

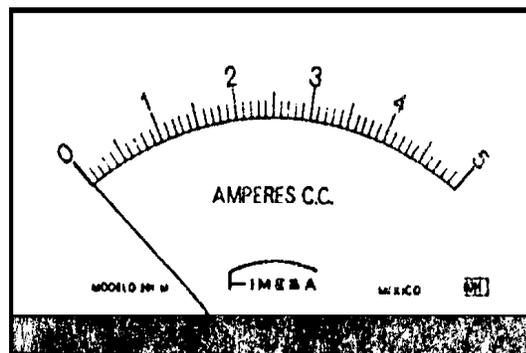
Conceptos básicos de Metrología

Ejercicios propuestos

1. Con el instrumento de medición que se muestra en la figura, se tomaron las lecturas indicadas en la tabla, con base en ello, determine:

- El rango y la resolución del instrumento.
- La precisión del instrumento para el valor real de 4.5 [A].
- La exactitud del instrumento para el valor real de 4.5 [A].
- La sensibilidad.

| V_P [A] | \bar{V}_L [A] | | | | | |
|--------------|--------------------|------|-----|------|-----|-----|
| 0.5 | 0.70 | | | | | |
| 1.0 | 0.90 | | | | | |
| 1.5 | 1.40 | | | | | |
| 2.0 | 2.10 | | | | | |
| 2.5 | 2.60 | | | | | |
| 3.0 | 3.10 | | | | | |
| 3.5 | 3.50 | | | | | |
| 4.0 | 4.10 | | | | | |
| 4.5 | 4.60 | 4.40 | 5.0 | 4.60 | 4.6 | 4.4 |
| 5.0 | 5.10 | | | | | |



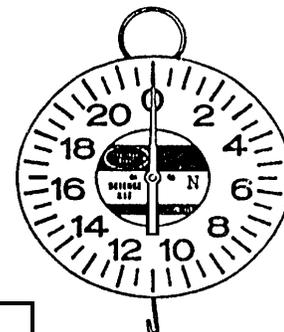
2. Con el dinamómetro que se muestra en la figura se tomaron las lecturas indicadas en la tabla, con base en esto, determine:

- El rango y la resolución del dinamómetro.
- La sensibilidad del dinamómetro, en el intervalo de las mediciones.
- El porcentaje de error de exactitud, al medir una fuerza cuyo valor real es de 18 [N].
- El porcentaje de error de precisión, al medir una fuerza cuyo valor real es de 18 [N].

F_P = fuerza patrón.

F_L = fuerza leída.

| F_P [N] | \bar{F}_L [N] | | | | | |
|-----------|-----------------|------|------|----|------|------|
| 2 | 2.1 | | | | | |
| 6 | 5.9 | | | | | |
| 10 | 10.2 | | | | | |
| 14 | 14.1 | | | | | |
| 18 | 18.1 | 18.0 | 17.5 | 18 | 18.5 | 18.5 |



3. En un laboratorio se caracterizó un termómetro de mercurio. Parte de las mediciones se muestran en la tabla. Con base en ello, determine:
- El modelo matemático de la curva de calibración.
 - La sensibilidad del termómetro.
 - La cuarta lectura para el valor patrón $T_P = 6$ [°C], es decir el valor de w .
 - El porcentaje de exactitud para el valor patrón $T_P = 2$ [°C].
 - El porcentaje de precisión para el valor patrón $T_P = 4$ [°C].
 - La resolución más probable del termómetro empleado.
 - La incertidumbre para el valor patrón del inciso e.
 - La expresión dimensional, en el SI, de las constantes del modelo matemático del inciso a.

| T_P [°C] | \bar{T}_L [°C] | T_{L1} [°C] | T_{L2} [°C] | T_{L3} [°C] | T_{L4} [°C] |
|------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| -4 | -3.75 | -4 | -4 | -4 | -3 |
| -2 | -2 | -3 | -1 | -3 | -1 |
| 0 | 0.25 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2.5 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 4 | 3.75 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 6 | 5.5 | 6 | 7 | 4 | w |

4. Se desean obtener las características de un dinamómetro utilizando pesas patrones. De las mediciones realizadas se obtuvo la tabla que se muestra. Con base en ésta y la figura del dinamómetro determine:

| V_P | V_{L1} | V_{L2} | V_{L3} | V_{L4} | V_{L5} | V_{L6} | V_{L7} |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | 0.6 | 0.75 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.5 |
| 1.0 | 1.1 | | | | | | |
| 2.0 | 1.9 | | | | | | |
| 3.0 | 3.0 | | | | | | |
| 4.0 | 4.1 | | | | | | |
| 5.0 | 4.9 | | | | | | |

V_P = valor patrón [N].
 V_L = valor leído [N].

- El rango y la resolución del dinamómetro.
- El porcentaje de exactitud.
- El porcentaje de precisión.
- La sensibilidad en el intervalo de 0 a 5 [N].

5. En un laboratorio de Física, en el cual la aceleración gravitatoria es $9.78 \text{ [m/s}^2\text{]}$ se desea caracterizar una balanza; al medir nueve veces la masa de un peso patrón de 20 [N] se obtuvieron las lecturas que se muestran; adicionalmente se realizaron otras mediciones con otros pesos patrones.

| | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lectura | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| [kg] | 2.05 | 2.10 | 2.03 | 2.10 | 2.01 | 2.03 | 2.00 | 2.10 | 2.05 |

| | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso patrón [N] | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Masa leída promedio [kg] | 0.5102 | 1.0260 | 1.5285 | 2.0522 |

Con base en esta información determine para la balanza en estudio:

- Su porcentaje de exactitud cuando se utilizó el peso patrón de 20 [N] .
 - Su porcentaje de precisión para el valor patrón anterior.
 - Su sensibilidad.
 - La ecuación de su curva de calibración.
 - El valor más representativo de la masa del peso patrón de 20 [N] incluyendo su incertidumbre.
6. Un termómetro con rango de -10°C a 110°C y resolución de 1°C fue utilizado para la medición de temperatura de una mezcla de sustancias. Con el objeto de cuantificar las características de dicho termómetro se elaboran las tablas siguientes:

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>valor patrón</i> | $T_P[^\circ\text{C}]$ | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| <i>valor promedio</i> | $T_L[^\circ\text{C}]$ | -5.05 | 0 | 4.95 | 10.10 | 15.05 | 20.15 | 30.05 | 39.95 | 49.90 | 60.05 |

| | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $T_P[^\circ\text{C}]$ | $T_{L1}[^\circ\text{C}]$ | $T_{L2}[^\circ\text{C}]$ | $T_{L3}[^\circ\text{C}]$ | $T_{L4}[^\circ\text{C}]$ | $T_{L5}[^\circ\text{C}]$ |
| 37.0 | 36.5 | 37.0 | 37.5 | 36.0 | 37.0 |

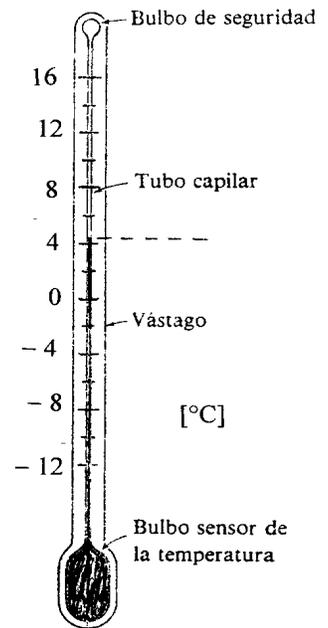
Con base en las tablas de datos determine:

- El modelo matemático de la curva (recta) de calibración del instrumento.
 - La sensibilidad del instrumento de medición.
 - La exactitud del termómetro para el valor patrón de $37 \text{ [}^\circ\text{C]}$.
 - La precisión del termómetro para el valor patrón de $37 \text{ [}^\circ\text{C]}$.
 - El valor más representativo con su incertidumbre para el valor patrón de $37 \text{ [}^\circ\text{C]}$.
7. En el laboratorio de un instituto de investigación se realizaron mediciones de temperaturas controladas (patrones) por medio de un termómetro como el que se muestra en la figura, obteniéndose los datos que se muestran a continuación:

| T_P [°C] | \bar{T}_L [°C] | T_1 [°C] | T_2 [°C] | T_3 [°C] | T_4 [°C] |
|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| -10 | -10 | -8 | -10 | -12 | -10 |
| -6 | -5 | -4 | -4 | -6 | -6 |
| -2 | -1 | 0 | -2 | -2 | 0 |
| 2 | 1.5 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 5.5 | 4 | 6 | 4 | 8 |

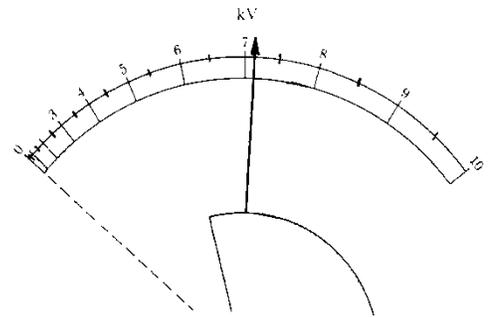
Para el termómetro, determine:

- Rango, resolución y la lectura que indica la figura.
- La exactitud para la temperatura patrón de 2 [°C].
- La sensibilidad en el intervalo de experimentación.
- La precisión para la temperatura patrón de -6 [°C].
- La ecuación de la curva de calibración.



- En un laboratorio se caracterizó un voltímetro electrostático como el que se muestra en la figura. Se le aplicaron diversas diferencias de potencial (voltajes) y se registraron las lecturas que se indican en la tabla. Con base en ello, determine:

- El rango, la resolución del voltímetro, así como la lectura que indica.
- El modelo matemático de la curva de calibración del instrumento de medición.
- El significado físico de la pendiente del modelo matemático anterior, así como su expresión dimensional en el SI:
- El error de precisión para el valor patrón $V_P = 9\ 000$ [V].
- El porcentaje de exactitud para el valor patrón anterior.
- La incertidumbre asociada al valor patrón $V_P = 9\ 000$ [V].



| V_P [V] | \bar{V}_L [kV] | V_{L1} [kV] | V_{L2} [kV] | V_{L3} [kV] | V_{L4} [kV] |
|-----------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 0.5 | | | | |
| 3 000 | 3.125 | | | | |
| 6 000 | 6.5 | | | | |
| 9 000 | 8.875 | 8.5 | 9 | 8.5 | 9.5 |

- Con la regla B mostrada se midió la longitud del bloque de la figura, obteniéndose la tabla 1. Adicionalmente con la regla B se tomaron varias lecturas para diferentes valores patrones, se trabajaron los datos obtenidos y se obtuvo la tabla 2.

Tabla 1. (Valores en cm)

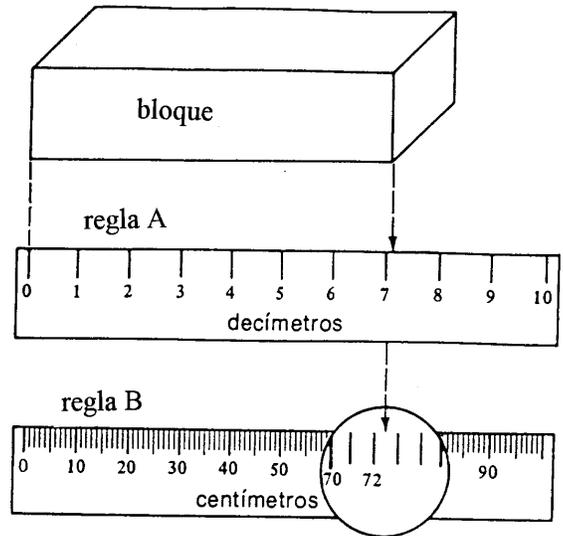
| Longitud del bloque (valor real) | V_{L1} | V_{L2} | V_{L3} | V_{L4} | V_{L5} |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 72.3 | 72 | 73 | 72.5 | 72 | 72.5 |

Tabla 2.

| V_P [cm] | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|------------------|------|------|------|------|------|----|------|------|
| \bar{V}_L [cm] | 10.5 | 19.6 | 29.0 | 40.2 | 50.1 | 60 | 70.3 | 80.2 |

Con base en la figura y en la tabla, obtenga:

- El rango y la resolución para ambas reglas.
- La exactitud de la regla B si el valor verdadero de la longitud del bloque es 72.3 [cm].
- La precisión de la regla B si el valor verdadero de la longitud del bloque es 72.3 [cm].
- La sensibilidad de la regla B.



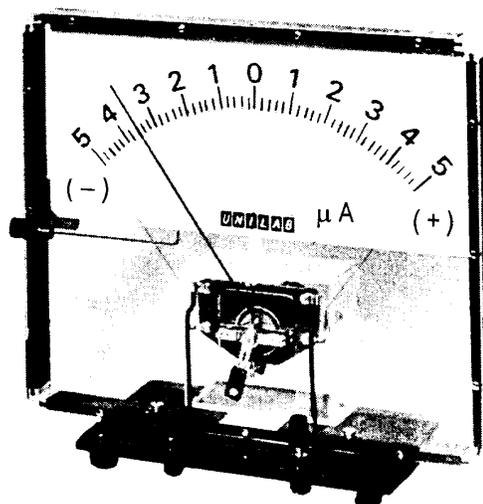
- Se desea caracterizar un termómetro; para ello se proporcionó a una sustancia energía en forma de calor y se tomaron varias lecturas de temperatura de la sustancia con el termómetro para compararlas con valores de temperatura teóricos (valores patrones). Parte de los datos se muestran en la tabla. Con base en ello, determine:
 - El porcentaje de exactitud para el valor patrón de 32 °C.
 - El porcentaje de precisión para el valor patrón anterior.
 - La sensibilidad del termómetro utilizado.
 - El modelo matemático de la curva de calibración de dicho instrumento.
 - El valor más representativo y su incertidumbre asociada en la medición del valor patrón de 32 °C.

| Q [kJ] | T_P [°C] | \bar{T}_L [°C] | | | | |
|--------|------------|------------------|----|----|------|------|
| 0 | 22 | 22 | | | | |
| 2.093 | 24 | 23.5 | | | | |
| 4.186 | 26 | 25 | | | | |
| 6.279 | 28 | 27 | | | | |
| 8.372 | 30 | 29.5 | | | | |
| 10.465 | 32 | 31.5 | 31 | 32 | 32.5 | 30.5 |

- En un laboratorio de física se caracterizó un microamperímetro, instrumento que sirve para medir corrientes eléctricas muy pequeñas, como el que se muestra en la figura. Parte de las mediciones que se tomaron se muestran en la tabla. Con base en ello, determine para el micro-amperímetro:

- El rango y la resolución, así como la lectura que muestra.
- El modelo matemático de la curva de calibración.
- El valor leído que se tendría si el valor patrón fuese $I_P = 3\ 200$ [nA].
- El significado físico de la pendiente y de la ordenada al origen del modelo matemático del inciso b y la expresión dimensional de cada una de ellas, en el SI.
- El porcentaje de exactitud que presentó el instrumento utilizado en el laboratorio para el valor patrón $I_P = 0.002$ [mA].
- El porcentaje de precisión para el valor patrón del inciso anterior.

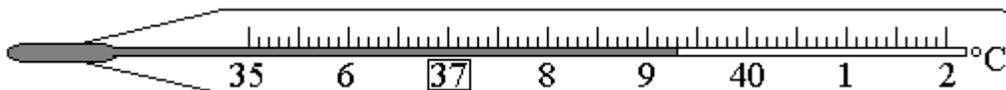
| I_P [mA] | \bar{I}_L [μA] | | | | |
|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| - 0.003 | - 2.85 | | | | |
| - 0.002 | - 2.22 | | | | |
| - 0.001 | - 0.88 | | | | |
| 0 | 0.2 | | | | |
| 0.001 | 1.1 | I_{L1} [μA] | I_{L2} [μA] | I_{L3} [μA] | I_{L4} [μA] |
| 0.002 | 2.05 | 2 | 2.2 | 2.2 | 1.8 |



12. En un laboratorio se busca caracterizar un termómetro para controlar cultivos de microorganismos. El termómetro es como el que se muestra en la figura con el cual se obtuvieron las mediciones de la tabla, contrastadas con temperaturas controladas con otro equipo más sofisticado que serán consideradas como temperaturas patrón; con base en la figura y en la tabla, determine para el termómetro:

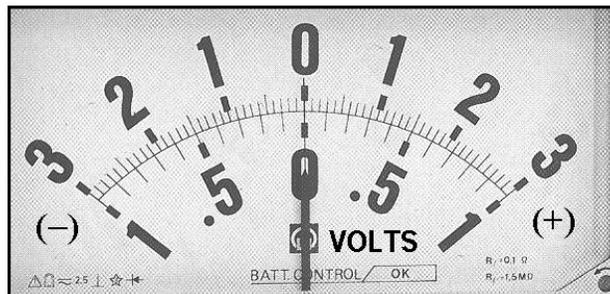
- El rango, la resolución y la lectura indicada.
- El porcentaje de exactitud si la temperatura patrón es $T_P = 42$ [°C].
- El porcentaje de precisión si la temperatura patrón es $T_P = 38$ [°C].
- La sensibilidad.
- La ecuación de la curva de calibración.
- La lectura más representativa, incluyendo su incertidumbre, para el valor patrón $T_P = 36$ [°C].

| T_P [°C] | \bar{T}_L [°C] | T_{L1} [°C] | T_{L2} [°C] | T_{L3} [°C] | T_{L4} [°C] |
|------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 36 | 36.05 | 36.1 | 36.1 | 35.9 | 36.1 |
| 38 | 37.95 | 37.8 | 37.9 | 38.0 | 38.1 |
| 40 | 40.05 | 39.9 | 40.2 | 40.0 | 40.1 |
| 42 | 41.9 | 41.8 | 42.0 | 41.9 | 41.9 |



13. En la figura se muestra la carátula de un voltímetro que se desea caracterizar. Sus terminales se conectaron a un resistor, se calcularon los valores teóricos de diferencia de potencial (voltaje) y se efectuaron las mediciones que se muestran en la tabla. Determine:

| V_P [V] | \bar{V}_L [V] | V_{L1} [V] | V_{L2} [V] | V_{L3} [V] | V_{L4} [V] |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| - 2 | - 2.075 | - 2.1 | - 2.1 | - 2.0 | - 2.1 |
| - 1 | - 1.125 | - 1.2 | - 1.2 | - 1.1 | - 1.0 |
| 0 | - 0.05 | - 0.1 | 0 | - 0.1 | 0 |
| 1 | 0.925 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| 2 | 1.825 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.9 |



- Las características estáticas, de la escala superior y de la inferior, del instrumento utilizado.
- La ecuación de la curva de calibración y la sensibilidad del instrumento.
- El porcentaje de exactitud para el valor patrón $V_P = - 1$ [V].
- El porcentaje de precisión para el valor patrón $V_P = 2$ [V].
- El valor más representativo de las mediciones y su incertidumbre asociada para el valor patrón $V_P = 1$ [V].

14. En un laboratorio se caracterizó un termómetro, utilizando como referencia (valores patrones) las lecturas de un termómetro como el que se muestra en la figura. Parte de las mediciones se muestran en la tabla. Accidentalmente una de las personas que participaron en el experimento manchó la tabla; si se sabe que el valor promedio oculto resultó menor que el valor patrón correspondiente, determine:



- El valor más representativo de las lecturas correspondientes al valor patrón $T_P = 23$ [°C].
- La temperatura más alejada. del valor promedio del inciso anterior, si se sabe que el valor de la primera es mayor que el promedio.
- La sensibilidad del instrumento de medición caracterizado, suponiendo que el valor promedio oculto por la mancha nos diera un porcentaje de error de exactitud igual a cero.

- d) El modelo matemático de la curva de calibración del termómetro, de acuerdo con el inciso anterior.
- e) La incertidumbre del conjunto de mediciones del valor patrón $T_P = 32$ [°C].

| | | | | | | |
|------------------|------|------|---|------|------|------|
| T_P [°C] | 17 | 20 | 23 | 26 | 29 | 32 |
| \bar{T}_L [°C] | 17.5 | 20.3 |  | 26.4 | 28.8 | 32.5 |
| %EE | | | 2.609 | | | |
| %EP | | | 1.786 | | | |

| | | | | | |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| T_P [°C] | T_{L1} [°C] | T_{L2} [°C] | T_{L3} [°C] | T_{L4} [°C] | T_{L5} [°C] |
| 32 | 32.6 | 32.8 | 32.2 | 32.4 | 32.5 |

Respuestas de los ejercicios propuestos

1. a) 0 a 5 [A]; 0.1 [A]
b) %P = 91.3 %
c) %E = 97.78 %
d) S = 1.0145 [A/A]
2. a) 0 a 22 [N]; 0.5 [N]
b) S = 1.005 [N/N]
c) %EE = 0.5556 %
d) %EP = 3.3149 %
3. a) $T_L [^{\circ}\text{C}] = 0.9393 [^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}] T_P [^{\circ}\text{C}] + 0.1024 [^{\circ}\text{C}]$
b) S = 0.9393 [1]
c) w = 5 [^{\circ}\text{C}]
d) %E = 75 %
e) %P = 80%
f) 1 [^{\circ}\text{C}]
g) $\pm 0.25 [^{\circ}\text{C}]$
h) $\dim(m) = 1; \dim(b) = \Theta$
4. a) 0 a 10 [N]; 0.1 [N]
b) %E = 84.3%
c) %P = 69.14%
d) S = 0.9823 [N/N]
5. a) %E = 99.6479%
b) %P = 97.4564%
c) S = 1.0031 [kg/kg]
d) $m_L [\text{kg}] = 1.0031 [\text{kg}/\text{kg}] m_P [\text{kg}] - 0.0029 [\text{kg}]$
e) $m = 2.0522 \pm 0.0131 [\text{kg}]$
6. a) $T_L [^{\circ}\text{C}] = 0.9997 [1] T_P [^{\circ}\text{C}] + 0.0209 [^{\circ}\text{C}]$
b) S = 0.9997 [^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}]
c) %E = 99.46%
d) %P = 97.83%
e) $T = 36.8 \pm 0.2549 [^{\circ}\text{C}]$
7. a) - 12 a 16 [^{\circ}\text{C}]; 2 [^{\circ}\text{C}]; 4 [^{\circ}\text{C}]
b) %E = 75 %
c) S = 0.9375 [^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}]
d) %P = 80 %
e) $T_L [^{\circ}\text{C}] = 0.9375 [1] T_P [^{\circ}\text{C}] + 0.075 [^{\circ}\text{C}]$
8. a) 0 a 10 [kV]; 0.5 [kV]; 7 [kV]
b) $V_L [\text{V}] = 0.95 [1] V_P [\text{V}] + 475 [\text{V}]$

- c) $m = S$; $\dim(m) = [1]$
 d) $\%EP = 7.0423\%$
 e) $\%E = 98.6111\%$
 f) $\Delta V = \pm 0.2394$ [kV]
9. a) Regla A: 0 a 10 [dm]; 1 [dm]; regla B: 0 a 100 [cm]; 1 [cm]
 b) $\%E = 99.86\%$
 c) $\%P = 99.17\%$
 d) $S = 1.0051$ [cm/cm]
10. a) $\%E = 98.44\%$
 b) $\%P = 96.83\%$
 c) $S = 0.9643$ [$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$]
 d) T_L [$^{\circ}\text{C}$] = $0.9643 [1] T_P$ [$^{\circ}\text{C}$] + 0.381 [$^{\circ}\text{C}$]
 e) $T = 31.5 \pm 0.4565$ [$^{\circ}\text{C}$]
11. a) -5 a 5 [μA]; 0.2 [μA]; -3.6 [μA]
 b) I_L [μA] = 1.0154 [$\mu\text{A}/\mu\text{A}$] I_P [μA] + 0.0744 [μA]
 c) $I_L = 3.3237$ [μA]
 d) $m = S$; $b = \text{error sistemático}$; $\dim(m) = 1$; $\dim(b) = I$
 e) $\%E = 97.5\%$
 f) $\%P = 87.8049\%$
12. a) 35 a 42 [$^{\circ}\text{C}$]; 1 [$^{\circ}\text{C}$]; 39.3 [$^{\circ}\text{C}$]
 b) $\%E = 99.7619\%$
 c) $\%P = 99.6047\%$
 d) $S = 0.9825$ [1]
 e) T_L [$^{\circ}\text{C}$] = 0.9825 [$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$] T_P [$^{\circ}\text{C}$] + 0.67 [$^{\circ}\text{C}$]
 f) $T_L = 36.05 \pm 0.05$ [$^{\circ}\text{C}$]
13. a) Escala superior; rango: -3 a 3 [V], resolución: 0.1 [V], legibilidad: buena.
 Escala inferior; rango -1 a 1 [V], resolución 0.1 [V], legibilidad: buena.
 b) V_L [V] = 0.985 [V/V] V_P [V] $- 0.1$ [V]; $S = 0.985$ [V/V]
 c) $\%E = 87.5\%$
 d) $\%P = 93.1507\%$
 e) $V_L = 0.925 \pm 0.025$ [V]
14. a) $\bar{T}_L = 22.4$ [$^{\circ}\text{C}$]
 b) $T_{ma} = 22.8$ [$^{\circ}\text{C}$]
 c) $S = 0.9895$ [$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$]
 d) T_L [$^{\circ}\text{C}$] = 0.9895 [$^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$] T_P [$^{\circ}\text{C}$] + 0.5167 [$^{\circ}\text{C}$]
 e) $\Delta T = \pm 0.1$ [$^{\circ}\text{C}$]