



Universidad
Carlos III de Madrid

Capítulo 3: Metrología y Calidad

TEMA 6: Metrología. Sistemas y técnicas de medida para el control de calidad

TEMA 6: Metrología

Índice



1. **Metrología Dimensional**
 - 3.1 Introducción
 - 3.2 Fuentes de incertidumbre en metrología
 - 3.3 Instrumentos usados en metrología
4. **Sistema de Medición**
 - 4.1 Introducción
 - 4.2 Errores e incertidumbres
 - 4.3 Calibración de un instrumento: cálculo de incertidumbre
 - 4.4 Incertidumbre y tolerancias

TEMA 6: Metrología

Introducción



Metrología es la ciencia de la medida que permite expresar en números todas aquellas características del Universo que están relacionadas con alguna magnitud física.

Calibración, hace posible que las mediciones realizadas en distintos laboratorios sean equivalentes.

patrones

Medida: resultado de un proceso de medición que consiste en determinar cuántas veces cabe en la magnitud a medir, el **mesurando**, otra magnitud de la misma especie, elegida como unidad.

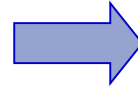
Medida = número (unidades) + incertidumbre

TEMA 6: Metrología

Introducción



Control de calidad de
productos y procesos

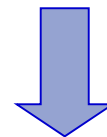


Realizar mediciones



Existe un Sistema de medición :
instrumentos, equipos,
procedimientos de medición...

Todo Sistema de medición presenta **errores** en las mediciones



Ninguna medición es exacta

El valor real del mensurando no coincide con el valor medido

METROLOGÍA:

Ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesas y medidas

- La finalidad básica de las mediciones dimensionales en la producción es garantizar y verificar la concordancia del producto fabricado con sus especificaciones de diseño.
- La necesidad actual de una mayor exactitud en las mediciones procede de la mayor precisión requerida en la fabricación, debido a nuevas exigencias:
 - Tolerancias de fabricación más estrechas.
 - Compactación y miniaturización de componentes y productos (microelectrónica).
 - Diseño compensado entre fuerzas y tensiones.
 - Mayor precisión operacional y mejores prestaciones en engranajes, rodillos, elementos de guiado y sellado, etc., lo que implica tolerancias de posición, y forma geométrica y de calidad superficial más estrechas.
 - Ensamblado automático a altas velocidades.
 - Intercambiabilidad general de piezas, componentes y repuestos.
 - Fiabilidad en el funcionamiento de máquinas y fabricaciones en general.

FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA METROLOGÍA DIMENSIONAL

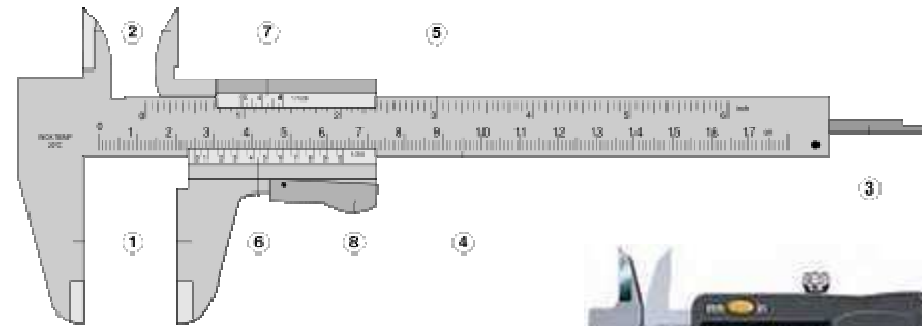
- En la práctica existen muchas posibles fuentes de incertidumbre en una medición, entre ellas:
 - Definición incompleta del mensurando.
 - Realización imperfecta de la definición del mensurando.
 - Muestra no representativa del mensurando.
 - Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales.
 - Lectura sesgada de instrumentos analógicos por parte del operador.
 - Resolución del instrumento de medida.
 - Valores inexactos de los patrones de medida y/o de los materiales de referencia.
 - Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de datos.
 - Aproximaciones y suposiciones establecidas en el método y procedimiento de medición.
 - Variaciones en la repetición de las observaciones del mensurando bajo condiciones aparentemente idénticas.

INSTRUMENTOS EN METROLOGÍA DIMENSIONAL

- **Los equipos utilizados en los laboratorios de Metrología Dimensional** son muy variados, atendiendo a las diversas **magnitudes a medir**, al **campo de medida**, a la **resolución**, a los **principios físicos** en los que se basan,.etc.
- Elección depende de la incertidumbre requerida en el proceso de medición, función a su vez de la tolerancia específica que deba garantizarse.
- La industria cuenta hoy día con instrumentos de medición que combinado con la informática han supuesto:
 - Automatización de los procesos de medición.
 - Eliminación de la influencia del operado.
 - Mayor repetibilidad y fiabilidad.

■ Calibres pie de rey

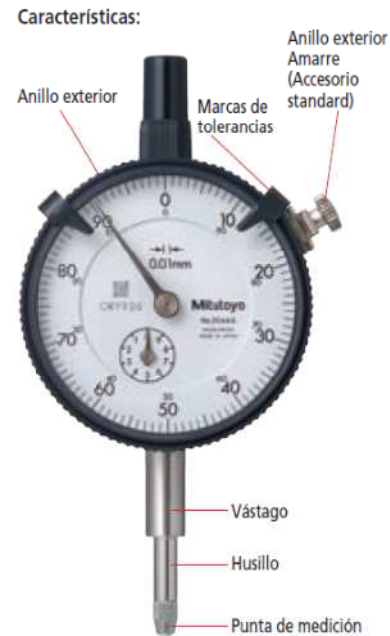
1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Sonda para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido.
8. Botón de deslizamiento y freno.



■ Micrómetro



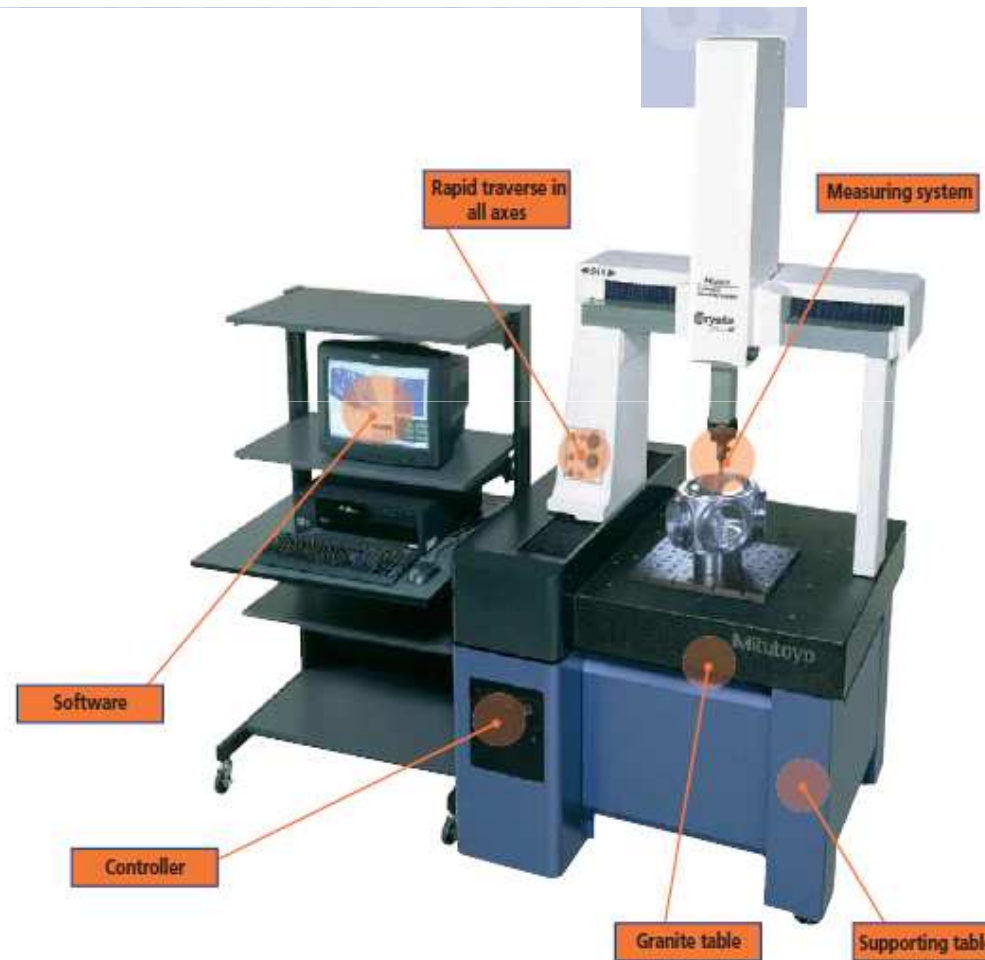
■ Reloj comparador



■ Rugosímetro

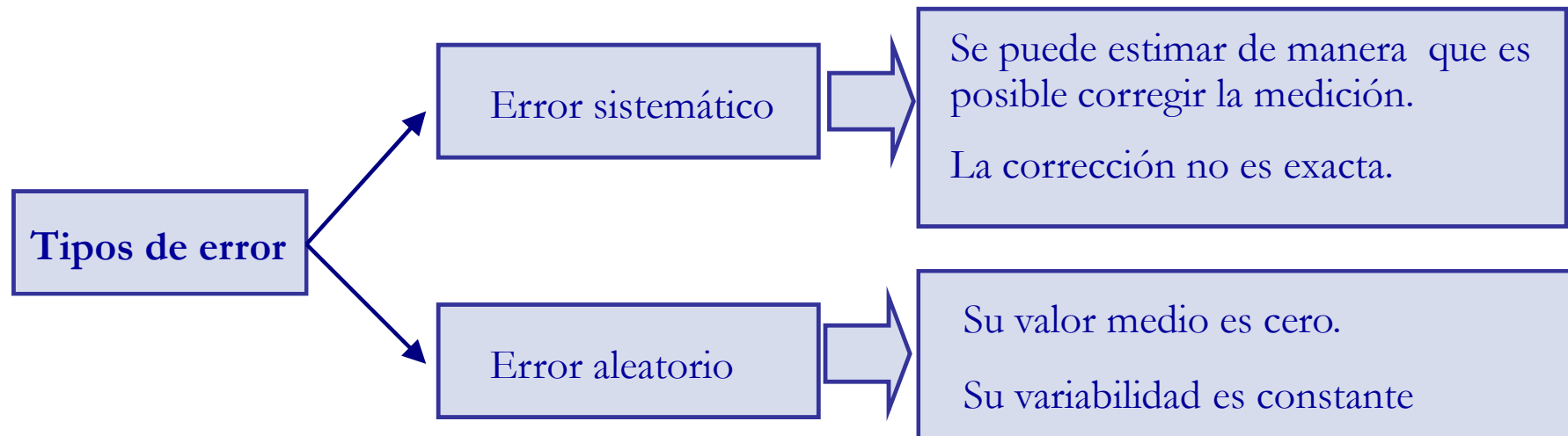


■ Máquina de coordenadas



TEMA 6: Metrología

Incertidumbre de una Medición



Existe siempre un error que no puede conocerse, pero se espera que tenga media cero.

$$E(\varepsilon) = 0$$

Su variabilidad si puede estimarse $\sigma^2(\varepsilon)$

TEMA 6: Metrología

Incertidumbre de una Medición



Error sistemático

$$\xi_s = \frac{\sum_{i=1}^{n \rightarrow \infty} (x_i - X)}{n} \quad \text{con} \quad X = \text{valor verdadero}$$

Es un valor constante que puede estimarse, de manera que el valor medido puede corregirse.

Sin embargo, la corrección no es exacta y siempre quedará un error que será similar al error aleatorio.

Los errores sistemáticos suelen ser pocos. Ejemplo: equipo mal calibrado, temperatura ambiental que influye de manera conocida en la medición, etc.

TEMA 6: Metrología

Incertidumbre de una Medición



Error aleatorio

$$\mathcal{E}_i = x_i - \bar{x} \quad \text{con} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

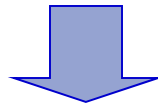
Es una variable aleatoria cuyo valor esperado es cero y cuya varianza es contante
Y puede estimarse.

TEMA 6: Metrología

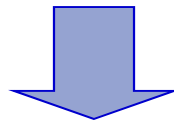
Incertidumbre de una Medición



No es posible conocer el valor exacto del Error de la medición



Es posible estimar su varianza o su desviación típica



Al medir una magnitud, el valor medido lleva asociado una “**Incertidumbre**”

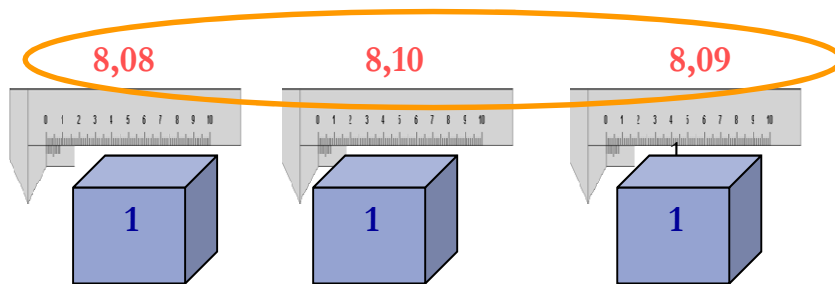
Incertidumbre ~~Error~~
 $\hat{\sigma}(\varepsilon)$ $\hat{\varepsilon}$

TEMA 6: Metrología

Incertidumbre de una Medición



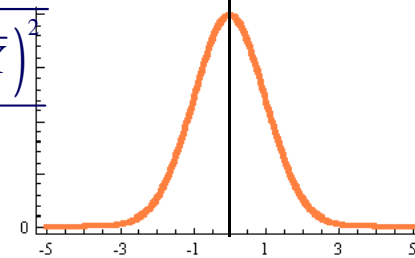
Ejemplo: Error debido a la repetibilidad (aleatorio)



“n” mediciones iguales : resultado x_i

La misma magnitud medida con el mismo instrumento en las mismas condiciones.

$$\hat{\sigma}(\varepsilon) = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{X}\right)^2}{n}}$$



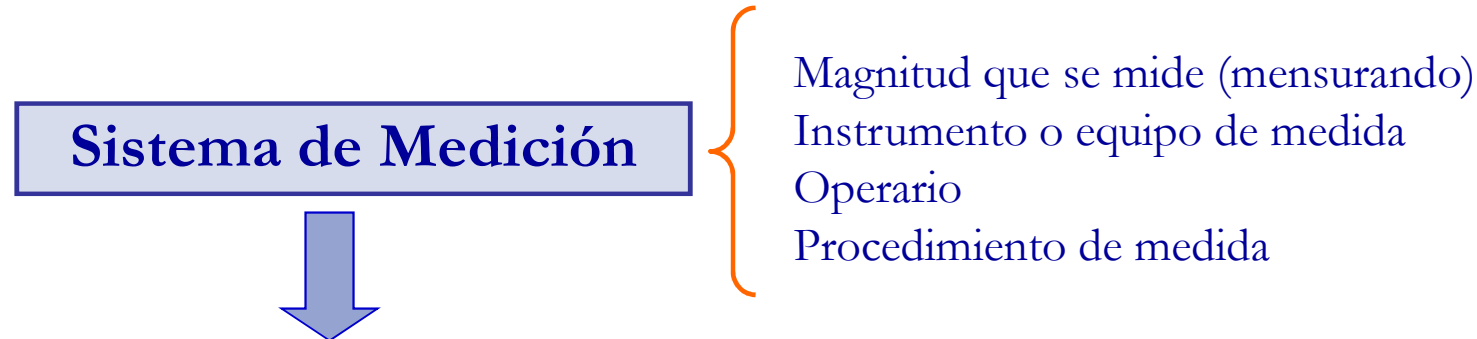
Valor de la medición

$\bar{X} \pm$ Incertidumbre de la medición

$\hat{\sigma}(\varepsilon)$

TEMA 6: Metrología

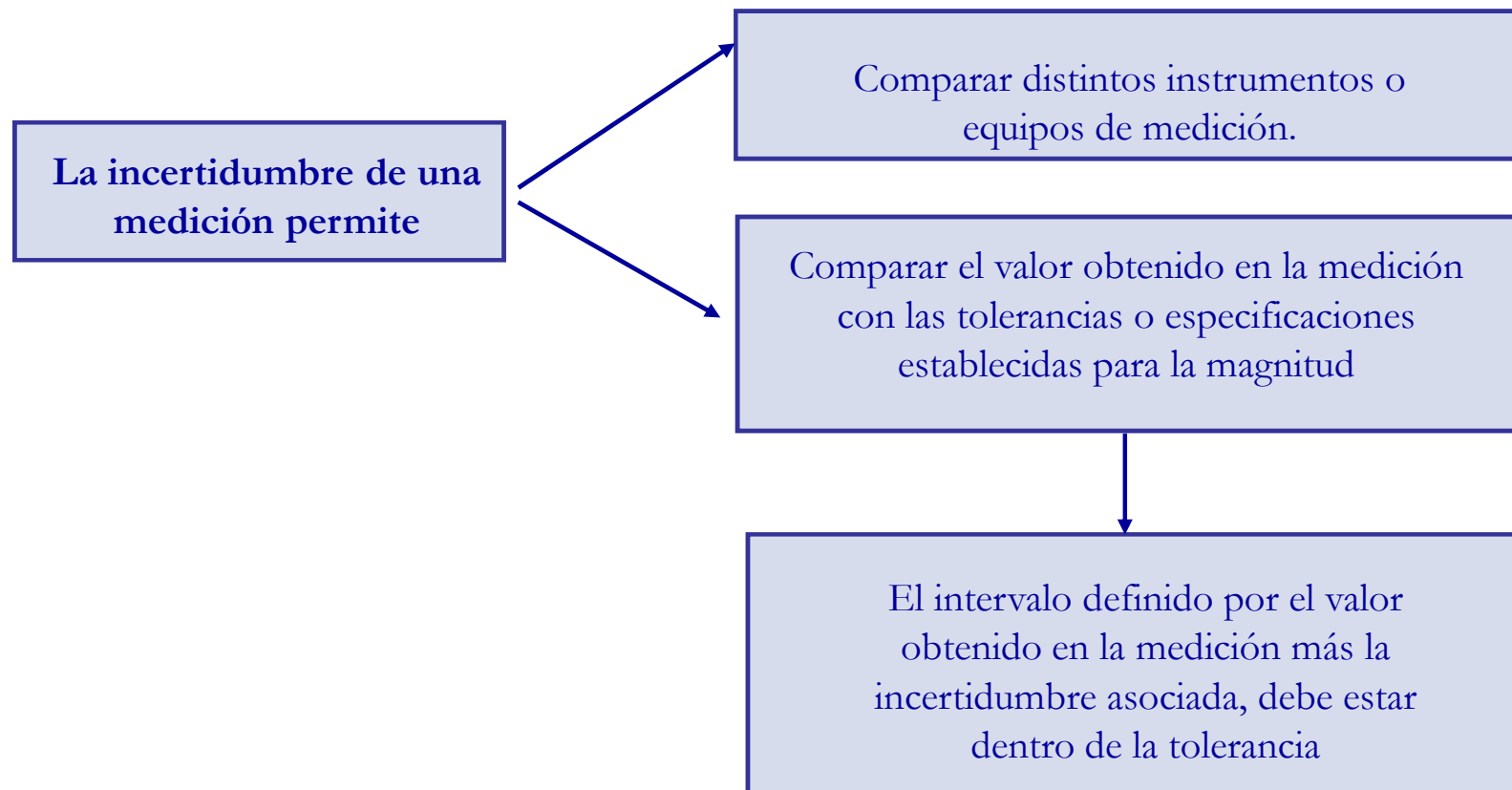
Incertidumbre de una Medición



Fuentes de incertidumbre:

- Definición inexacta del mensurando.
- Desconocimiento del efecto de condiciones ambientales sobre la medición.
- Resolución de instrumentos de medida.
- Valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia.
- Aproximaciones e hipótesis establecidas en el método y en el método de medida.

Calibración: conjunto de operaciones que permiten establecer, bajo determinadas condiciones la **incertidumbre** asociada a las mediciones realizadas con dicho instrumento.



Cálculo de la incertidumbre

Magnitud a medir: Variable Y

La medición de la magnitud Y depende de “n” magnitudes

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

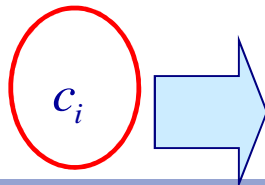
$$y = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n$$

$$u_c(y) = \sqrt{c_1^2 u^2(X_1) + c_2^2 u^2(X_2) + \dots}$$

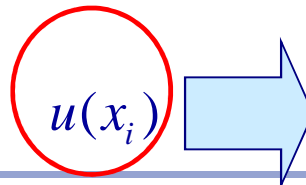
Incertidumbre Combinada de y

Caso más sencillo: combinación lineal ponderada de variables X_i independientes

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i)$$



Coefficientes de sensibilidad



Incertidumbre típica de x_i :
Desviación típica del error asociado a x_i

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA $U(y)$

Intervalo de incertidumbre alrededor del valor medido, en el cual puede esperarse encontrar el valor verdadero de la magnitud

$$U(y) = k \cdot u(y)$$

El valor k depende de la función de distribución de y .

Se distinguen dos casos:

- La función de la variable y puede asimilarse a **una normal**.
- Esta hipótesis **no es admisible**.

TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



RELACIÓN ENTRE INCERTIDUMBRE Y TOLERANCIA

Un sistema de medición utilizado para medir una **magnitud X**, debe tener una **incertidumbre** que cumpla:

$$\frac{6U}{T} \leq 0,1$$

T : Intervalo dentro del cual debe estar comprendida la magnitud que se mide.

U : Incertidumbre asociada a un sistema de medición.

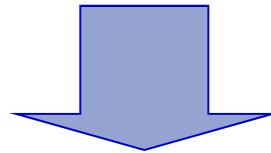
TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



EJEMPLO

- ❑ Se desea controlar el diámetro de un eje de **dimensión nominal 24 mm**.
- ❑ Las tolerancias para el diámetro son de $\pm 50 \mu\text{m}$.



Pieza **Buena** tendrá un diámetro comprendido: $24,95 \leq \phi \leq 25,05$

- ❑ Se realiza el control con tres instrumentos diferentes

1. **Micrómetro milesimal** con $U = 1 \mu\text{m}$ de incertidumbre

2. **Micrómetro centesimal** con $U = 1,5 \mu\text{m}$ de incertidumbre

3. **Calibre** con $U = 25 \mu\text{m}$ de incertidumbre

TEMA 6: Metrología

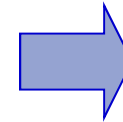
Incertidumbre y Tolerancia



$$\frac{6U}{T} \leq 0,1$$

1. **Micrómetro milesimal** con
U=1 μm de incertidumbre

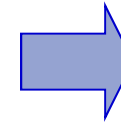
$$\frac{6U}{T} = \frac{6 \times 1}{100} = 0,06$$



*Si es adecuado para controlar
las piezas*

2. **Micrómetro centesimal** con
U=15 μm de incertidumbre

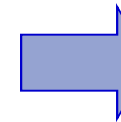
$$\frac{6U}{T} = \frac{6 \times 1,5}{100} = 0,09$$



*Si es adecuado para controlar
las piezas*

3. **Calibre** con **U=25 μm** de
incertidumbre

$$\frac{6U}{T} = \frac{6 \times 25}{100} = 1,5$$



*No es adecuado para
controlar las piezas*

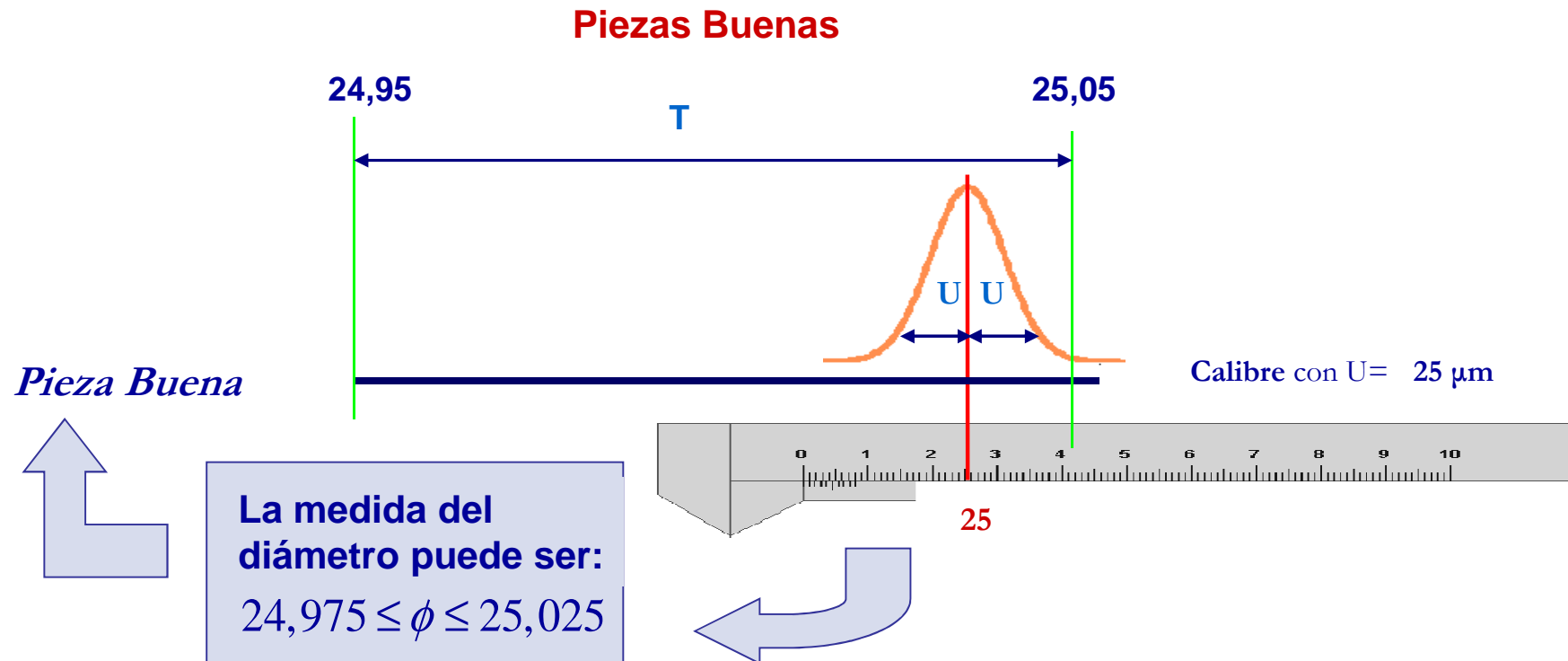
TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



TOLERANCIA DE VERIFICACIÓN (T_v)

Tolerancia “ efectiva” que debe cumplir la magnitud que se mide, dada la incertidumbre del sistema de medición

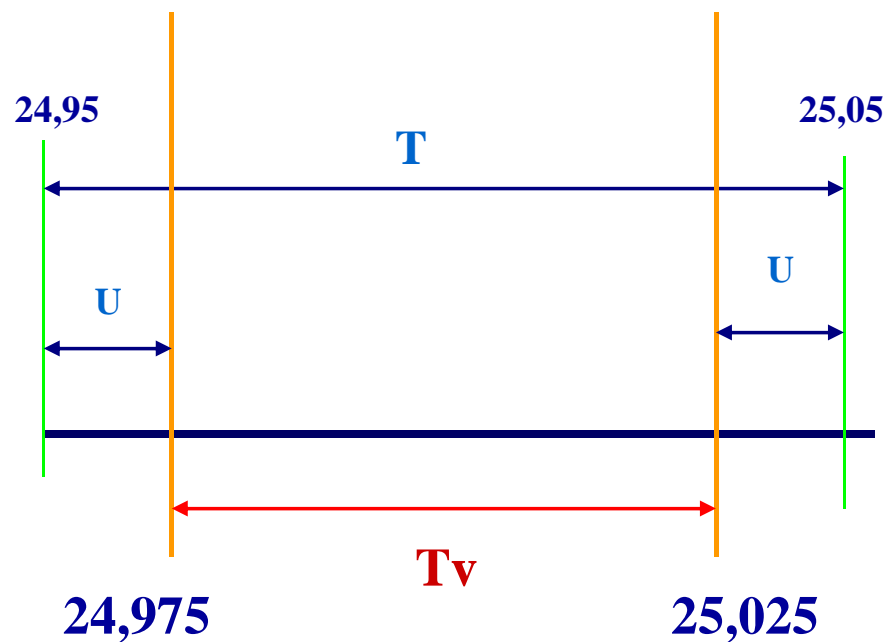


TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



La tolerancia de verificación debe ser entonces



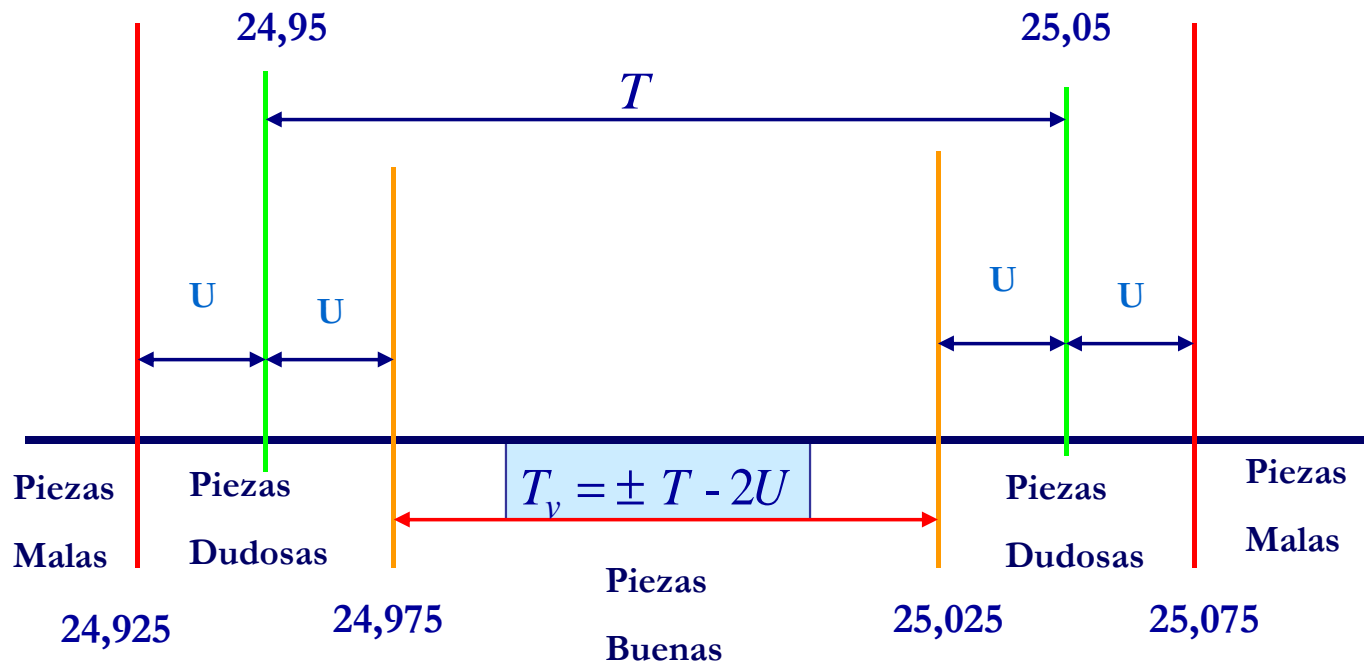
$$T_v = \pm 50 \mu m$$

TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



Clasificación de las piezas como buenas, dudosas o defectuosas según el sistema de medición



TEMA 6: Metrología

Incertidumbre y Tolerancia



La tolerancia de verificación correspondiente a cada caso será:

1. Micrómetro milesimal $T_V = \pm 45 = 90 \mu\text{m}$

2. Micrómetro centesimal $T_V = \pm 40 = 80 \mu\text{m}$

3. Calibre $T_V = \pm 25 = 50 \mu\text{m}$

TEMA 6: Metrología

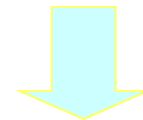
Análisis de un Sistema de Medición



Análisis de un instrumento de medida

■ Objetivos

- Entender las fuentes de variabilidad en las mediciones
- Determinar si el instrumento de medición es satisfactorio o no.



CALIDAD

La calidad de un instrumento de medición está relacionada con las **propiedades estadísticas** de sus mediciones realizadas bajo condiciones estables.

Su análisis implica el estudio de estas propiedades estadísticas.

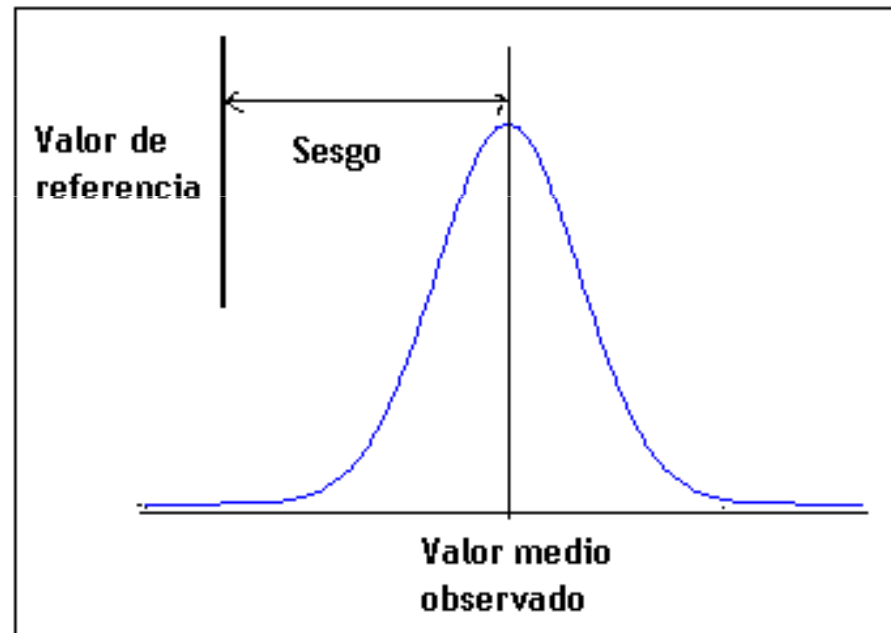
- PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
 - Sesgo
 - Linealidad
 - Reproducibilidad
 - Repetibilidad
 - Estabilidad

TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



Sesgo: Es la diferencia entre la media de las mediciones realizadas y el valor de referencia o patrón. A menudo, se le llama **exactitud**.

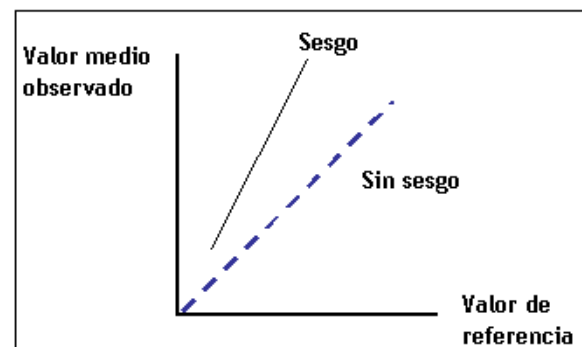
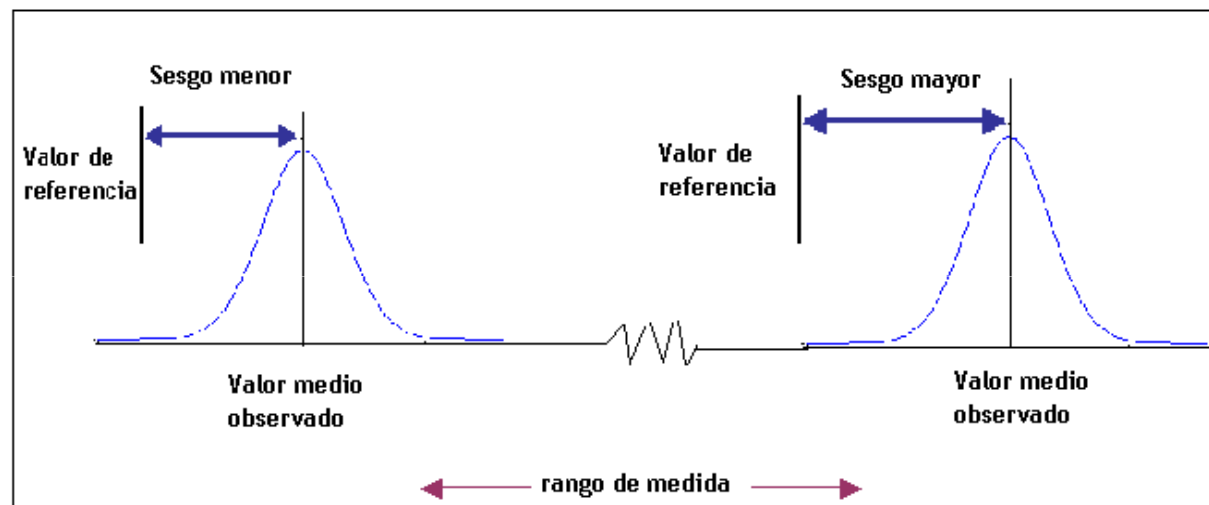


TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



- **Linealidad:** Si la variación del valor del sesgo a lo largo del rango de medición es lineal, existe linealidad.



Variación lineal del sesgo

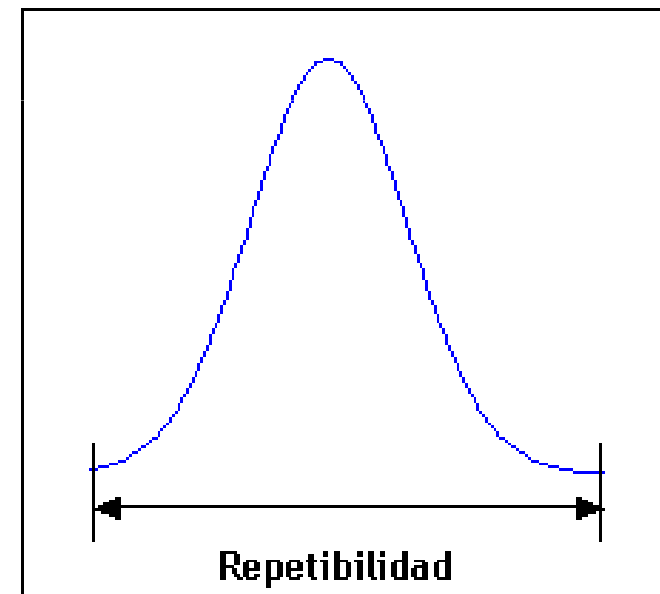
TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



■ *Repetibilidad:*

- Dadas n mediciones de un mensurando, realizadas bajo las mismas condiciones: el mismo instrumento de medida, el mismo operario, etc., se define repetibilidad como la variación de dichas mediciones alrededor de la media.
- La repetibilidad mide la **precisión**.

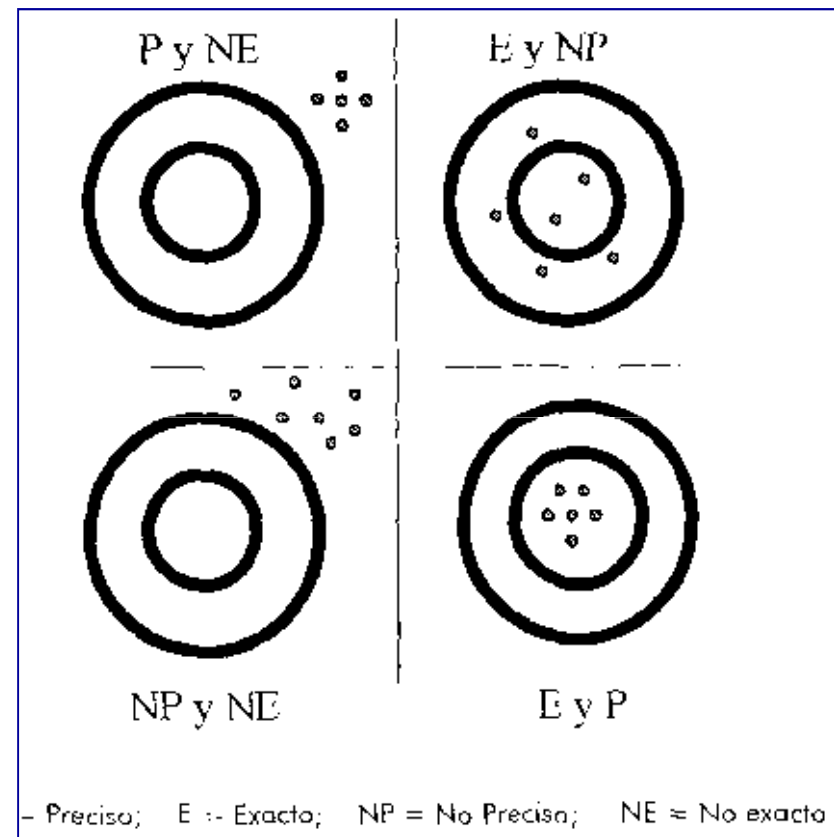


TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



Diferencia entre
exactitud y precisión
de un instrumento de
medición



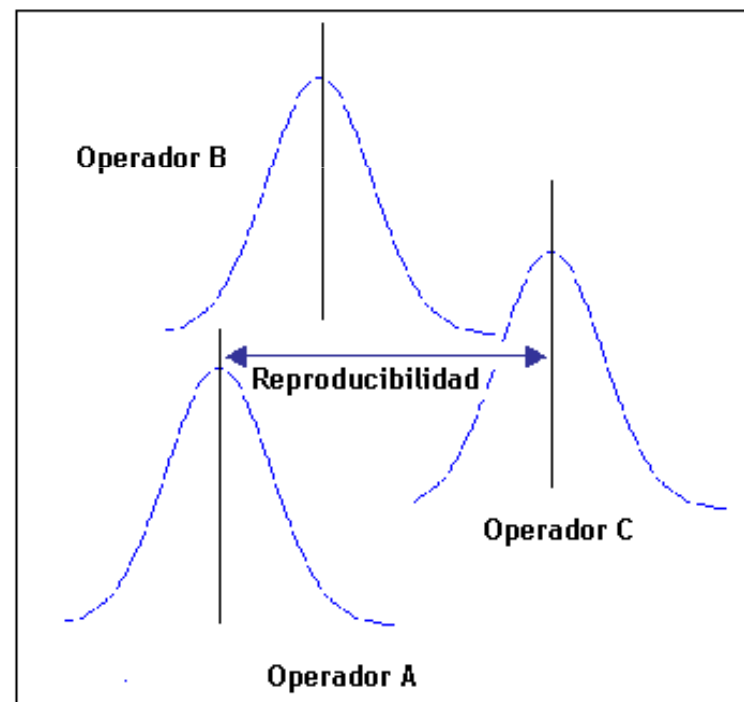
TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



■ *Reproducibilidad:*

Es la variación obtenida al medir la misma característica sobre la misma pieza, utilizando el mismo instrumento de medida pero variando alguna condición en la medición.



Ej. distintos operarios.

TEMA 6: Metrología

Análisis de un Sistema de Medición



■ *Estabilidad:*

Es la variación total en las medidas obtenidas con un instrumento de medida, a lo largo del tiempo

