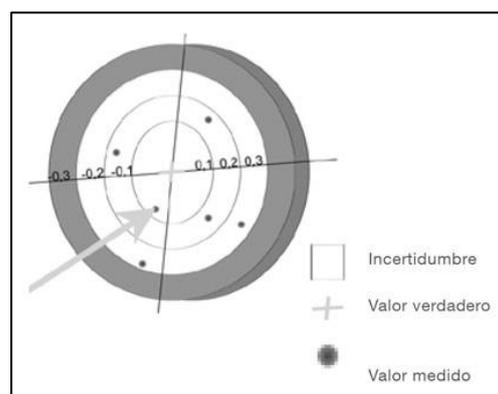


Figura 10 Ejemplo de Incertidumbre
Fuente: Teto Be Shure
<https://www.testotis.es/know-how/centro-de-conocimiento>



Expresiones de incertidumbre

Las expresiones de incertidumbre describen cómo se estima o cuantifica la incertidumbre de una medición. Por lo general, se presentan como intervalos de confianza que contienen el valor verdadero con una probabilidad específica. Estas expresiones pueden incluir una variedad de componentes de incertidumbre, como la incertidumbre estándar, las contribuciones de error de las fuentes identificadas y los grados de libertad asociados con las mediciones.

La gestión adecuada de la incertidumbre y la comprensión de las causas de error son esenciales para obtener mediciones precisas y confiables en una variedad de campos, como la ciencia, la ingeniería, la fabricación y la metrología. La identificación y corrección de errores, así como el cálculo y la expresión adecuada de la incertidumbre, son prácticas fundamentales para garantizar mediciones de alta calidad.

Cálculo del error en la medición

Para calcular el error en una medición, primero se necesita tener dos valores: el valor medido y el valor verdadero o valor de referencia. El error se calcula como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero para lo cual en una medición se debe contar con esta información.

Ejemplo:

Se desea medir la longitud de un objeto y obtienes una medida de 20.5 cm utilizando un calibrador. Luego, con pruebas que la longitud real del objeto es de 20.0 cm (valor verdadero).

Se calcula el error de la medición de la siguiente manera:

$$\text{Error} = \text{Valor medido} - \text{Valor Real}$$

$$\text{Error} = 20.5 \text{ cm} - 20.0 \text{ cm}$$

$$\text{Error} = 0.5 \text{ cm}$$

En este caso, el error de la medición es de 0.5 cm. Esto significa que tu medición fue 0.5 cm más grande que el valor verdadero. Puedes expresar este resultado como "+0.5 cm" para indicar que la medición está por encima del valor verdadero. Si la medición hubiera sido más pequeña que el valor verdadero, el error se expresaría como "-0.5 cm".

El cálculo del error es fundamental para evaluar la precisión de una medición y determinar cuán cerca o lejos está el valor medido del valor verdadero.

En aplicaciones de mayor precisión, es importante corregir y minimizar los errores sistemáticos, ya que estos pueden afectar significativamente la confiabilidad de las mediciones.



A.

CUESTIONARIO

CAPÍTULO IV



Cuestionario Unidad IV

¿Qué se entiende por error sistemático en las mediciones?

- A. Desviaciones al azar alrededor del valor verdadero.
- B. Desviaciones consistentes en una dirección específica.
- C. Desviaciones entre el valor medido y el valor verdadero.
- D. Desviaciones causadas por errores humanos.

¿Qué se puede hacer para reducir la incertidumbre de medida?

- A. Aumentar la precisión del instrumento.
- B. Mejorar las condiciones ambientales.
- C. Todas las anteriores.
- D. Entrenar a los operadores.

¿Qué se entiende por error aleatorio en las mediciones?

- A. Desviaciones causadas por errores humanos.
- B. Desviaciones entre el valor medido y el valor verdadero.
- C. Desviaciones consistentes en una dirección específica.
- D. Desviaciones al azar alrededor del valor verdadero.

¿Qué es la incertidumbre de medida?

- A. La precisión y repetibilidad del equipo de medición.
- B. La variación permitida en la magnitud según las tolerancias y especificaciones.
- C. La diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una magnitud.
- D. Una estimación de cuán cerca se está del valor verdadero de una magnitud.

¿Qué se puede hacer para corregir los errores sistemáticos en las mediciones?

- A. Seleccionar equipos adecuados.
- B. Capacitar a los operadores.
- C. Documentar procedimientos de medición.
- D. Realizar una calibración adecuada.

¿Cómo se expresa la incertidumbre de medida?

- A. Como un valor absoluto.
- B. Como una desviación estándar.
- C. Como un porcentaje del valor verdadero.
- D. Como un intervalo de valores.



¿Qué se puede hacer para minimizar los errores sistemáticos en las mediciones?

- A. Documentar procedimientos de medición.
- B. Todas las anteriores.
- C. Capacitar a los operadores.
- D. Seleccionar equipos adecuados.

¿Qué se entiende por causas de error en las mediciones?

- A. Todas las anteriores.
- B. Errores sistemáticos y aleatorios.
- C. Desviaciones entre el valor medido y el valor verdadero.
- D. Factores que contribuyen a la incertidumbre de medición.

¿Qué se puede hacer para expresar la incertidumbre de medición?

- A. Como un porcentaje del valor verdadero.
- B. Como una desviación estándar.
- C. Como un intervalo de valores.
- D. Como un valor absoluto.

¿Qué se entiende por expresiones de medición?

- A. La precisión y repetibilidad del equipo de medición.
- B. La incertidumbre de medición y el error de medición.
- C. La habilidad y consistencia del operador.
- D. La variación permitida en la dimensión según las tolerancias y especificaciones.

¿Qué tipo de errores pueden ser positivos o negativos?

- A. Errores sistemáticos.
- B. Errores aleatorios.
- C. Ninguno de los anteriores.
- D. Ambos tipos de errores.

¿Qué es la incertidumbre de medición?

- A. La diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una dimensión.
- B. La variación permitida en la dimensión según las tolerancias y especificaciones.
- C. La falta de conocimiento completo y exacto sobre el valor verdadero de la dimensión.
- D. La precisión y repetibilidad del equipo de medición.



05

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

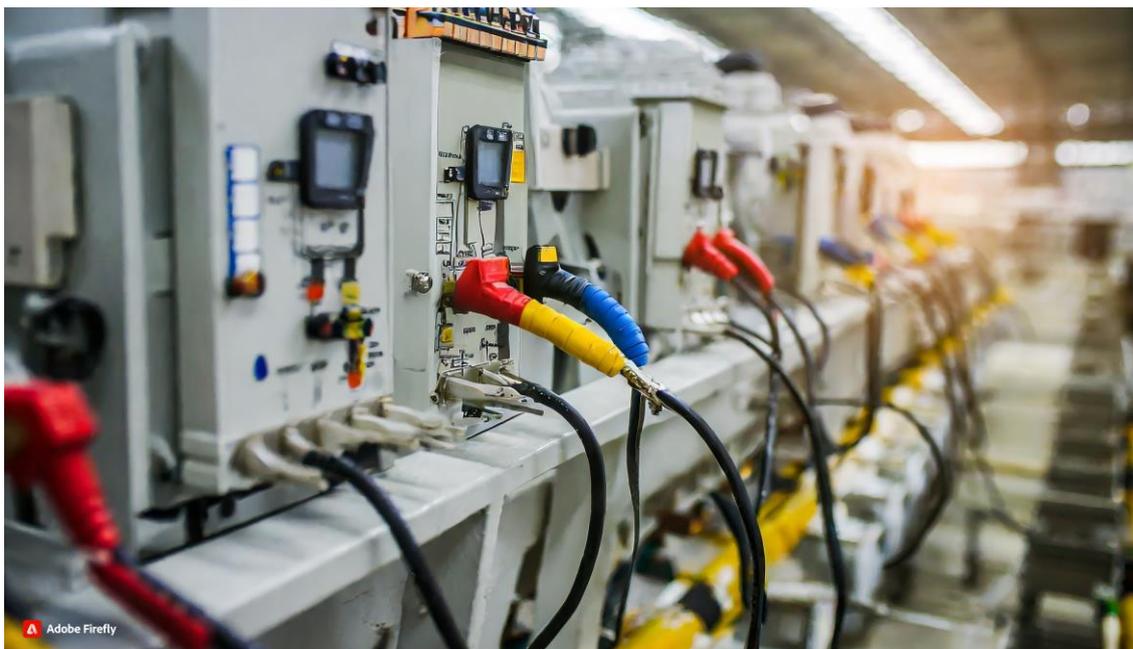


Figura 22 Industria 4.0 e Instrumentación

Los instrumentos de medición son herramientas utilizadas para determinar, cuantificar o registrar valores de una magnitud física. Existen una amplia variedad de instrumentos de medición, cada uno diseñado para medir una magnitud específica con diferentes niveles de precisión y aplicaciones.

Tipos de instrumentos

Existen una amplia variedad de instrumentos de medición diseñados para medir diferentes magnitudes físicas.

Tabla 2 Tipos de Instrumentos

Instrumentos de Longitud
Instrumentos de Tiempo
Instrumentos de Temperatura
Instrumentos de Masa
Instrumentos de Volumen
Instrumentos de Presión
Instrumentos de Velocidad
Instrumentos de Corriente Eléctrica
Instrumentos de Voltaje
Instrumentos de Frecuencia
Instrumentos de Ángulo
Instrumentos de Humedad

Instrumentos de Nivel
Instrumentos de Sonido
Instrumentos Ópticos
Instrumentos de Aceleración
Instrumentos de Dureza
Instrumentos de Fuerza
Instrumentos de Desplazamiento Lineal
Instrumentos de Geometría

De los cuales se analizarán los más utilizados en el área, mecánica y eléctrica, enfocado al área electromecánica.

Calibrador Pie de Rey (Vernier)

También conocido como calibrador vernier, es un instrumento de medición de alta



precisión utilizado para medir dimensiones con una gran precisión. Existen versiones del calibrador de pie de rey que pueden mostrar las mediciones tanto en el sistema métrico (SI) como en el sistema inglés o sistema americano de unidades.



Figura 23 Calibrador Pie de Rey
Fuente: Ganagro.ec
<https://ganagro.ec/producto/calibrador-vernier-digital-6/>

Sistema Inglés o Sistema Americano

En el sistema inglés o sistema americano, las unidades de medida más comunes son pulgadas y fracciones de pulgadas. El calibrador de pie de rey en este sistema suele tener una escala principal en pulgadas y una escala vernier en fracciones de pulgadas, como 1/16, 1/32 o 1/64 de pulgada, dependiendo de la precisión del instrumento.

Para medir en pulgadas y fracciones de pulgadas, se utiliza la escala principal para medir las pulgadas enteras y luego se

emplea la escala vernier para medir la fracción de pulgada con mayor precisión.

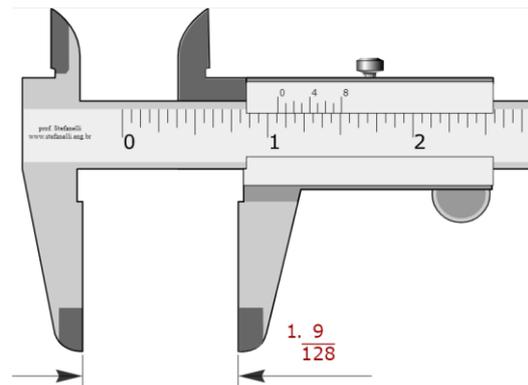


Figura 24 Vernier Medición en Pulgadas
Fuente: Propia

Sistema Métrico (SI)

En el sistema métrico (SI), las unidades de medida comunes son milímetros (mm) y centímetros (cm). El calibrador de pie de rey también puede tener una escala principal en milímetros y una escala vernier en décimas o centésimas de milímetro, lo que permite mediciones muy precisas.

Para medir en el sistema métrico, se utiliza la escala principal para medir los milímetros enteros y luego se utiliza la escala vernier para medir las fracciones de milímetro con mayor precisión.

En ambos sistemas, el principio de funcionamiento del calibrador de pie de rey es el mismo: se utilizan dos escalas, una fija (la escala principal) y una móvil (el vernier) que se desliza a lo largo de la escala principal. Al alinear las marcas en ambas escalas,



puedes obtener una medición precisa de la longitud del objeto que estás midiendo.

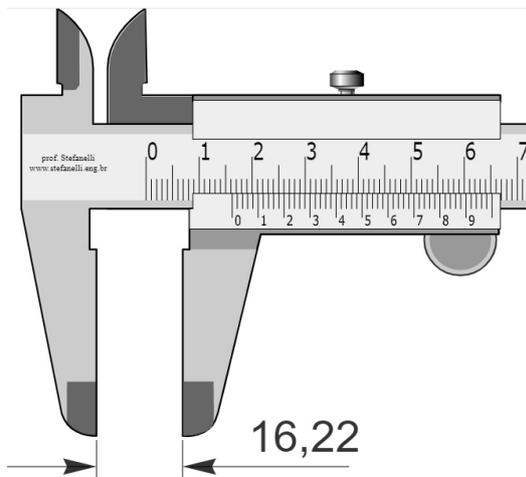


Figura 25 Vernier en Milímetros SI
Fuente: Propia

Si se necesita realizar mediciones en ambos sistemas, es importante verificar que el calibrador de pie de rey que estás utilizando tenga escalas en ambos sistemas, o puedes realizar conversiones de unidades para obtener los resultados deseados.

Micrómetro

El micrómetro (también conocido como tornillo micrométrico) es un instrumento de medición de alta precisión utilizado para medir longitudes con gran exactitud. Aunque el sistema métrico es el más común en la mayoría de los países, hay micrómetros disponibles con escalas para medir en pulgadas y fracciones de pulgada, lo que los hace compatibles con el sistema inglés o sistema americano.

A continuación, te explico cómo funciona el micrómetro en ambos sistemas de unidades:

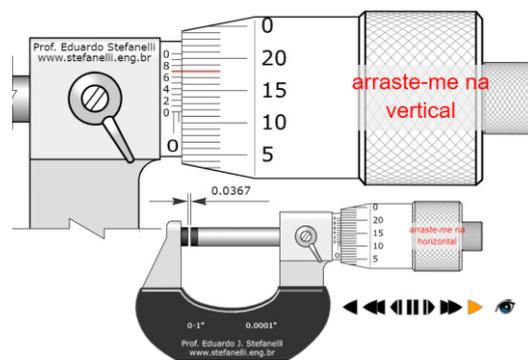


Figura 26 Micrómetro en Pulgadas
Fuente: Propia

Sistema Inglés o Sistema Americano

En el sistema inglés o sistema americano, el micrómetro tiene una escala principal en pulgadas y una escala micrométrica en fracciones de pulgada. Las divisiones en la escala micrométrica suelen ser de 0.001 pulgadas.

Para medir en pulgadas y fracciones de pulgada, se utiliza la escala principal para medir las pulgadas enteras y se usa la escala micrométrica para medir las fracciones de pulgada con alta precisión.

Sistema Métrico (SI)

En el sistema métrico, el micrómetro tiene una escala principal en milímetros (mm) y una escala micrométrica que permite mediciones hasta centésimas de milímetro (0.01 mm).



Para medir en el sistema métrico, se utiliza la escala principal para medir los milímetros enteros y se usa la escala micrométrica para medir fracciones de milímetro con gran precisión.

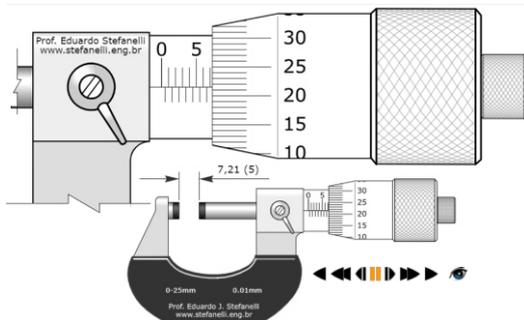


Figura 27 Micrómetro en milímetros
Fuente: Propia

El funcionamiento básico del micrómetro es el mismo en ambos sistemas: se utiliza un tornillo micrométrico para ajustar la distancia entre las caras de medición y se leen las mediciones en las escalas principales y micrométricas.

Cuando se trabaja con un micrómetro que tiene escalas en ambos sistemas, es importante verificar en qué unidades se encuentran las mediciones antes de realizar la lectura. Si necesitas convertir las mediciones entre el sistema inglés y el sistema métrico, puedes utilizar las tasas de conversión adecuadas para obtener los resultados deseados.

Goniómetro

Es un instrumento de medición utilizado para medir ángulos en grados o radianes. Se utiliza en

diversas aplicaciones, como la geometría, la trigonometría, la física, la ingeniería, la medicina y otras disciplinas donde se requiere la medición precisa de ángulos. El goniómetro puede venir en varias formas y tamaños, pero en su forma más básica, consiste en una regla con una escala angular y un brazo móvil con una escala o puntero que se utiliza para medir el ángulo entre dos líneas o superficies.



Figura 11 Goniómetro
Fuente : Fleming
<https://www.fleming-sa.com/producto/goniometro-multiple-v-m-waitch-plastico-360/>

Medición de ángulos en geometría y trigonometría: Los goniómetros se utilizan comúnmente en matemáticas para medir y estudiar ángulos. Por ejemplo, puedes usar un goniómetro para medir los ángulos internos o externos de un triángulo, cuadrilátero u otras figuras geométricas.



Aplicaciones en ingeniería: Los ingenieros utilizan goniómetros para medir ángulos en maquinaria, estructuras y componentes mecánicos. Esto es esencial para garantizar que las partes se ensamblen correctamente y funcionen según las especificaciones.

Medición de ángulos en física: En física, se utilizan goniómetros para medir los ángulos en experimentos y observaciones, lo que permite calcular fuerzas, velocidades angulares y otros parámetros físicos.

Medicina y biomecánica: Los profesionales de la medicina y la biomecánica utilizan goniómetros para medir los ángulos de articulaciones en el cuerpo humano. Esto es fundamental en la evaluación de la movilidad y la función de las articulaciones en pacientes.

Aplicaciones en topografía y cartografía: Los topógrafos y cartógrafos utilizan goniómetros para medir los ángulos en la medición de tierras y la creación de mapas topográficos.

Industria aeroespacial: En la industria aeroespacial, los goniómetros se utilizan para medir ángulos en el diseño y fabricación de componentes aeroespaciales, así como para la navegación y la orientación.

El uso del goniómetro puede variar según la aplicación, pero

en general, su función principal es medir ángulos con precisión. El instrumento es particularmente útil cuando se requiere una alta precisión en la medición de ángulos, y hay goniómetros especializados diseñados para aplicaciones específicas que permiten mediciones extremadamente precisas.

Multímetro

Ya sean analógicos o digitales, son herramientas esenciales utilizadas para medir diversas magnitudes eléctricas, como voltaje, corriente, resistencia y a menudo ofrecen funciones adicionales como la medición de continuidad y capacidad.



Figura 12 Instrumento de Mediciones Eléctricas
Fuente: Propia

Multímetro Analógico:

Indicación Analógica: El multímetro analógico muestra las mediciones en una escala graduada y una aguja móvil que



se desplaza a lo largo de la escala. La posición de la aguja en la escala proporciona la lectura de la medición.

Sensibilidad Visual: Los multímetros analógicos son apreciados por su capacidad para mostrar cambios graduales en una medición y permiten a los usuarios ver cómo se mueve la aguja en tiempo real.

Respuesta más lenta: Los multímetros analógicos tienden a tener una respuesta más lenta en comparación con los digitales. La aguja puede fluctuar antes de estabilizarse.

Escalas Cambiantes: Para medir diferentes magnitudes, debes cambiar las escalas manualmente, lo que puede ser menos conveniente que los multímetros digitales.

Menos precisos: Los multímetros analógicos son generalmente menos precisos que sus contrapartes digitales y son más propensos a errores de lectura.

Multímetro Digital:

Pantalla Digital: Los multímetros digitales muestran las mediciones en una pantalla numérica. La lectura es más precisa y fácil de leer en comparación con las agujas de los multímetros analógicos.

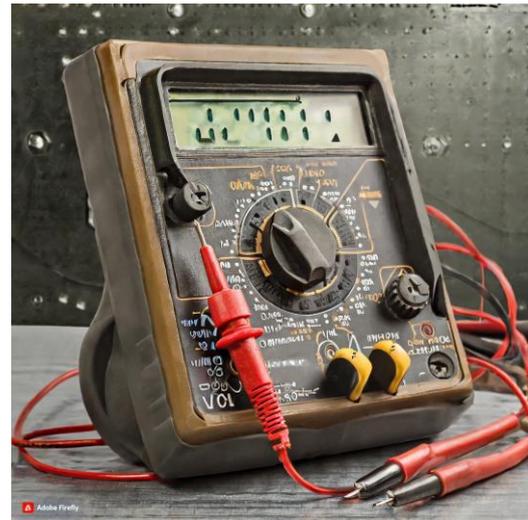


Figure 13 Multímetro digital
Fuente: Propia

Respuesta Rápida: Los multímetros digitales ofrecen respuestas más rápidas y estables, lo que es beneficioso para mediciones en tiempo real.

Múltiples Funciones: Los multímetros digitales suelen tener una variedad de funciones, como medición de capacidad, medición de temperatura y detección de continuidad, que son fáciles de cambiar a través de la perilla de selección.

Mayor Precisión: Los multímetros digitales son conocidos por su alta precisión y capacidad para mostrar mediciones con varios dígitos significativos.

Auto Rango: Muchos multímetros digitales ofrecen la función de rango automático, lo que significa que seleccionan automáticamente la escala adecuada para la medición.



En resumen la elección entre un multímetro analógico y uno digital depende de la necesidad específica del técnico. Los multímetros digitales suelen ser preferidos en situaciones donde se requiere alta precisión, rápida respuesta y facilidad de lectura. Los multímetros analógicos todavía pueden ser útiles para algunas personas debido a su capacidad de mostrar cambios graduales y su sensibilidad visual, pero son menos precisos en comparación con los multímetros digitales.

Osciloscopio

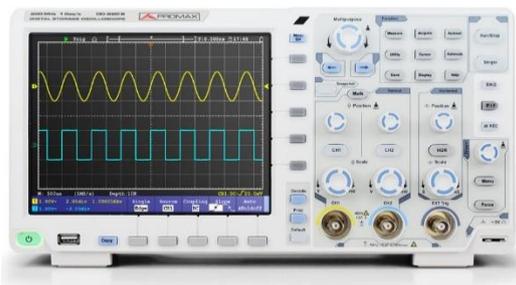


Figura 31 Instrumento Osciloscopio

Fuente:

<https://www.promax.es/esp/productos/osciloscopios/od-620b/osciloscopio-digital-200-mhz-gama-profesional/>

Un osciloscopio es un instrumento de medición que permite observar señales eléctricas en forma de ondas y analizar cómo varían en el tiempo. Existen diferentes tipos de osciloscopios según sus características y aplicaciones:

Osciloscopios analógicos: Son los osciloscopios tradicionales que muestran la señal directamente en una pantalla de rayos catódicos (CRT). Estos dispositivos son rápidos en la representación de señales continuas y son útiles para analizar señales sencillas o repetitivas. Sin embargo, tienen limitaciones en cuanto a la capacidad de almacenamiento y análisis detallado.

Aplicaciones: Se utilizan principalmente en tareas básicas de diagnóstico de señales en equipos electrónicos, audio, y circuitos de radiofrecuencia.

Osciloscopios digitales de almacenamiento (DSO): Capturan la señal eléctrica, la digitalizan y la almacenan para su análisis posterior. Estos osciloscopios permiten analizar señales de forma más precisa, con la capacidad de hacer zoom, almacenar, y comparar formas de onda. Además, permiten la medición de señales no repetitivas.

Aplicaciones: Son ampliamente utilizados en diseño y pruebas de circuitos electrónicos, telecomunicaciones, investigación científica, y mantenimiento de equipos.



Osciloscopios de muestreo: Son especializados para medir señales de alta velocidad y frecuencia. Funcionan muestreando las señales de manera intermitente y reconstruyendo la forma de onda para su análisis. Son útiles en situaciones donde se requiere medir señales muy rápidas y de gran precisión. Se utilizan en telecomunicaciones, microondas, análisis de señales de alta velocidad, y sistemas de radar.

Osciloscopios portátiles: Son versiones compactas y portátiles de los osciloscopios digitales. Tienen una menor capacidad de procesamiento que los de laboratorio, pero son ideales para trabajos de campo y diagnóstico rápido. Algunos modelos incluyen baterías recargables para su uso en entornos sin acceso a energía eléctrica. Se usan en diagnóstico de sistemas eléctricos automotrices, mantenimiento de maquinaria industrial, y reparaciones de campo.

Osciloscopios de señal mixta (MSO): Combinan las funciones de un osciloscopio digital con la capacidad de capturar y analizar señales digitales. Estos dispositivos permiten la visualización simultánea de señales analógicas y digitales, facilitando el análisis de sistemas

embebidos y circuitos digitales. Se utilizan en el desarrollo de sistemas embebidos, pruebas de microcontroladores, y análisis de señales digitales y analógicas combinadas.

En resumen, Los osciloscopios son herramientas fundamentales para la medición y análisis de señales eléctricas en diferentes aplicaciones industriales, de investigación y desarrollo tecnológico. Cada tipo de osciloscopio tiene ventajas específicas dependiendo de la frecuencia, tipo de señal, y el entorno en el que se utiliza, desde diagnósticos básicos hasta la investigación de señales de alta velocidad y sistemas complejos.

Pinza Amperimétrica



Figura 32 Instrumento Pinza Amperimétrica
Fuente:
<https://electricoindustrial.com.ec/producto/pinzas-amperimetricas-digitales-camsco/>

Una pinza amperimétrica es un instrumento de medición utilizado para medir la corriente eléctrica



que fluye a través de un conductor, sin necesidad de interrumpir el circuito. Funciona midiendo el campo magnético generado por la corriente eléctrica en el conductor. Existen varios tipos de pinzas amperimétricas, cada una con aplicaciones específicas según las necesidades del usuario:

Pinza amperimétrica analógica:

Este tipo de pinza amperimétrica utiliza un medidor analógico con una aguja que indica la corriente medida en una escala graduada. Aunque las versiones analógicas son menos comunes hoy en día debido a la preferencia por los modelos digitales, siguen siendo útiles en situaciones donde se necesitan lecturas simples y rápidas sin necesidad de procesamiento digital. Se utilizan principalmente en tareas básicas de diagnóstico eléctrico en sistemas de corriente alterna (CA), como en instalaciones residenciales o industriales sencillas.

Pinza amperimétrica digital:

La pinza digital ofrece lecturas más precisas y fáciles de interpretar mediante una pantalla digital. Estas pinzas pueden medir corriente alterna (CA) y, en muchos casos, corriente continua (CC). Además, algunas incluyen funciones adicionales como la medición de voltaje, resistencia y

capacitancia, lo que las convierte en herramientas multifuncionales. Se utilizan en el mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos industriales, comerciales y residenciales, así como en automóviles y aplicaciones de energía renovable.

Pinza amperimétrica de efecto Hall:

Utilizan el efecto Hall para medir tanto corriente alterna como corriente continua. El efecto Hall es un fenómeno que permite detectar el flujo de corriente en un conductor sin necesidad de contacto directo, midiendo el campo magnético que genera la corriente. Estas pinzas son útiles cuando se necesita medir corrientes en sistemas de alta potencia o de corriente continua. Son ideales para la medición de corrientes continuas en sistemas fotovoltaicos, baterías de vehículos eléctricos, y otras aplicaciones de alta potencia en corriente continua.

Pinza amperimétrica flexible (Rogowski):

Estas pinzas utilizan una sonda flexible que rodea el conductor y permite medir la corriente en situaciones donde el espacio es limitado o los cables son de gran tamaño. Las sondas flexibles son muy útiles en instalaciones industriales donde los conductores pueden ser



grandes y difíciles de alcanzar. Se utilizan en el mantenimiento de equipos industriales de gran tamaño, cuadros de distribución eléctrica y sistemas de energía que requieren mediciones en espacios reducidos o en cables grandes.

Pinza amperimétrica con multímetro integrado: Estas pinzas combinan las funciones de un multímetro digital con la capacidad de medir corriente mediante la pinza. Además de medir corriente, pueden realizar mediciones de voltaje, resistencia, continuidad, y otras variables eléctricas, lo que las convierte en una herramienta muy versátil para técnicos y electricistas. Son utilizadas en una amplia variedad de tareas de mantenimiento eléctrico, en sistemas industriales, comerciales y residenciales, y en entornos donde se necesita una herramienta multifuncional para mediciones diversas.

Finalmente, las pinzas amperimétricas son instrumentos esenciales en el mantenimiento y diagnóstico de sistemas eléctricos, ya que permiten medir corrientes sin interrumpir el circuito. Los diferentes tipos de pinzas, desde las analógicas hasta las de efecto Hall y las flexibles, cubren una amplia gama de aplicaciones en

campos como la electricidad industrial, la automoción, las energías renovables y los sistemas de alta potencia, garantizando mediciones precisas y seguras.

Telurómetro



Figura 33 Instrumento Telurómetro

Fuente:

<https://hcinstrumentosindustriales.com/producto/telurometro-uni-t-ut521/>

Un telurómetro es un dispositivo utilizado para medir la resistencia de tierra o resistividad del suelo, fundamental en sistemas eléctricos para garantizar una conexión adecuada a tierra. La correcta instalación de una toma de tierra es crucial para la seguridad de las instalaciones eléctricas, protegiendo tanto a las personas como a los equipos de fallos eléctricos. Existen diferentes tipos de telurómetros, cada uno diseñado para aplicaciones y entornos específicos:

**Telurómetro básico (de 3 puntos):**

Este tipo de telurómetro utiliza el método de caída de potencial para medir la resistencia de la tierra. Funciona insertando tres electrodos en el suelo: uno para el electrodo de tierra principal y dos para sondas auxiliares. El dispositivo mide la caída de voltaje entre los electrodos y calcula la resistencia a tierra. Este es el método más tradicional y preciso para medir la resistencia de tierra en instalaciones de baja y media tensión. Es ideal para instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales, y es utilizado principalmente por electricistas y técnicos en la verificación de la calidad de las tomas de tierra.

Telurómetro digital: Similar al telurómetro básico, pero con una interfaz digital que facilita la lectura de resultados y añade mayor precisión en la medición. Estos dispositivos suelen ser más compactos y ofrecen características adicionales como almacenamiento de datos y análisis automatizado, lo que los hace más convenientes para el uso diario y en entornos de trabajo exigentes. Se utilizan en instalaciones eléctricas complejas o en sistemas donde se necesita realizar múltiples mediciones rápidas y precisas, como en centros industriales o de telecomunicaciones.

Telurómetro de pinza: A diferencia del telurómetro de 3 puntos, el telurómetro de pinza mide la resistencia de tierra sin necesidad de desconectar el sistema de la instalación o usar electrodos auxiliares. Este dispositivo funciona midiendo la corriente inducida y la resistencia de la tierra mediante una pinza que se coloca alrededor del conductor de tierra. Aunque no siempre es tan preciso como los métodos de caída de potencial, es muy conveniente para pruebas rápidas y en lugares donde no es posible instalar electrodos de prueba. Es ideal para entornos industriales y comerciales donde las instalaciones ya están en funcionamiento y no se pueden interrumpir para realizar pruebas. También se utiliza en mantenimiento preventivo y diagnóstico de problemas en sistemas de puesta a tierra.

Telurómetro de 4 puntos (medición de resistividad del suelo): Este tipo de telurómetro se utiliza específicamente para medir la resistividad del suelo, lo cual es importante en el diseño y la instalación de sistemas de tierra. Utiliza cuatro electrodos colocados a distancias específicas para medir la resistencia del suelo, lo que permite evaluar si el terreno es adecuado para la instalación de sistemas de puesta a tierra. Se



utiliza principalmente en estudios geotécnicos, en la planificación de grandes proyectos industriales, subestaciones eléctricas y en instalaciones donde es crítico tener una conexión a tierra efectiva y segura.

Los telurómetros son dispositivos esenciales para medir la resistencia de tierra y garantizar la seguridad en instalaciones eléctricas. Los diferentes tipos, desde los básicos hasta los de pinza y de 4 puntos, permiten adaptarse a diversas necesidades, desde la verificación simple en sistemas residenciales hasta estudios complejos de resistividad del suelo en grandes proyectos industriales. La correcta medición de la resistencia a tierra es vital para prevenir fallos eléctricos, descargas y garantizar la protección de equipos y personas.



CUESTIONARIO

CAPÍTULO V



Cuestionario Unidad V

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la dureza?

- A. Durómetro
- B. Termómetro
- C. Micrómetro
- D. Calibrador de pie de rey

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la corriente eléctrica?

- A. Micrómetro
- B. Calibrador de pie de rey
- C. Termómetro
- D. Amperímetro

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la presión?

- A. Manómetro
- B. Termómetro
- C. Calibrador de pie de rey
- D. Micrómetro

¿En qué sistema de unidades se utiliza la escala principal del calibrador de pie de rey para medir los milímetros enteros?

- A. Sistema métrico
- B. Sistema binario
- C. Sistema inglés o americano
- D. Sistema decimal

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la masa?

- A. Micrómetro
- B. Calibrador de pie de rey
- C. Balanza
- D. Termómetro

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir el nivel?

- A. Nivel de burbuja
- B. Termómetro
- C. Micrómetro
- D. Calibrador de pie de rey



¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para determinar, cuantificar o registrar valores de una magnitud física?

- A. Regla
- B. Balanza
- C. Termómetro
- D. Micrómetro

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la fuerza?

- A. Calibrador de pie de rey
- B. Micrómetro
- C. Termómetro
- D. Dinamómetro

¿En qué sistema de unidades se utiliza la escala principal del micrómetro para medir las pulgadas enteras?

- A. Sistema decimal
- B. Sistema métrico
- C. Sistema inglés o americano
- D. Sistema binario

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la frecuencia?

- A. Calibrador de pie de rey
- B. Termómetro
- C. Frecuencímetro
- D. Micrómetro

¿Qué tipo de instrumento de medición se utiliza para medir la humedad?

- A. Termómetro
- B. Higrómetro
- C. Calibrador de pie de rey
- D. Micrómetro

¿En qué sistema de unidades se utiliza la escala principal del calibrador de pie de rey para medir las pulgadas enteras?

- A. Sistema métrico
- B. Sistema binario
- C. Sistema decimal
- D. Sistema inglés o americano



BIBLIOGRAFÍA



Piñeiro Moro M. (2017). Fundamentos de la Metrología Dimensional Editorial Marcombo Universitaria

Gonzales Carlos, Ramon Zeleny (2015). Metrología Editorial McGrawhill

Fleming Web (2021), Goniómetro <https://www.fleming-sa.com/producto/goniometro-multiple-v-m-waitch-plastico-360/>

Gangro.ec (2022), Calibrador Vernier Digital, <https://ganagro.ec/producto/calibrador-vernier-digital-6/>

Concepción, M. (2011). Sensores Automotrices Y Análisis de Ondas de Osciloscopio: (Estrategias de Diagnostico de Sistemas Modernos Automotrices). Createspace Independent Publishing Platform.

Edición, E. (2023). Metrología Automotriz: Tipos, SI, Instrumentos, calibradores, probadores, osciloscopio, símbolos. Independently Published.

Lardies, O. L., González Pilon, E., & Trull Domínguez, O. (2013). Verificación y Metrología. Libro de Prácticas. Lulu.com.

Luis, D. J. (2013). Metodología Para Minimizar La Incertidumbre de Calibradores En HPLC. Eae Editorial Academia Española.



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO PELILEO

ISBN: 978-9942-686-15-2



Educación gratuita y de calidad