



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO MECÁNICO

PRÁCTICA N° 4

***“METROLOGÍA Y CALIDAD.
CALIBRACIÓN DE UN PIE DE REY”***

INDICE

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA.....	3
2. CONOCIMIENTOS PREVIOS	3
2.1. IMPORTANCIA DE LA REALIZACIÓN DE MEDIDAS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	3
2.2. RELACIÓN ENTRE LAS TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN Y LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA.....	3
3. LA CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	4
3.1. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	5
3.2. DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA	6
3.3. DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA.....	7
4. TRABAJO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO.....	8
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PIE DE REY	8
4.2. PATRONES A UTILIZAR	8
4.3. PREPARACIÓN DEL INSTRUMENTO:	8
4.4. CALIBRACIÓN.....	8
4.5. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE	9

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica es profundizar en los conocimientos teóricos proporcionados previamente al alumno acerca de metrología y calibración de equipos. Para ello se realizará el desarrollo del procedimiento y la posterior calibración de un pie de rey.

2. CONOCIMIENTOS PREVIOS

A parte de la base proporcionada en clase de teoría se incluye en este apartado información de interés para la realización de la práctica.

2.1. Importancia de la realización de medidas en los procesos de fabricación

En cualquier proceso de fabricación es habitual la realización de mediciones. Como ejemplo pueden citarse los siguientes casos:

- Fabricación de piezas y utillajes.
- -Montaje de conjuntos.
- -Inspección de productos.

Todo proceso de medida resulta imperfecto. Por tanto, la medida realizada debe ser corregida, con mayor o menor minuciosidad según la calidad que se pretenda conferir a la misma y que va a depender del nivel de exigencia de la especificación a comprobar con dicha medida.

Cuando se mide el valor de una magnitud M con el aparato de medida correspondiente, el resultado de la misma se expresa de la forma:

$$M = X \pm U$$

donde X es el valor más probable de la medida y U es la incertidumbre con la que conocemos la medida.

El valor de la incertidumbre es el primer índice de la "bondad" de una medida, que es tanto mayor cuanto menor es aquella.

2.2. Relación entre las tolerancias de fabricación y la incertidumbre de medida.

Las magnitudes significativas de los productos industriales se especifican habitualmente mediante tolerancias que son los *intervalos de valores admisibles para la magnitud en cuestión*.

Las tolerancias surgen en el proceso de diseño de cualquier elemento de cierta responsabilidad y determinan el rechazo de los productos con valores fuera del intervalo de tolerancia.

La tolerancia T es la semiapertura de un intervalo dentro del cual debe encontrarse el verdadero valor de la magnitud para que sea aceptada como válida.

Se pueden dar los siguientes casos, según la relación existente entre tolerancia e incertidumbre:

- Caso 1: Cuando el intervalo de incertidumbre está contenido dentro del intervalo de tolerancia. Luego, se puede afirmar, casi con seguridad, que el valor verdadero del mesurando es admisible.
- Caso 2: Cuando los intervalos de incertidumbre y de tolerancia son disjuntos, por tanto, hay seguridad casi total de que se debe rechazar el mesurando.
- Caso 3: Cuando los intervalos de incertidumbre se solapan en parte, por tanto, la determinación de aceptación o rechazo es dudosa.

En la práctica suele optarse por un *criterio de seguridad* que consiste en rechazar cualquier mesurando en situación dudosa.

El intervalo de incertidumbre debe ser varias veces inferior al de tolerancia.

En medidas dimensionales se suele considerar como admisible la relación:

$$3 \leq \frac{T}{2U} \leq 10$$

3. LA CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

Es la determinación del valor del intervalo de incertidumbre de un instrumento o equipo de medida.

Calibrar es comparar el resultado que proporciona un instrumento de medida con un patrón, que materializa la magnitud que se pretende calibrar con muy alta calidad.

La calibración se realiza reiterando medidas sobre un patrón conocido, en la forma en que el instrumento trabaja habitualmente.

Para obtener el valor numérico de la incertidumbre, se ha de realizar un balance de todas las fuentes parciales de incertidumbre.

En el caso de la calibración del pie de rey serán fuentes de incertidumbre: la repetibilidad de las medidas, la incertidumbre del patrón utilizado, la componente debida a la escala y la variación de temperatura entre el pie de rey y los bloques patrón.

3.1. Evaluación de la incertidumbre

Tipo A) Mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones

Intuitivamente se percibe que el verdadero valor buscado en la medida debe encontrarse hacia el centro de esas fluctuaciones, por lo que se aceptará como mejor valor X del mesurando *un índice de la tendencia central* del conjunto de las indicaciones.

Ese parámetro será la media que se calcula con la expresión siguiente:

$$\mu = m = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Es necesario establecer también algún indicador de la *dispersión de los resultados*. Cuanto menor sea la dispersión, más cercanos estarán los valores medido y real de la magnitud. El valor elegido como indicador de la dispersión es la desviación típica o su cuadrado que es la varianza que viene dada por la expresión siguiente:

$$s^2 = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

donde n es el número total de medidas realizadas y x_i es cada una de las medidas realizadas, con i variando entre 1 y n .

El valor de la desviación típica no se emplea directamente como incertidumbre, sino que se utiliza la desviación típica de la media muestral, relacionada con la anterior mediante la expresión:

$$s_x^2 = \frac{s^2}{n}$$

Se debe determinar s a partir de un número de medidas lo más grande posible (normalmente >10).

El valor de la incertidumbre típica de una magnitud X , evaluada por medio de medidas repetitivas es:

$$u = s_x$$

Tipo B) Mediante otro tipo de información

Para la estimación x_i de una magnitud de entrada X_i que no ha sido obtenida a partir de observaciones repetidas, la incertidumbre típica estimada asociada $u(x_i)$, se establece mediante decisión científica basada en toda la información disponible acerca de la variabilidad posible de X_i .

- Si la estimación se obtiene a partir de la especificación de un fabricante, de un certificado de calibración o de otra fuente y su estimación viene dada como un múltiplo de una desviación típica, la incertidumbre $u(x_i)$ es igual al cociente del valor indicado y el factor multiplicador.
- Si la incertidumbre dada define un intervalo correspondiente a un nivel de confianza determinado, puede suponerse que se ha utilizado una distribución normal para calcular la incertidumbre típica. Por tanto, se divide el valor dado de incertidumbre por el factor apropiado de la distribución normal.
- En otros casos, únicamente pueden estimarse límites (inferior y superior) para X_i , en particular para poder decir que la probabilidad de que el valor de X_i esté situado en el intervalo comprendido entre a_- y a_+ a todos los efectos prácticos es igual a 1, e igual a cero fuera del intervalo. Si no se conoce los valores posibles de X_i en el interior del intervalo, puede suponerse que se sitúa de forma equiprobable en cualquier punto del mismo. Entonces x_i , esperanza matemática de X_i , es el centro del intervalo:

$$x_i = \frac{(a_+ + a_-)}{2}$$

con la desviación típica asociada:

$$\sigma_{x_i} = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{3}}$$

Si $2a$ es la diferencia entre los dos límites, a_- y a_+ , la expresión anterior de la desviación típica se convierte en:

$$\sigma_{x_i} = u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

3.2. Determinación de la incertidumbre típica combinada

En la mayor parte de los casos, el mesurando Y no se mide directamente sino que se determina a partir de otras magnitudes X_1, X_2, \dots, X_N , mediante una relación funcional f :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

La incertidumbre típica de y , siendo y la estimación del mesurando Y , es decir, el resultado de la medida, se obtiene componiendo apropiadamente las incertidumbres típicas de las magnitudes de entrada x_1, x_2, \dots, x_N , denotándose como $u_c(y)$.

Si se admite que la relación funcional antes expresada, se puede linealizar en el entorno del punto de trabajo:

$$Y \approx f(x_1, x_2, \dots, x_N) + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right) \Big|_{x_i} (X_i - x_i)$$

y además las magnitudes de entrada son independientes, se obtiene la de propagación de varianzas que permite estimar la varianza de y en la forma:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(x_i)$$

Cada una de las $u(x_i)$ es una incertidumbre típica evaluada tal y como se indicó anteriormente. La incertidumbre combinada $u_c(y)$ es una desviación típica estimada y caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al midiendo Y .

La relación anterior podría expresarse como:

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

donde c_i es el coeficiente de sensibilidad asociado al estimador de entrada x_i , es decir, la derivada de la función modelo f respecto a x_i , particularizada para el estimador de entrada x_i . Los coeficientes de sensibilidad representan la forma en que el estimador de salida y es influenciado por las variaciones de los estimadores de entrada x_i .

3.3. Determinación de la incertidumbre expandida

En el campo de la calibración hay una necesidad de declarar el nivel de confianza que puede asociarse con la incertidumbre expandida.

El término de incertidumbre expandida, U , se obtiene de multiplicar la incertidumbre típica combinada por un factor k de recubrimiento

$$U = k \cdot u_c$$

Este factor de recubrimiento se obtiene en base al número de grados efectivos de libertad ν_{eff} . Este valor es una combinación de los grados de libertad asociados con la estimación de cada una de las diferentes contribuciones a la incertidumbre expandida.

4. TRABAJO DESARROLLADO EN EL LABORATORIO

Para ilustrar lo que se ha expuesto se realiza la calibración de los palpadores exteriores de un pie de rey.

4.1. Descripción del pie de rey

Este instrumento nos permite realizar medidas exteriores, interiores y profundidades de una manera directa.

La lectura que se obtiene puede ser analógica o digital. En los de tipo analógico además de la lectura en milímetros se pueden leer fracciones de milímetro. Para la lectura de las fracciones dispone de un nonius, el cuál se divide en n partes. Sobre la regla con la división principal se leen los milímetros y sobre la del nonius las fracciones.

Los pies de rey digitales presentan la lectura sobre una pantalla por lo que no es necesario que el operario realice la lectura en las distintas escalas del instrumento.

4.2. Patrones a utilizar

Todos los patrones y utensilios que intervengan en la calibración de un equipo deberán estar debidamente calibrados y etiquetados.

Para la calibración de exteriores se utilizará como patrones bloques patrón longitudinales, previamente limpiados con alcohol.

4.3. Preparación del instrumento:

Antes del comienzo de una calibración se realiza una limpieza del equipo así como una inspección visual del mismo.

En esta inspección se debe verificar el buen estado del equipo, para ello se comprueba el buen funcionamiento mecánico del equipo, así como que sus escalas sean perfectamente legibles y sus contactos no presentan anomalías.

4.4. Calibración

Para la calibración de esta posibilidad de medida, se materializan con bloques patrón longitudinales tres puntos de la escala, que incluyan el valor mínimo y 2 puntos intermedios de la escala.

En cada uno de esos tres puntos se realizan diez reiteraciones o mediciones (xi), procurando tomar la medida en zonas diferentes de los contactos a fin de comprobar el paralelismo de los mismos.

Las medidas deben ser tomadas en los valores que marca el nonio, evitando en lo posible el error de paralaje.

Para evitar un error debido a una excesiva presión se tendrá la precaución de no ejercer presión en el momento de la lectura.

Una vez concluidas las mediciones, es decir, realizadas las diez reiteraciones en cada uno de los tres puntos de medida se procede a efectuar los cálculos para hallar la incertidumbre, según indica el apartado 4.5.

4.5. Cálculo de la incertidumbre

La asignación y expresión de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios de la guía EA-4/02. En primer lugar se determinará la expresión de la magnitud de salida en función de las distintas magnitudes de entrada, modelando una ecuación para las correcciones de calibración. El cálculo se realiza en un punto genérico *i*.

La ecuación modelo para la corrección de calibración será la siguiente:

$$C_i = x_{oi} - \bar{x}_i + \delta_E + L \cdot \bar{\alpha} \cdot \Delta t$$

donde

- C_i es
- x_{oi} es
- \bar{x}_i es
-
- δ_E es.....
- L es
- $\bar{\alpha}$ es el promedio de los coeficientes de dilatación térmica de los bloques patrón y del pie de rey. En el caso del acero se considera $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
- Δt es

Aplicando la ley de propagación de varianzas (sobre los estimadores) tendremos la expresión para la incertidumbre típica combinada:

$$u(C_i) = \sqrt{u^2(x_{oi}) + u^2(\bar{x}_i) + u^2(\delta_E) + (L \cdot \bar{\alpha})^2 u^2(\Delta t)}$$

Componentes de la incertidumbre

- $u^2(\bar{x}_{ci})$, debida

$$u(rep) = \frac{s_{ci}}{\sqrt{n}} =$$

donde:

x_{ij} es

$\bar{x}_i =$

- $u^2(x_{oi})$, debida..... Se calcula a partir del certificado de calibración del utillaje de calibración

$$u_{oi} = \frac{U_{oi}}{k}$$

- $u(\delta_E)$, debida
Puede describirse por una distribución Su valor es:

$$u(\delta_E) =$$

E representa.....

- $u(\Delta t)$, debida a la variación de temperatura tanto del pie de rey y los bloques patrón no será superior a $\pm 1^\circ\text{C}$. Se utiliza una distribución rectangular para caracterizar la función de variación de temperatura de semiamplitud 1°C , con lo que al final se tiene:

$$u(\Delta t) = \frac{1}{\sqrt{3}}(\bar{\alpha} \cdot L) \quad (L \text{ en mm})$$

Debido al tipo de termómetro utilizado para la lectura de la temperatura su incertidumbre, resultado de la calibración, resulta despreciable frente a la componente de

diferencia de temperatura entre los bloques patrón y el pie de rey, con lo cual se desprecia y no se tiene en cuenta como un término más de la componente de temperatura.

A partir de aquí se puede construir una tabla con las distintas contribuciones a la incertidumbre combinada para la calibración de pies de rey.

Magnitud de entrada X_i	Estimación x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distribución de Probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
\bar{x}_i	\bar{x}_i				
X_{oi}	X_{oi}				
δ_E	0				
Δt	0				

Cálculo de la incertidumbre expandida (con factor de cobertura k)

Considerando que todas las variables de entrada son independientes se tiene la expresión:


$$U(C_i) = k \cdot u(C_i) = k \cdot \sqrt{\left(\text{---}\right)^2 + \left(\text{---}\right)^2 + \left(\text{---}\right)^2 + \left(\text{---}\right)^2}$$

Para determinar la incertidumbre expandida se debe estimar los grados de libertad efectivos. En este tipo de calibraciones los valores de las contribuciones a la incertidumbre nos dan un valor de los grados efectivos de libertad: ν_{eff} alto, lo que origina un factor de cobertura próximo a $k = 2$ para aproximadamente 95% de probabilidad.

El criterio totalizador consiste en asignar como incertidumbre asociada al instrumento, el valor máximo de las incertidumbres calculadas en cada uno de los puntos de calibración.

Se comparan entre sí la incertidumbre hallada en cada uno de los puntos de calibración tomando como incertidumbre .

$$U = \max(U(C_i))$$

	Universidad Carlos III de Madrid Área de Ingeniería Mecánica		
	Certificado de calibración	MOD.: UC3M-DM	Nº: 1

Elemento calibrado: PIE DE REY

Código: _____ **Nº de serie:** _____
Fabricante: _____ **Modelo:** _____
Campo de medida: _____ **División de escala:** _____ mm.

Datos generales de la calibración

Procedimiento: _____
Cond. Ambientales: Temperatura: _____ Humedad: _____
Patrón utilizado: _____
Calibración del patrón: _____ **Incertidumbre patrón:** _____ k= _____

Operaciones previas a la calibración

El estado general es correcto: SI / NO Puntas de exteriores correctas: SI / NO
Puntas de interiores correctas: SI / NO Estado de sonda de profundidad correcto: SI / NO

Resultado de la calibración

Incertidumbre total del instrumento: **El instrumento es:**

Observaciones y/o actuaciones:
.....

Fecha y hora calib.:	Próxima calibración
Fecha: Hora:	Fecha:

Calibrado por:	Firma:
.....
.....
.....

Palpadores de exteriores:

Ptos. de calib. Valor Nominal	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Lectura 1			
Lectura 2			
Lectura 3			
Lectura 4			
Lectura 5			
Lectura 6			
Lectura 7			
Lectura 8			
Lectura 9			
Lectura 10			

$$\bar{x}_i$$

--	--	--

$$s_{ci}$$

--	--	--

$$u(rep) = \frac{s_{ci}}{\sqrt{n}}$$

--	--	--

$$u_{0i} = \frac{U_{0i}}{k}$$

--	--	--

$$u(\delta_E)$$

--

$$u_{\Delta t} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

--

$$\bar{\alpha} \cdot L \cdot u_{\Delta t}$$

--	--	--

$$U_i = k \sqrt{u^2(x_{oi}) + u^2(\bar{x}_i) + u^2(\delta_E) + (L \cdot \alpha)^2 u^2(\Delta t)}$$

$$C_i = x_{oi} - \bar{x}_i$$

$$U = \max(U(C_i)) =$$