

Mediciones

1 La medición

La medida y la medición como procesos de cuantificar nuestra experiencia son tan habituales en nuestra vida que apenas nos damos cuenta de ello. Pesamos y medimos a los niños cuando nacen, se mide en todos los deportes. Nuestra sociedad es una sociedad sincronizada gracias a que podemos medir el tiempo y son muy pocas las cosas que podemos hacer sin un proceso de medición.

La medida está íntimamente unida a la experimentación científica. De hecho, con el perfeccionamiento de la medición, se desarrolla el método experimental, que tanto ha influido en la evolución de nuestra sociedad. El científico escocés Lord Kelvin dijo al respecto:

“Cuando uno puede medir aquello de lo que está hablando y expresarlo en números, sabe algo acerca de ello; pero cuando no puede medirlo, cuando no puede expresarlo en números, su conocimiento es escaso e insatisfactorio: podrá ser un principio de conocimiento, pero escasamente ha avanzado a una etapa de ciencia.”

Sin llegar a la rigidez de esta afirmación, las mediciones constituyen uno de los componentes básicos de la experimentación. No se alcanza un nivel satisfactorio de competencia en la experimentación sin un conocimiento de la naturaleza de la medición y lo que significa el enunciado de las mediciones.

Es nuestra intención proporcionar una introducción al tema de la medida y al proceso de medición, así como a la experimentación en general. El logro de tan amplio objetivo con nuestros experimentos elementales, dependerá de la actitud con que los abordemos.

1.1 Mediciones en Física

Las leyes de las ciencias experimentales se expresan en término de cantidades físicas, tales como:

- La fuerza
- La temperatura
- La velocidad
- La densidad
- El campo magnético
- La carga,

entre muchas otras. Estas cantidades físicas requieren de una definición clara, y de un método para medirlas.

La medición, en sí, es una técnica por medio de la cual se asigna un número a una cantidad física, a través de la comparación entre la cantidad considerada, y otra de la misma especie elegida como unidad de medida o, patrón.

1.2 Métodos de medición

En el laboratorio se suele clasificar a los métodos de medición en tres tipos:

Método directo: Se compara, directamente la cantidad a medir con el patrón. Ejemplo: la medida de una masa realizada con una balanza. En este caso se compara la masa que se quiere medir con una masa conocida.

Con aparatos calibrados: Se establece, por calibración, una relación entre una escala graduada y un patrón de medida. Para comparar se mide la posición en la escala. Ejemplo: al medir la temperatura del cuerpo con un termómetro, se lee en la escala graduada del termómetro. El termómetro indica la temperatura del cuerpo que se encuentra en contacto con él.

Método indirecto: Se establece el valor de la cantidad a medir, mediante la medida de otras cantidades, las cuales están relacionadas con ella mediante una definición o una teoría. Ejemplo: para medir la densidad de un cuerpo, se mide su masa y su volumen y operando matemáticamente con estas cantidades se determina la densidad.

2 Errores

Todas las cantidades físicas se miden, inevitablemente, con algún grado de incertidumbre, generada por las imperfecciones de los instrumentos de medida, por fluctuaciones estadísticas incontroladas durante el proceso de medición, o por a las limitaciones de nuestros sentidos. Por lo tanto, los resultados de las medidas nunca se corresponden con los valores reales de las magnitudes a medir, sino que, en mayor o menor extensión, son defectuosos, es decir, están afectados de error. Las causas que motivan tales desviaciones pueden ser debidas al observador, al aparato o incluso a las propias características del proceso de medida. Un ejemplo de error debido al observador es el llamado error de paralaje, que se presenta cuando la medida se efectúa mediante la lectura sobre una escala graduada. La situación del observador respecto de dicha escala influye en la posición de la aguja indicadora según sea vista por el observador. Por ello para evitar este tipo de error es preciso situarse en línea con la aguja, pero perpendicularmente al plano de la escala. Otros errores debidos al observador pueden introducirse por descuido de éste, por defectos visuales, etc.

Son, asimismo, frecuentes los errores debidos al aparato de medida. Tal es el caso del llamado error del cero. El uso sucesivo de un aparato tan sencillo como una báscula de baño hace que al cabo de un cierto tiempo en ausencia de peso alguno la aguja no señale el cero de la escala. Para evitar este tipo de error, los fabricantes incluyen un tornillo o rueda que permite corregirlo al iniciar cada medida. Variaciones en las condiciones de medida debidas a alteraciones ambientales, como pueden ser cambios de presión o de temperatura, o a las propias características del proceso de medida constituyen otras posibles fuentes de error. La interacción entre el sistema físico y el aparato de medida constituye la base del proceso de medida; pero dicha interacción perturba en cierto grado las condiciones en las que se encontraba el sistema antes de la medida.

Así, cuando se desea medir la tensión eléctrica existente entre dos puntos de un circuito con un voltímetro, una parte de la corriente se desvía por el aparato de medida, con lo que el sistema a

medir queda ligeramente perturbado. De igual modo, al medir una temperatura con un termómetro, se está provocando una cesión o absorción de calor entre termómetro y sistema hasta que se alcanza el equilibrio térmico entre ambos. En un cierto grado, el valor de la temperatura a medir se ha visto modificado al hacer intervenir el aparato de medida. En el ámbito de la física microscópica, tal perturbación, cuando existe, es controlable y puede reducirse hasta considerarse despreciable mediante un diseño adecuado del aparato de medida.

Por todo lo dicho, las cantidades físicas no se pueden expresar como un número real; sino como un intervalo. Así, por ejemplo, al medir una longitud L directamente con una regla, se encuentra que es igual a 12.3 cm; pero ¿podemos asegurar que ese es exactamente el valor de la longitud? Debido a nuestras limitaciones visuales es imposible decir precisamente donde cae el final del objeto sobre la regla; es entonces conveniente dar un **intervalo** dentro del cual podemos asegurar que se encuentra la longitud. Para determinar ese intervalo debemos preguntarnos cuales son los valores máximo y mínimo que puede tener esa longitud. Supongamos que en el ejemplo anterior se determinó que la longitud L está con toda seguridad entre 12.25 cm y 12.35 cm, este resultado se expresa de la siguiente manera: $L = (12.30 \pm 0.05)$ cm. Lo cual muestra que al sumar o restar 0.05 cm al valor central 12.30 cm, obtenemos los valores límites o fronteras del intervalo.

2.1 Error absoluto y error relativo

Como consecuencia de la existencia de diferentes fuentes de error, el científico se plantea hasta qué punto o en qué grado los resultados obtenidos son fiables, esto es, dignos de confianza. Por ello, al resultado de una medida se le asocia un valor complementario que indica la calidad de la medida o su grado de precisión. Los errores o imprecisiones en los resultados se expresan matemáticamente bajo dos formas que se denominan error absoluto y error relativo. Se define el error absoluto ΔE , como la diferencia entre el resultado de la medida M y el verdadero valor m_0 de la magnitud a medir:

$$\Delta E = M - m_0$$

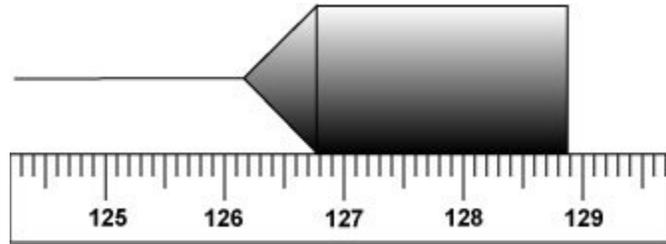
El error relativo E_{rel} es el cociente entre el error absoluto ΔE y el verdadero valor. Cuando se expresa en tanto por ciento su expresión es:

$$E_{rel}(\%) = \frac{\Delta E}{m_0} \cdot 100$$

En sentido estricto tales definiciones son únicamente aplicables cuando se refieren no a medidas físicas propiamente, sino a operaciones matemáticas, ya que el valor exacto de una magnitud no es accesible. Por ello, con frecuencia se prefiere hablar de incertidumbres en lugar de errores. En tal caso se toma como m el valor que más se aproxima al verdadero, es decir, el valor medio obtenido al repetir varias veces la misma medida.

2.2 Cómo estimar errores

2.2.1 Errores al medir escalas (de apreciación).



Este es el error más común cometido al realizar una lectura de la escala y tiene que ver con la mínima división que presenta dicha escala en el instrumento. Por ejemplo, cuando medimos la longitud de un péndulo que pivotea del extremo de una masa (ver figura), vemos que la medición está entre 128.88 y 128.89. El valor de confianza de la longitud puede expresarse de la siguiente manera:

$$L = (128.9 \text{ cm} \pm 0.1) \text{ cm}$$

Al primer término lo llamamos valor central, mientras que el segundo término es el error o la incerteza. La precisión de 0.1 cm es lo mejor que se puede lograr con el instrumento de medición (regla en este caso).

2.2.2 Errores en instrumentos digitales



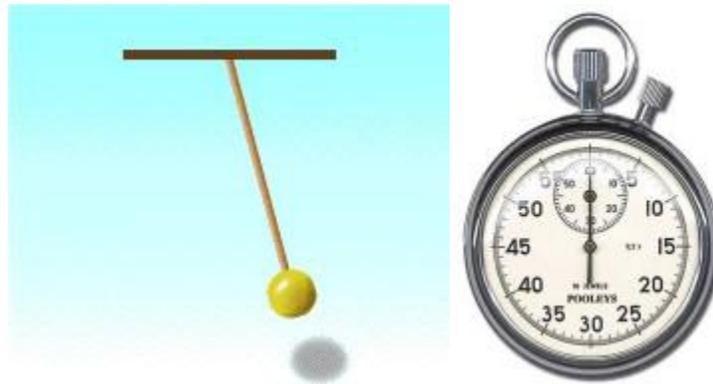
En los instrumentos digitales la lectura es directa como así también el valor central de la medición. En estos instrumentos, por lo general, el valor de la precisión suele venir especificado por el fabricante en el mismo instrumento. En caso de que no tengamos este dato, el error de apreciación es la mitad del valor del último dígito. Por ejemplo, para el caso de la figura la balanza está marcando 138.2 lb y la precisión sería ± 0.05 lb, por lo que la medición se puede reportar como:

$$M = (138.2 \text{ cm} \pm 0.05) \text{ lb}$$

2.2.3 Error estadístico o desviación estándar

No todas las mediciones están hechas con instrumentos cuyo error puede ser estimado en forma confiable. Un ejemplo clásico es la medición de intervalos de tiempo usando un cronómetro. Si bien el error del cronómetro está determinado por el fabricante, este error es despreciable respecto a otros errores dominantes, como por ejemplo el cometido por la persona que esté realizando la medición. El tiempo de reacción de la persona en detener y volver a iniciar el cronómetro cuando el péndulo pasa por una posición determinada es, por mucho, la mayor fuente de imprecisión. Dado que el ser humano no tiene una escala graduada o display digital incorporado, la pregunta es: ¿Cómo determinamos el error dominante?

La solución a este problema es repetir la medición muchas veces. El valor promedio de estas mediciones, con una alta probabilidad, será más cercano al verdadero valor que en el caso en que se realice una única medición.



De las mediciones de este experimento obtendremos:

Medición, i	1	2	3	4	5
Valor medido, x_i (s)	3.9	3.5	3.7	3.4	3.5
Desviación, d_i ($d_i = x_i - \bar{x}$)	0.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.1

$$\bar{x} = \frac{3.9 + 3.5 + 3.7 + 3.4 + 3.5}{5} \text{ s} = 3.6 \text{ s}$$

Note que N en la fórmula anterior representa la cantidad de valores a promediar. Ahora la pregunta es: ¿cuál es el error de nuestra medición? Una posibilidad es tomar la diferencia entre el valor más extremo y el promedio; por ejemplo: $(3.9 \text{ s} - 3.6 \text{ s}) = 0.3 \text{ s}$. El problema de este método es que se está realizando una sobreestimación del error.

Podríamos proponer como una forma posible de estimar el error, realizar el promedio de las desviaciones, pero puede demostrarse que esto nos dará siempre cero:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum d_i = \frac{0.3 + (-0.1) + 0.1 + (-0.2) + (-0.1)}{5} = 0$$

Otra forma posible de estimación del error es a través de la fórmula de la desviación estándar. Esta expresión tiene la virtud de que la desviación, al estar elevada al cuadrado, elimina el “problema” de las desviaciones negativas y, al calcular la raíz cuadrada, obtenemos la dimensión correcta del error de la magnitud física en cuestión:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum d_i^2} = \sqrt{\frac{0.3^2 + (-0.1)^2 + 0.1^2 + (-0.2)^2 + (-0.1)^2}{5}} \text{ s} = 0.2 \text{ s}$$

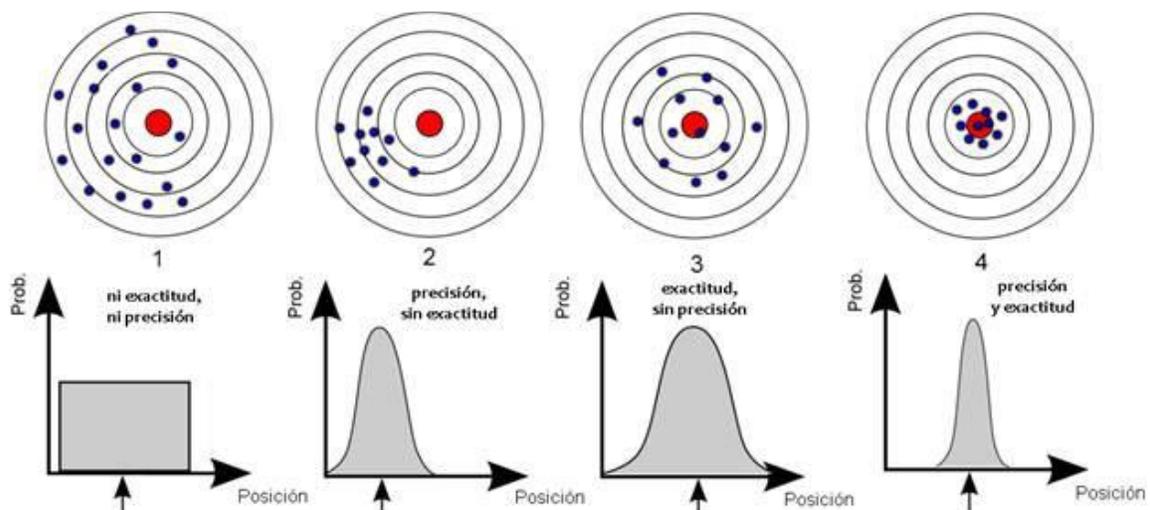
Note que, en algunos casos, para el cálculo de la desviación estándar se utiliza N-1 en lugar de N. Cabe destacar que esta diferencia es resultado de ciertas sutilezas matemáticas, lo cual no afecta nuestro razonamiento.

Por lo tanto, el resultado para este experimento de medición de péndulo se expresará de la siguiente forma:

$$T = \bar{x} \pm \sigma_x = (3.6 \pm 0.2) \text{ s}$$

3 Precisión versus exactitud

Este es un buen punto para poner en evidencia la diferencia entre exactitud y precisión. Esta diferencia está claramente evidenciada en el siguiente gráfico:



Básicamente, la exactitud en un proceso de medición de una variable física está determinada por cuán cerca está el valor más probable (obtenido a través del promedio) del valor verdadero (caso 3 y 4 son ejemplos de mediciones exactas). En cambio, la precisión está referida a la dispersión (estimada con la desviación estándar) de los valores de las mediciones alrededor del valor más probable (casos 2 y 4 son ejemplos de mediciones precisas).