



# Centro Universitario de la Defensa Zaragoza

## **CALIDAD**

Curso 2013/2014

---

## **TEMA 7**

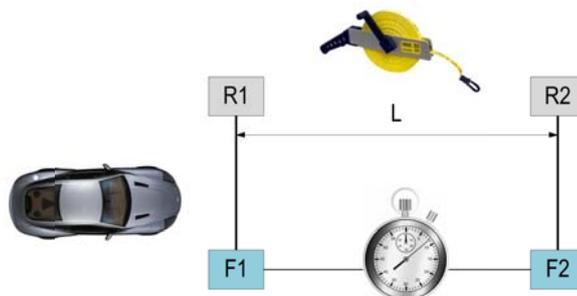
## **EJERCICIOS DE METROLOGÍA**

---

### Ejercicio 1

Para realizar la medición de la velocidad de un vehículo se dispone de un sistema con dos células fotoeléctricas (F1 y F2) sus respectivos reflectores (R1 y R2) y un cronómetro asociado. Cuando el vehículo corta el rayo de la célula F1 el cronómetro comienza a contar hasta que al cortarse el rayo de la célula F2 se detiene.

Durante el ensayo las células se colocaron a una distancia  $L = 10\text{ m}$  y se realizó una única medición obteniéndose un tiempo de  $0,748\text{ s}$ . Calcular el resultado final de la medida ( $k=3$ ) si se dispone de los siguientes datos:



- Información de los instrumentos de medida:

Características	Cinta métrica	Cronómetro
Alcance	10 m	59 min. 59,999 s
Resolución	1 mm	0,001 s

- Certificado de calibración de la cinta métrica (Factor de incertidumbre  $k=2$ ):

Valor (m)	Corrección (m)	Incertidumbre (m)
1	0,002	$\pm 0,002$
2	0,004	$\pm 0,003$
4	0,008	$\pm 0,004$
8	0,014	$\pm 0,005$
10	0,024	$\pm 0,006$

- Certificado de calibración del cronómetro (Factor de incertidumbre  $k=2$ ):

Valor (s)	Corrección (s)	Incertidumbre (s)
0,5	0,000	$\pm 0,001$
10	0,001	$\pm 0,002$
100	0,008	$\pm 0,004$
1000	0,012	$\pm 0,008$

**Ejercicio 2**

Para la inspección de un tipo de piezas se ha realizado la calibración de un micrómetro digital (división de escala 0,001 mm) en el entorno de medida de 5 mm. Para tal acción se ha utilizado un bloque patrón de calidad 0 nominal, longitud igual a 5 mm e incertidumbre:

$$I_0 = 0,0002 \text{ mm } (k_0=3)$$

Las medidas obtenidas durante la **calibración** son las siguientes (datos en mm,  $T=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

4,998	4,997	5,000	4,998	5,000
4,999	4,998	5,000	4,996	4,998

Al realizar la **medición** de una de las piezas se obtienen los siguientes valores (datos en mm,  $T=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

5,020	5,025	5,023
-------	-------	-------

- a) Calcular el resultado de la medición aplicando un factor de cobertura igual a  $k=3$ .

Realizando un estudio de repetibilidad para estimar la incertidumbre del proceso de medición se obtienen los siguientes resultados (datos en mm,  $T=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

5,010	5,010	5,020	5,020	5,030
5,010	5,020	5,030	5,025	5,015

- b) ¿Cuál es ahora la nueva incertidumbre del resultado? (considerando igualmente  $k=3$ ).

**Ejercicio 3**

Para determinar la altura de una pieza mecanizada se hace uso de un sistema de medición 1D, una medidora de una coordenada vertical. El instrumento, verificado por el fabricante, tiene un error dentro de los límites  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Si al medir la pieza se obtienen los siguientes resultados (datos en mm):

90,040	90,044	90,049	90,046	90,041
90,043	90,040	90,045	90,044	90,047

¿Cuánto mide la altura de la pieza? Exprese el resultado de la medición para un factor de cobertura  $k=2$ .

**Ejercicio 4**

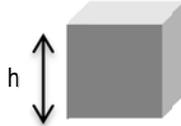
En el diseño de un surtidor de gasolina se desea calcular la potencia hidráulica de la bomba necesaria para la elevación del fluido. Mediante tres instrumentos previamente calibrados y corregidos se tiene que para ese combustible los valores medios e incertidumbres (factor de cobertura  $k=3$ ) son de:

- Densímetro → Densidad del fluido:  $900\pm 9 \text{ kg/m}^3$ .
- Manómetro → Presión:  $200\pm 20 \text{ kPa}$ .
- Báscula → Combustible trasvasado en una hora:  $1200\pm 12 \text{ kg/h}$ .

- a) Determinar la relación matemática que calcula la potencia de la bomba a partir de la densidad, presión y caudal de combustible.
- b) Calcular la potencia media e incertidumbre de la bomba requerida ( $k=3$ ).

**Ejercicio 5**

Se desea realizar el control de calidad de piezas de Zerodur® evaluando la altura de las mismas (h). El sistema seguido para la caracterización es la medición por pesada. La báscula utilizada tiene una incertidumbre de 0,8 g ( $k=2$ ) y la densidad del Zerodur es de  $2,53 \pm 0,005$  g/cm<sup>3</sup>. La pieza es un cubo perfecto y su volumen es igual a  $V=h^3$ . Si el valor indicado por la báscula es de 316,4 g y el valor nominal de la altura debe encontrarse en el intervalo  $h=50 \pm 0,015$  mm, ¿se puede asegurar que la pieza se encuentra dentro de los límites de tolerancia?. Considerar  $k=3$ .

**Ejercicio 6**

Para llevar a cabo la inspección de una cota de una pieza de acero de precisión de valor nominal  $L=5 \pm 0,008$  mm se utiliza un micrómetro de exteriores digital de rango 0-25 mm. La calibración del instrumento se ha realizado de dos maneras:

- **Calibración externa** en todo el rango de medida. Datos obtenidos:
  - Incertidumbre de calibración:  $I_c (k=2) = 0,003$  mm.
  - Corrección:  $c = 0,001$  mm.
  - Temperatura de trabajo:  $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- **Calibración interna** en el entorno de 5 mm con el uso de un bloque patrón. El proceso se realizó como sigue.

En primer lugar el bloque fue calibrado en el mismo laboratorio con un medidora de alta precisión de coordenada horizontal. La información disponible de esta primera etapa es la que sigue:

- Incertidumbre medidora 1D horizontal ( $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$ ):  $I_0 (\text{mm}) = 0,0003 + 0,00001 \cdot X(\text{mm})$  para  $k_0=2$ , donde X es la longitud medida en mm.
- Medición del bloque patrón en el entorno de 5 mm ( $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$ ),  $x_{ci}$  en mm.

4,9990	4,9995	4,9990	4,9995	4,9993
4,9990	5,0000	4,9997	4,9997	4,9993

En segundo lugar se llevó a cabo la calibración del micrómetro con el anterior bloque patrón, en el punto del rango de medida de 5 mm a una temperatura  $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$ , obteniendo (datos en mm):

4,999	4,998	4,999	4,998	4,998
4,998	4,999	4,998	4,998	4,999

Tras realizar un ensayo de repetibilidad de medición midiendo con el micrómetro un gran número de veces la pieza se decide asumir como desviación típica de dicha variabilidad  $s_m = 2 \mu\text{m}$ .

- ¿Cuál es la incertidumbre de calibración y corrección del micrómetro de exteriores obtenida por calibración externa en el entorno del campo de medida de 5 mm? ( $k=2$ )
- ¿Cuál es la incertidumbre de calibración y corrección del micrómetro de exteriores obtenida por calibración interna en el entorno del campo de medida de 5 mm? ( $k=2$ )

Si al medir la pieza de acero en el laboratorio a una temperatura controlada de  $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$  se obtienen los resultados de la tabla (datos en mm):

5,000	5,005	5,002
-------	-------	-------

- Calcular el resultado de la medición efectuada considerando la calibración externa ( $k=3$ ).
- Calcular el resultado de la medición efectuada considerando la calibración interna ( $k=3$ ).

**Ejercicio 7**

Una empresa dedicada a comercializar materiales metálicos y plásticos dispone de una balanza con un campo de medida entre 0 y 15 kg. El sistema de gestión de la calidad de la empresa conforme con la Norma ISO 9001 obliga a la calibración periódica de dicha balanza. Para ello, el técnico dispone del siguiente juego de pesas patrón con su correspondiente certificado de calibración del fabricante:

- Pesos nominales de las 4 pesas que componen el juego (P): 1, 2, 5 y 10 kg.
- Incertidumbre (kg):  $I(k = 3) = \frac{P \text{ (kg)}}{1000}$ , siendo P (kg) el peso nominal de cada una de las pesas.

Cuestiones:

- a) Describa brevemente el proceso que debe seguir el técnico para calibrar la balanza.
- b) Exprese el resultado que debería aparecer en el informe de calibración si el técnico ha obtenido los siguientes datos al calibrar la balanza en el entorno de medida de 8 kg (k=3).

8,01	8,02	8,02	8,02	8,01
8,03	8,01	8,02	8,02	8,02

- c) Calcule el resultado de la medición del peso (k=3) de una pieza de teflón con carga de granito y su coste más probable, si el operario tras pesarla cuatro veces ha obtenido los siguientes resultados:

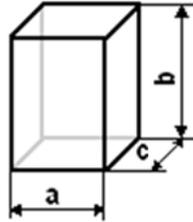
Coste de la barra de teflón con carga de granito: 24 €/kg.

8,11	8,22	8,12	8,20
------	------	------	------

**Ejercicio 8**

Se desea realizar el control de calidad de placas de aislamiento de espuma fenólica. La característica a controlar es la densidad:  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Se utiliza un método de medición indirecto que consiste en pesar una placa en una balanza para determinar el peso  $m$  (kg) y medir con un flexómetro las dimensiones  $a$ ,  $b$  y  $c$  (m) de la placa.



Datos:

- Para la calibración de la báscula se dispone de un peso patrón de 6 kg con  $I_0 = 0,05 \text{ kg}$  ( $k_0=3$ ,  $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- En la calibración interna de la báscula se obtienen los siguientes valores en kg ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

6,10	6,12	6,13	6,20	6,16
6,15	6,15	6,10	6,17	6,13

- El flexómetro tiene unos resultados de calibración externa:  $I_0 = 1,5 \text{ mm}$  ( $k_0=3$  y  $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- La temperatura de la planta donde se realiza la medición de la placa de aislamiento es de  $25\pm 3^\circ\text{C}$ .
- El coeficiente de dilatación térmica de la espuma es de  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .
- Los resultados de las mediciones son:

$a = 1 \text{ m}$	$b = 4 \text{ m}$	$c = 0,05 \text{ m}$
$m_1 = 6,10 \text{ kg}$	$m_2 = 6,05 \text{ kg}$	$m_3 = 6,08 \text{ kg}$

Cuestiones:

- Calcular la incertidumbre de la medición y corrección de la báscula para  $k=3$ , en un entorno de medida de 6 kg.
- Calcular el valor de  $\rho$  y su incertidumbre ( $k=3$ ,  $20\pm 1^\circ\text{C}$ ).

**Ejercicio 9**

Una empresa de mecanizado recibe un pedido de un lote de 1.500 piezas que deben ser fabricadas en un plazo de tres meses. La cota más crítica de dichas piezas recae en el diámetro del eje que incorporan, el cual debe encontrarse en el rango de diseño entre 20,01 y 20,05 mm.

Dado el tamaño de la serie y el plazo que se debe cumplir, se descarta la opción de encargar la fabricación de un calibre pasa-no pasa para la función de verificación, de manera que se opta por la utilización de un micrómetro calibrado internamente en el pequeño laboratorio de metrología que dispone la empresa. El micrómetro es de exteriores, de dos contactos, digital, con resolución  $E = 0,001$  mm y campo de medida 0-25 mm.

- **Bloques patrón** utilizados:

Valores nominales:  $L_0 = 5, 10$  y  $20$  mm.

Incertidumbre del bloque:  $I_0 (\mu\text{m}) = 0,5 + 0,003 \cdot L_0$  (mm) para  $k_0 = 3$ .

- Los resultados de la **calibración del micrómetro** fueron los siguientes ( $T^a = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ ):

	Puntos de calibración					
	1	2	3	4	5	6
Datos en mm	0 mm	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm
Medida 1	0,002	5,003	10,009	15,009	20,007	24,998
Medida 2	0,000	5,006	10,010	15,008	20,012	24,999
Medida 3	0,002	5,007	10,008	15,010	20,012	24,999
Medida 4	0,001	5,005	10,007	15,008	20,009	25,000
Medida 5	-0,001	5,006	10,008	15,008	20,008	25,000
Medida 6	0,002	5,004	10,006	15,006	20,009	25,001
Medida 7	0,000	5,006	10,009	15,007	20,008	24,997
Medida 8	0,000	5,003	10,008	15,005	20,010	24,999
Medida 9	0,001	5,004	10,007	15,008	20,009	24,998
Medida 10	0,000	5,005	10,011	15,006	20,011	24,997
Promedio	0,001	5,005	10,008	15,008	20,010	24,999
Desviación	0,00106	0,00137	0,00149	0,00151	0,00172	0,00132

El diámetro del eje en cuestión se evalúa al terminar el proceso de torneado, previa limpieza y estabilización térmica en el laboratorio ( $T^a = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Realizando una inspección por muestreo, se determina con el micrómetro calibrado el diámetro de una de las piezas del lote.

- Los resultados de la **medición** fueron los siguientes ( $T^a = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ ):

20,019	20,035	20,041
--------	--------	--------

- Determine la corrección e incertidumbre de calibración ( $k_{\text{calibración}}=3, 20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) para cada punto del intervalo.
- Calcule el resultado de la medida para  $k_{\text{medición}}=2$  y  $T^a=20 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- ¿Se encuentra el diámetro dentro de la región de diseño? Justifique su respuesta.

**Ejercicio 10**

Para determinar la longitud de una barra metálica se utiliza una medidora de una coordenada horizontal localizada en un taller con temperatura ambiente de  $27 \pm 3^\circ\text{C}$ .

La calibración del sistema de medida se ha llevado a cabo con bloques patrón longitudinales a una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , obteniendo una incertidumbre a lo largo de todo el campo de medida (0-1000 mm) de  $3 \mu\text{m}$  para  $k_{\text{calibración}}=3$ . La corrección del resultado se aplica directamente por software.

El fabricante de la medidora indica que dicho sistema es prácticamente insensible a la temperatura en el rango de  $15^\circ\text{C}$  a  $35^\circ\text{C}$ .

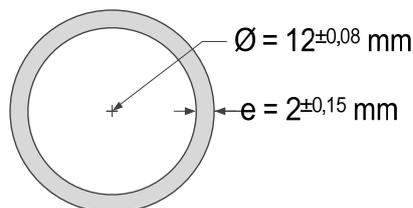
Si al medir la longitud de la barra diez veces se obtienen los resultados de la tabla (en mm), calcule el resultado de la medida para  $k_{\text{medición}}=2$  y  $T^a=20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

250,023	250,031	250,027	250,025	250,025
250,022	250,026	250,024	250,023	250,028

Coefficiente de dilatación del material de la barra (acero inoxidable):  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

**Ejercicio 11**

En la fabricación de tubos de precisión de acero estándar se deben comprobar las siguientes tolerancias de diseño correspondientes al diámetro y al espesor de los mismos (ver figura):



- a) Para la medición del **espesor (e)** se utiliza un pie de rey digital (rango 1-150 mm) calibrado externamente en un laboratorio acreditado. El certificado obtenido en la calibración es el siguiente ( $T^a=20 \pm 1^\circ\text{C}$ ):

Valor (mm)	0	25	50	75	100	125	150
Corrección (mm)	0	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
Incertidumbre de calibración (mm) $l_{\text{calibración}} (k_{\text{calibración}}=3)$	0,005	0,006	0,007	0,007	0,008	0,009	0,01

Calcule el resultado de la medida del espesor del tubo ( $k=3$ ) si al repetir la medida 10 veces se obtienen los siguientes datos ( $T^a=20 \pm 1^\circ\text{C}$ ):

Resultados medición espesor (mm)	2,04	2,03	2,02	2,03	2,00
	2,02	2,01	2,04	2,05	1,99
Datos (mm)	Promedio de los 10 resultados				2,023
	Desviación de los 10 resultados				0,019

- b) Se utiliza ahora un bloque patrón para calibrar el pie de rey internamente. Los datos obtenidos de dicho proceso de calibración son los siguientes ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

Patrón	Distancia nominal = 1,999 mm				$l_0 (k_0=3) = 0,5 \mu\text{m}$
Resultados medición patrón (mm)	1,97	1,97	1,96	1,97	1,96
	1,96	1,96	1,95	1,96	1,95
Datos (mm)	Promedio de los 10 resultados				1,961
	Desviación de los 10 resultados				0,0074

Calcule el resultado de la medida del espesor del mismo tubo ( $k=3$ ) si al repetir la medida 3 veces se obtienen los siguientes datos ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

Resultados medición espesor (mm)	1,99	2,03	2,00
----------------------------------	------	------	------

- c) A la vista de los resultados de los anteriores apartados a) y b), ¿se debe rechazar el tubo analizado de acuerdo con su dato inicial de tolerancia?
- d) Se decide evaluar el espesor con el mismo pie de rey pero de manera **indirecta** como la diferencia entre el diámetro exterior e interior. Utilizando los datos de la calibración interna (apartado b) calcule el resultado de la medida ( $k=3$ ) si al medir 3 veces cada uno de los diámetros se ha obtenido lo siguiente ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

Resultados medición $\varnothing_{\text{exterior}}$ (mm)	12,06	12,02	12,04
Resultados medición $\varnothing_{\text{interior}}$ (mm)	7,98	8,02	8,03

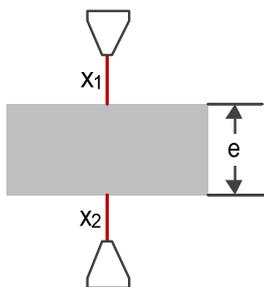
**Ejercicio 12**

En la elaboración de papel de aluminio se deben asegurar tanto ciertas propiedades mecánicas como tolerancias en las dimensiones. Por este último motivo, para realizar el control de calidad de un proceso de laminación de dicho tipo de papel y verificar que el espesor se encuentra dentro del intervalo de diseño son dos los métodos llevados a cabo:

**Método 1**

Medición por pesada en laboratorio ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ) tras al estabilización térmica del mensurando: un rollo de papel de aluminio de longitud  $L=100\pm 0,001\text{ m}$  y anchura  $A=350\pm 0,1\text{ mm}$ . La báscula utilizada se ha calibrado de forma externa de modo que se dispone de su certificado de calibración en el rango 0-10 kg.

Puntos de calibración	1	2	3	4	5
Valor (kg)	0	2,5	5	7,5	10
Incertidumbre de calibración (g) $I_{\text{calibración}} (k_{\text{calibración}}=3)$	10	11	11	12	13

**Método 2**

Medición en proceso mediante el uso de dos sensores láser, tal y como se muestra en la figura. Una vez realizado el centrado de los sensores y un ajuste inicial de las lecturas, el valor del espesor se obtiene de acuerdo con la ecuación de medida:

$$e = x_1 + x_2$$

La inspección se realiza midiendo una única vez tras la última fase de laminación. En ese instante, la temperatura ambiente es de  $25\pm 3^\circ\text{C}$  y la del mensurando (lámina de papel) de  $70\pm 5^\circ\text{C}$ .

Los sensores láser utilizados tienen un campo de medida y resolución características, y la calibración interna del montaje mostrado en el entorno de medida de 0,020 mm haciendo uso de un sistema de medida más preciso como patrón de referencia ha dado los siguientes resultados ( $T^a=20\pm 1^\circ\text{C}$ ):

Patrón	Distancia nominal = 0,02007 mm		$I_0 (k_0 = 3) = 0,05\ \mu\text{m}$		
Resultados medición patrón (mm)	0,0201	0,0202	0,0201	0,0203	0,0201
	0,0202	0,0203	0,0201	0,0203	0,0202
Datos (mm)	Promedio de los 10 resultados			0,02019	
	Desviación de los 10 resultados			0,00009	

Tras un ensayo de repetibilidad de la medición del espesor del papel se estima la desviación típica de dicha variabilidad en  $s_m=0,0003\text{ mm}$ .

- a) Calcular el resultado de la medida (k=2) del espesor según el método 1 si el resultado obtenido con la báscula es de:

$$M = 5012 \text{ g}$$

Dato: Densidad del aluminio,  $\rho_{Al} = 6,2 \pm 0,4 \text{ g/cm}^3$

- b) Calcular el resultado de la medida (k=2) del espesor según el método 2 si los resultados obtenidos con los sensores, son los siguientes:

$$x_1 = 0,0104 \text{ mm}$$

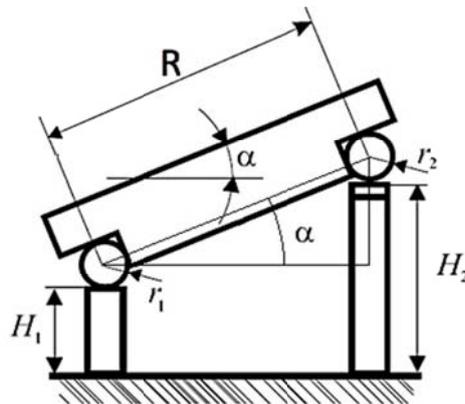
$$x_2 = 0,0103 \text{ mm}$$

Dato: Coeficiente de dilatación aluminio,  $\alpha_{Al} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

- c) Si el valor nominal de diseño es de  $e = 0,020 \pm 0,003 \text{ mm}$ , ¿se encuentra el espesor del rollo dentro de los límites de tolerancia?. Justifique su respuesta para los resultados obtenidos en a) y b).

**Ejercicio 13**

Dentro del laboratorio de metrología, para medir el semi-ángulo de un husillo cónico de fresado, se utiliza una regla de senos y un juego de bloques patrón.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LOS BLOQUES PATRÓN					
$I(k=3) = \pm [0,002 + 0,0001 \cdot L(\text{mm})] \text{ mm}$					

Longitud nominal		Desviación respecto del nominal	Longitud nominal		Desviación respecto del nominal
L [mm]	Id.	D [μm]	L [mm]	Id.	D [μm]
1,0005	8204	+ 0,25	2	8208	+ 0,3
1,005	8205	+ 0,35	20	8209	- 0,25
1,05	8206	+ 0,25	40	8210	+ 0,2
1,5	8207	+ 0,25	80	8211	+ 0,25

DATOS DE LA REGLA DE SENOS		
----------------------------	--	--

Magnitud	Longitud nominal	Error
R	50 mm	± 2 [μm]
r <sub>1</sub>	10 mm	± 1 [μm]
r <sub>2</sub>	10 mm	± 1 [μm]

Si se ha utilizado el patrón de longitud nominal L=20 mm para H<sub>1</sub>, y dos patrones de longitudes L=40 mm y L=2 mm para la altura H<sub>2</sub>, determine el ángulo α (en grados) y su incertidumbre expandida para un factor de cobertura de k=2.

(\*) **Notas:**

Ponga TODAS las magnitudes longitudinales en milímetros y la incertidumbre angular saldrá en radianes.

$$f(x) = \text{arc sen } u \rightarrow f'(x) = \frac{u'}{\sqrt{1 - u^2}}$$

**SOLUCIONES EJERCICIOS**

Ejercicio 1: 13,401 ± 0,030 m/s (k=3)

Ejercicio 2: a) 5,024 ± 0,003 mm (k=3)  
b) ± 0,008 mm (k=3)

Ejercicio 3: 90,044 ± 0,012 mm (k=2)

Ejercicio 4: a)  $Potencia (W) = \frac{Presión (Pa) \cdot Caudal\ mástico (\frac{kg}{s})}{Densidad (\frac{kg}{m^3})}$   
b) 74,1 ± 7,5 W (k=3)

Ejercicio 5: No cumple tolerancia. Resultado medición: 50,008 ± 0,086 mm (k=3)

Ejercicio 6: a) Calibración externa: Corrección: 0,001 mm  $I_c (k=2) = \pm 0,003$  mm  
b) Calibración interna: Corrección: 0,001 mm  $I_c (k=2) = \pm 0,00053$  mm  
c) 5,003 ± 0,006 mm (k=3)  
d) 5,003 ± 0,004 mm (k=3)Ejercicio 7: a) ...  
b) Informe de calibración: Corrección: -0,018 kg  $I_c (k=3) = \pm 0,0082$  kg  
c) Peso: 8,14 ± 0,02 kg (k=3) Coste más probable: 195,5 €Ejercicio 8: a) Corrección: -0,141 kg  $I_{medición}$  báscula (k=3) = ± 0,080 kg  
b) Densidad: 29,68 ± 0,98 kg (k=3)Ejercicio 9: a) Corrección e incertidumbre de calibración (mm,  $k_{calibración}=3$ , 20±1°C)

	Puntos de calibración					
	1	2	3	4	5	6
Corrección	-0,001	-0,005	-0,008	-0,008	-0,010	+0,001
$I_{calibración} (k=3, *por\ exceso)$	0,00101	0,00140	0,00152	0,00162	0,00173	0,00147

b) Diámetro: 20,022 ± 0,003 mm (k=2)  
c) Dentro de la región de diseño

Ejercicio 10: Resultado medición: 250,005 ± 0,011 mm (k=2)

Ejercicio 11: a) Espesor: 2,02 ± 0,02 mm (k=3)  
b) Espesor: 2,04 ± 0,02 mm (k=3)  
c) Ambos casos (a y b) cumplen tolerancia. No se rechaza el tubo analizado  
d) Espesor: 2,01 ± 0,02 mm (k=3)Ejercicio 12: a) Espesor: 0,0231 ± 0,0018 mm (k=3)  
b) Espesor: 0,02050 ± 0,00061 mm (k=3)  
c) Método 1 (a) pieza válida. Método 2 (b) pieza no válida

Ejercicio 13: Resultado medición: 26,1048 ± 0,0035 grados (k=2)