PRACTICA 2 PROCESO DE MEDICIÓN

Introducción

Podemos considerar a la física, o al menos a las ramas de la física con las que ustedes ahora toman contacto, como una ciencia experimental.

La física como ciencia experimental, implica que los fenómenos observados presentan propiedades susceptibles de ser medidas. A estas propiedades se las denomina *magnitudes físicas* y medir significa determinarlas cuantitativamente. La posibilidad de tal cuantificación depende del mecanismo mediante el cual interactuemos con el fenómeno. O sea la cuantificación no siempre es inmediata y directa y requiere de un proceso que llamamos *proceso de medición*. En todo proceso de medición aparecen involucrados diferentes objetos y factores que lo afectan, tales como instrumentos de medida, unidades de medida, operarios, cálculos, fluctuaciones climáticas, etc. Debido a esto, y a otras razones más de fondo, no puede esperarse que la cuantificación sea un *valor exacto* inherente a la magnitud. El resultado de la medida será un valor representativo dentro de un intervalo de confianza, expresado en una unidad de medida apropiada.

El proceso de medición es importante en la actividad científica. Por ejemplo, los ingenieros que trabajan en diseño deben conocer las características de los materiales que planean utilizar. Es decir, caracterizar estos materiales a través de mediciones y, una vez realizadas estas mediciones, debe establecer su grado de incerteza en la medida.

En las ciencias básicas, el proceso de medición y el análisis del error están relacionados íntimamente con el método científico. El método científico funciona de la siguiente forma: en primer lugar, tratamos de describir alguna clase de fenómeno de la naturaleza a través de un modelo matemático simple. Analizamos el modelo ya sea analíticamente, con lápiz y papel, o a través de simulaciones numéricas, tratando de encontrar cuáles son las consecuencias o predicciones del modelo simple. Una vez obtenidas, las comparamos con experimentos y observaciones. Si existe un acuerdo entre lo predicho y lo observado, entonces decimos que hemos logrado, en algún sentido, comprender parte de la naturaleza. A pesar de que esta descripción simple del proceso científico es cruda y epistemológicamente criticable, nos muestra que tanto el surgimiento de nuevas teorías como la verificación de sus predicciones dependen de observaciones y mediciones.

Por experimentación entendemos el proceso completo de identificar una porción del mundo que nos rodea, obtener información de ella e interpretarla. Esta definición abarca una variedad muy grande de actividades del ser humano: desde un biólogo, hasta un industrial que desea hacer buen mercadeo de su producto.

Proceso de medición

En el proceso de medición intervienen cuatro aspectos:

i) ***el sistema objeto*.** Al cual queremos medir, por ejemplo la longitud de una mesa (l), o el tiempo de caída de un móvil por una rampa (t), etc.

ii) ***el instrumento de medición*.** Es decir, el aparato que usamos. En nuestros ejemplos anteriores una regla o cinta métrica para la longitud o un cronómetro para el tiempo.

iii) ***la unidad de medida***. Por ejemplo si queremos medir el largo de una varilla, el instrumento de medida puede ser una regla. Si hemos elegido el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad será el metro y la regla deberá estar graduada en esa unidad o submúltiplos. El método de medición consistirá en determinar cuantas veces la regla y fracciones de ella entran en la longitud buscada.

iv) ***el operador*** que toma las medidas

Dentro de la importancia del instrumento y de la unidad de medida tenemos su comparación con otro objeto 'patrón', reconocido universalmente, de manera de poder comparar medidas entre diferentes Países. Para nuestros objetos de longitud y tiempo, el cm (para longitudes pequeñas) y el s (para breves períodos de tiempo) podrían ser unidades útiles, pero no las únicas.

Esto último nos da una idea del por qué existen diferentes sistemas de unidades y/o múltiplos o submúltiplos de los mismos.

No tendría sentido expresar la distancia entre Montevideo y Punta del Este en cm (para esto tenemos un múltiplo que es el km. y que resulta claramente más apropiado) o la distancia Tierra-Sol en km (para esto existe una magnitud definida por los astrónomos como Unidad Astronómica (UA, 1UA=150 millones de km)).

Es tarea de un buen experimentador elegir la unidad más adecuada para el proceso de medición que está realizando y comunicarla claramente cuando da a conocer sus mediciones.

Tanto los instrumentos que usamos para medir y su escala, como el operador mismo, son fuente de incertezas al momento de medir.

Algunas definiciones

Precisión: es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren una de otra.

Sensibilidad: la relación de la señal de salida o respuesta del instrumento al cambio de la entrada o variable medida.

Resolución: el cambio más pequeño en el valor medido para el cual el instrumento responderá.

Incertidumbre[1]: la desviación del valor "verdadero" al valor medido.

Apreciación: es el mínimo registro en la escala de un instrumento.

El resultado final de un proceso de medición es, entonces, un número real, valor de una magnitud física, su unidad correspondiente y un intervalo de incerteza.

Clasificación de errores

Cuando hagamos mediciones e informemos de sus resultados debemos tener siempre en cuenta que las medidas no son simples números exactos, sino que consisten en intervalos, dentro de los cuales tenemos confianza de que se encuentra el valor esperado. *No existen reglas para determinar el tamaño del intervalo*, porque dependerá de muchos factores del proceso de medición. El tipo de medición, la figura de la escala,

[1] Muchas veces la incertidumbre en una medida es denominada como el error en la medida. Este término no es aconsejable utilizarlo, pues nos puede llevar equivocadamente a pensar que existe una medida exacta. Esto por el principio físico de la incertidumbre mecánico-cuántica no es posible.

nuestra agudeza visual, las condiciones de iluminación, todas tomarán parte en determinar la anchura del intervalo de medición. El ancho, por lo tanto, debe determinarse explícitamente cada vez que se haga una medición.

Los errores asociados a las mediciones pueden dividirse en dos grandes clases:

Errores sistemáticos. Los errores sistemáticos, tal como su nombre lo indica, se cometen de una misma manera cada vez que se mide. Muchos errores sistemáticos pueden eliminarse aplicando correcciones muy simples. Un ejemplo de la vida diaria está en el ajuste de cero que usted encontrará en las balanzas de baño o cocina. Otro caso de error sistemático es, por ejemplo, el asociado a la medición de la presión atmosférica con un barómetro de mercurio. Allí debe corregirse la lectura por la diferencia en los coeficientes de expansión térmica del mercurio y del material con que está hecha la escala del barómetro. Estos errores son llamados también errores corregibles o determinados, a fines de distinguirlos de los errores aleatorios, los cuales se encuentran en toda medición y están fuera del control del observador. Los errores sistemáticos no se manifiestan como fluctuaciones aleatorias en los resultados de las mediciones. Por lo tanto, dado que el mismo error está involucrado en cada medición, no pueden eliminarse simplemente repitiendo las mediciones varias veces [imagine, por ejemplo, que usted utiliza (sin darse cuenta) una regla a la que le faltan dos centímetros en el extremo del cero]. En consecuencia, estos errores son particularmente serios y peligrosos, y pueden eliminarse sólo después de realizar cuidadosas calibraciones y análisis de todas las posibles correcciones. Algunas veces, los errores sistemáticos se manifiestan como un corrimiento en valores medidos consecutivamente o como un cambio en el valor experimental medido cuando se cambia la técnica experimental de medición.

Errores aleatorios. Los errores aleatorios o accidentales, aparecen como fluctuaciones al azar en los valores de mediciones sucesivas. Estas variaciones aleatorias se deben a pequeños errores que escapan al control del observador. Por ejemplo, si leemos varias veces la presión indicada por la escala de un barómetro, los valores fluctuarán alrededor de un valor medio. Estrictamente hablando, nunca podremos medir el valor verdadero de ninguna cantidad, sino sólo una aproximación. El propósito del tratamiento de los datos experimentales es justamente determinar el valor más probable de una cantidad medida y estimar su confiabilidad.

Para tener una visión más intuitiva de la diferencia entre errores aleatorios y sistemáticos, observe la análoga presentada en la figura 1.

a) Debido a que las marcas de los disparos están muy cerca unas de otras, podemos decir que los errores aleatorios son pequeños. Debido a que la distribución de disparos está centrada en el blanco, los errores sistemáticos también son pequeños.

b) Los errores aleatorios son todavía pequeños, pero los sistemáticos son mucho más grandes –los disparos están sistemáticamente corridos hacia la derecha.

c) En este caso, los errores aleatorios son grandes, pero los sistemáticos son pequeños –los disparos están muy dispersos, pero no están sistemáticamente corridos del centro del blanco.

d) Aquí ambos errores son grandes.

En este caso, el experimento consiste en una serie de disparos hechos a un blanco de tiro. Aquí los errores aleatorios están producidos por cualquier causa que haga que los proyectiles lleguen aleatoriamente a distintos puntos. Por ejemplo, puede ser que las condiciones atmosféricas entre el arma y el blanco distorsionen la visión del blanco en forma aleatoria. Los errores sistemáticos ocurren cuando existe alguna causa por la cual los proyectiles impactan fuera del centro en una forma sistemática. Podría ser, por ejemplo, que la mira del arma estuviese desviada. La descripción de la figura 1 es la siguiente:

a) Debido a que las marcas de los disparos están muy cerca unas de otras, podemos decir que los errores aleatorios son pequeños. Debido a que la distribución de disparos está centrada en el blanco, los errores sistemáticos también son pequeños.

b) Los errores aleatorios son todavía pequeños, pero los sistemáticos son mucho más grandes –los disparos están sistemáticamente corridos hacia la derecha.

c) En este caso, los errores aleatorios son grandes, pero los sistemáticos son pequeños –los disparos están muy dispersos, pero no están sistemáticamente corridos del centro del blanco.

d) Aquí ambos errores son grandes.

A partir de la figura 1 también podemos definir con claridad dos palabras comúnmente utilizadas en el proceso de medición: precisión y exactitud. Diremos que una medición es precisa cuando la dispersión de los distintos valores obtenidos es pequeña, es decir, cuando los errores aleatorios son pequeños. Por otra parte, diremos que una medición es exacta cuando los errores sistemáticos asociados con ella son pequeños.

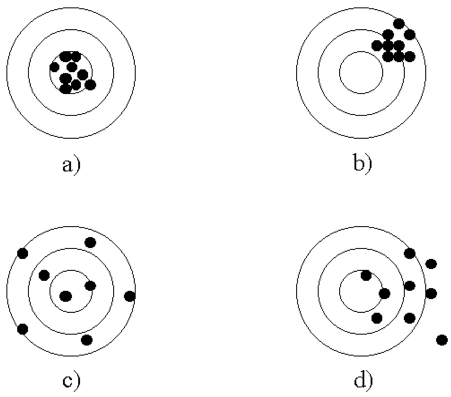

Figura 1. *Errores aleatorios y sistemáticos en un ejercicio de práctica de tiro.*

Aunque la figura 1 es una excelente ilustración de los efectos de los errores aleatorios y sistemáticos, es engañosa en cierto sentido. Debido a que hemos dibujado el blanco en cada una de las figuras, podemos ver fácilmente cuán exacto ha sido un disparo en particular. Es decir, la diferencia entre los casos a) y b) es evidente: claramente el error sistemático es grande en el caso b). En el laboratorio, sin embargo, no tenemos la referencia del blanco. Nadie nos muestra la posición relativa de los disparos respecto a una referencia externa. Saber la posición de los disparos respecto del centro del blanco equivale en la práctica a conocer el verdadero valor de la cantidad a medir, valor que, por supuesto, nos es desconocido en la inmensa mayora de los casos. Todo lo que podemos evaluar es la precisión de nuestras mediciones, que está relacionada con la dispersión de nuestros valores. La exactitud, dependiente de los errores sistemáticos que cometemos al medir, es más difícil de evaluar que la precisión. Como dijimos anteriormente, los errores sistemáticos pueden ser difíciles de encontrar, aunque tienen la ventaja de que una vez localizados pueden ser corregidos.

Como expresar el resultado de una medida

La forma correcta de escribir el resultado de una medición es dar la mejor estimación del valor de la cantidad medida y el rango dentro del cual se puede asegurar que este valor se encuentra. Convencidos de que no existe tal cosa como el valor *real* de una cantidad a medir, debemos conformarnos con saber dentro de qué intervalo estamos seguros que la cantidad a medir se encuentra. Supongamos, por ejemplo, que deseamos medir el diámetro de una esfera de granito con una regla, como lo muestra la figura.

Observando la figura 2, podemos decir que el diámetro de la esfera es con seguridad mayor que 16 mm y menor que 17 mm, pero no es posible dar una lectura más precisa. En este caso, expresaremos el resultado como

mejor estimación de la longitud = 16.5 mm,

rango probable: 16 a 17 mm.

Este resultado puede escribirse en forma más compacta como:

valor medido de la longitud = 16.5 ± 0.5 mm.

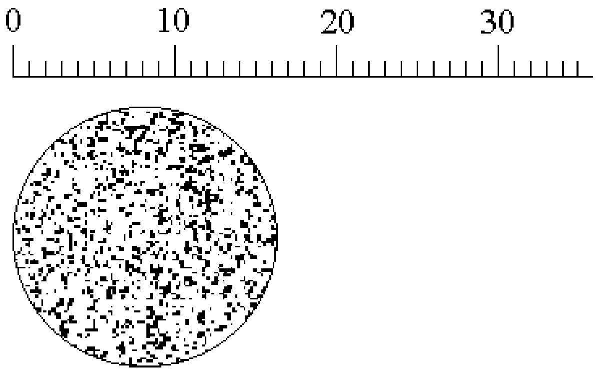

Figura 2. *Midiendo el diámetro de una esfera con una regla.*

Incertidumbre

Como venimos diciendo, toda medición por su propia naturaleza lleva asociada consigo un intervalo de incertidumbre. De esta forma el resultado de la medición se debe enunciar como sigue:

$$\textbf{Medida} \pm \textbf{Incertidumbre} \qquad [1]$$

No hay unificación de criterios para determinar dicho intervalo. A continuación citamos mediante algunos ejemplos criterios dados por diferentes autores para tal efecto:

Criterio 1: Supongamos que deseamos medir la longitud de un lápiz usando una regla cuya mínima división es 1 mm y obtenemos como resultado 9,8 cm. Aquí observamos que en el resultado de la medición no aparecen las décimas de mm debido a que la regla no las resuelve. Se dice entonces que la medida es incierta en 1 mm y se escribirá:

$$(9{,}8 \pm 0{,}1) \text{ cm}$$

Si la medida realizada con un calibre cuya mínima división está en las décimas de mm hubiera sido 9,84 cm, debemos escribir:

(9,84±0,01) cm

Criterio 2: Respecto a la misma situación otros autores preferirán tomar como intervalo de incertidumbre a la mitad de la mínima división del instrumento de medida, y sus resultados obtenidos con la regla y con el calibrador, los habrían reportado respectivamente así:

(9,80±0,05) cm y (9,840±0,005) cm

Criterio 3*:* Otros autores preferirían que un grupo de personas hiciera la medida permitiéndole a cada una "estimar" la porción de segmento entre dos líneas de la mínima división; es decir, se les permite dar una cifra dudosa. Así por ejemplo en el caso de la medida de la longitud del lápiz anterior utilizando la regla, diez personas podrían haber obtenido los siguientes resultados en cm:

9,82 9,83 9,82 9,84 9,85 9,83 9,84 9,85 9,84 9,82

¿Cómo se debería reportar el resultado de ésta medición? El promedio de la longitud realizado con una calculadora será 9,834 cm. ¿Podremos entonces decir que la longitud del lápiz es ésta? A primera vista parece correcto, pero si pensamos por un momento en la situación nos daremos cuenta de que hay algo que no está bien. Cuando cada persona medía estaba estimando centésimos de cm, por tanto el promedio no puede ser mejor que las mediciones hasta el punto de que ahora podamos dar un valor con milésimas de cm. Es decir el resultado de la medida deberá aparecer como 9,83 cm. Nos faltaría dar el intervalo de incertidumbre. Para ello lo mejor es calcular el valor absoluto de las desviaciones de cada medida respecto al valor medio y obtener de éstos el valor medio (conocido con el nombre de *desviación estándar*), Si ustedes lo hacen, obtendrán que el resultado es 0,01 por lo que el reporte será:

(9,83±0,01)cm

El resultado será más confiable cuantas más mediciones se realicen. Esta última opción es realmente muy atractiva pues nos da en algunas situaciones resultados con mayor precisión (recordemos lo que se argumentó en el parágrafo anterior). De todos modos sí se opta por él, se debe ser *muy cuidadoso* al hacer las "estimaciones". Tiene la desventaja que para una práctica de laboratorio de un curso de física general solo disponemos del tiempo necesario para hacer pocas medidas, pero aún así, en la mayor parte de las situaciones se puede lograr disminuir la incertidumbre.

Nota**:** En los aparatos de medición de marcas reconocidos, se incluye dentro de la información la "apreciación" del instrumento y bien se podría tomar ésta como la incertidumbre en la medida. De todas formas insistamos en que sólo el experimentador es el que más parámetros de decisión debe tener para juzgar que opción ha de tomar para calcular su incertidumbre en la medida. Esto depende mucho de cada situación en particular.

Incertidumbre estadística

Por ejemplo, cuando discutimos el caso de la medición de longitud del lápiz, podemos optar por el criterio estadístico (criterio 3). Por ejemplo, si usamos un contador o registrador Geiger para medir la actividad de una fuente radiactiva, y decidimos obtener, para una configuración dada, la cantidad de partículas en un intervalo de 10 segundos, encontraríamos que los resultados obtenidos al contar varios intervalos sucesivos varían. Podemos encontrarnos con la misma situación en mediciones que impliquen un discernimiento visual. Si por ejemplo, queremos encontrar la imagen formada por una lente delgada, no seremos capaces de determinar la posición de la imagen con suficiente exactitud como para obtener, en forma repetida, la misma lectura que en un buen medidor de alta precisión. Ya sea que la fluctuación sea inherente al sistema sujeto a investigación (como la fuente radiactiva, donde la fluctuación surge de la naturaleza esencial de la desintegración radiactiva espontánea), o que provenga de nuestras dificultades para efectuar la medición, debemos aprender a hacer afirmaciones sensatas sobre mediciones que muestren variaciones de este tipo.

Media, desviación estándar, histograma.

Cuando hay fluctuaciones al azar en las medidas como las descritas en el párrafo anterior, en general se supone que la distribución estadística de errores se aproxima a la denominada “distribución Gaussiana” o “normal”. Esta distribución se utiliza para interpretar muchos tipos de mediciones físicas, en parte debido a que las circunstancias mecánicas de muchas de éstas guardan estrecha correspondencia con los fundamentos teóricos de dicha distribución, y en parte porque la experiencia demuestra que la estadística Gaussiana proporciona una descripción razonablemente exacta de los sucesos reales.

Sólo para otro tipo común de mediciones físicas es más apropiada otra distribución: al observar fenómenos como la desintegración radiactiva debemos emplear la distribución conocida como “distribución de Poisson” de la cual no nos ocuparemos aquí. Pero aún en casos como éste, la diferencia con la estadística de Gauss resulta significativa sólo para muy bajos niveles de ocurrencia. Citemos un ejemplo para ilustrar la distribución Gaussiana: supongamos que se hizo oscilar un péndulo particular y se midió el tiempo de una sola oscilación cincuenta veces, y se obtuvieron los resultados de la siguiente tabla:

Tabla 1. Periodo del péndulo medido en segundos

3,12	3,18	3,25	3,32	3,32	3,18	3,18	3,00	3,35	3,08
3,62	3,33	3,30	3,42	3,27	3,28	3,28	3,20	3,63	3,32
3,33	3,28	3,15	3,12	3,20	3,27	2,90	3,27	3,15	3,00
3,17	3,18	3,20	3,18	2,98	2,97	3,15	3,38	3,17	3,45
3,58	3,52	3,35	3,33	3,38	3,18	3,27	3,37	3,27	3,02

Existe un método gráfico, que permite ver la distribución de **N** resultados de medidas (en este caso de lecturas del periodo de oscilación del péndulo). Tomemos un par de ejes coordenados. Si dividimos el eje **x** (horizontal) en intervalos pequeños de tamaño arbitrario **Δx,** podemos colocar en cada intervalo el número de observaciones **Δn** que caen en ese intervalo. Obviamente ΣΔn = N (Esta gráfica se conoce como **histograma** y tiene un aspecto como el de la figura 3).

Cuanto más grande sea el número **N** de medidas, más pequeño podemos hacer **Δx** sin perder la chance de tener un número considerable de medidas **Δn** en cada intervalo. En general en el histograma se grafican en barras las **frecuencias absolutas** (numero de medidas que caen dentro de un intervalo). También podemos graficar las **frecuencias relativas** (número de medidas que caen dentro de un intervalo sobre el total de las observaciones **Δn/N**).

El **promedio** de los datos y la **desviación estándar** se calculan así:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x}-x_i)^2}{N}}$$

Los histogramas pueden ser aproximados por una función continua bien definida, que depende de (**σ,** $\bar{x}$). Simplemente a efectos informativos les mostramos esta función:

$$\Delta n = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{-(\bar{x}-x)^2}{2\sigma^2}} \Delta x$$

La aproximación es mejor cuanto más grande es *N* y menor *Δx*. Por su forma a esta gráfica, y distribución de probabilidad que la origina, se la denomina **<u>Campana de Gauss</u>**, **σ** y $\bar{x}$ no modifican la forma de la gráfica, sino que actúan como factores de escala. Haciendo cuentas se puede demostrar que la curva presenta un máximo en $x = \bar{x}$, es simétrica respecto a este valor medio y sus puntos de inflexión están en $\bar{x} \pm \sigma$.

Figura 3

Esto es importante porque significa que la dispersión (**σ)** de la campana de Gauss da una idea del error asociado a la medida.

Debe relacionarse intuitivamente que el área encerrada entre dos puntos por la curva de Gauss, da una idea de la probabilidad que una medida caiga dentro de ese intervalo. Cerca del promedio la probabilidad es más alta, mientras que en los extremos se acerca a 0.

El valor de la medida generalmente se reporta como sigue:

$$\bar{x} \pm \sigma$$

Su interpretación es la siguiente: si efectuamos una sola medición con nuestro equipo, ésta tiene una probabilidad del 68% de estar incluida en el intervalo $\bar{x} \pm \sigma$ (geométricamente el área bajo la campana de Gauss comprendida en ese intervalo, es el 68% del área total).

Si el resultado se reportara como $\bar{x} \pm 2\sigma$ (como de hecho se podría hacer), se interpretaría diciendo que si efectuamos una medición con nuestro equipo, ésta tendría una probabilidad del 95% de caer en el intervalo $\bar{x} \pm 2\sigma$ (el área de la curva de la Gaussiana comprendida en este intervalo es el 95% del área total).

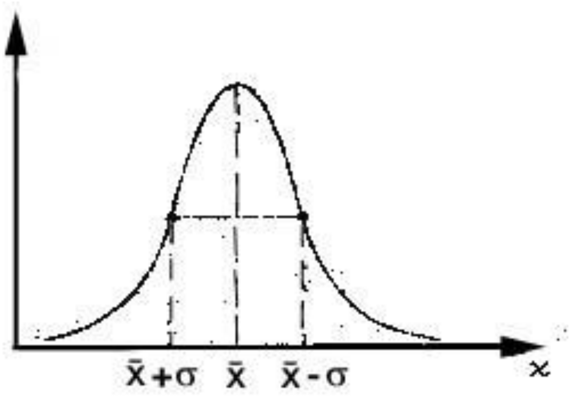

Figura 4

Obviamente la confiabilidad de los resultados aumenta con el número de mediciones. No es práctico hacer un análisis estadístico para menos de 20 mediciones, sobre todo si observamos grandes desviaciones estándar.

Para el caso expuesto de la medición del período del péndulo, cuyas medidas están reportadas en la tabla 1, el resultado se debe escribir como sigue:

$$3{,}25 \pm 0{,}12 \text{ s o } 3{,}25\text{s al } 4\% \text{de error}$$

aquí, 3,25 s es el valor medio del período y 0,12 s es la desviación estándar de la medida, o sea la incertidumbre estadística

Incertidumbre absoluta y relativa.

Cualquiera que sea el medio por el que hayamos hecho una medición, y cualquiera que haya sido el tipo de incertidumbre, el resultado final deberá ser un intervalo que representa, hasta donde nuestra capacidad lo garantice, los límites dentro de los que se encuentra el valor deseado. Por ejemplo en el caso de la longitud del lápiz usando la regla, sólo podemos afirmar que ésta se encuentra entre 9,82 cm y 9,84 cm. Como las cifras 0,01 cm representan la magnitud o intervalo en que la lectura 9,83 cm es incierta, se le llama la "incertidumbre absoluta" de la medida, y usaremos esta terminología. Además, otros aspectos pronto se vuelven importantes. ¿Cuán significativa es una incertidumbre de ±0,01 cm? Cuando medimos la longitud de un lápiz, es significativa hasta cierto punto. Si estamos midiendo la distancia entre dos ciudades, esa incertidumbre es probable que sea completamente insignificante. Por otra parte, si estamos midiendo el tamaño de una bacteria microscópica, una incertidumbre así haría que la medición careciera de sentido. Por esta razón, con frecuencia es deseable comparar la magnitud de la incertidumbre con el valor de la medición misma; haciéndolo así se puede evaluar en forma realista cuán significativa es ésta. Se define la razón:

$$\boxed{\text{incertidumbre relativa} = \frac{\text{incertidumbre absoluta}}{\text{valor medido}}} \qquad [2]$$

En el caso de la longitud del lápiz medido con la regla será:

$$\boxed{\begin{array}{l}\text{incertidumbre relativa} = \pm\dfrac{0{,}01}{9{,}83} = \pm 0{,}001 \\ \text{incertidumbre relativa} = 0{,}1\%\end{array}}$$

Esa cantidad nos da un sentido mucho mejor de la calidad de la lectura, y la llamamos la “precisión” de la medida. Observen que la incertidumbre relativa es un número adimensionado.

Para el caso de la medida del periodo del péndulo el resultado de reportará como: 3,25± 0,12 *s* o 3,25 *s al* 4% de error relativo. Aquí, 3,25 s es el valor medio del período y 0,12 s es la desviación estándar de la medida o la incertidumbre estadística absoluta. La incertidumbre relativa será del 4%.

Cifras significativas

Una vez que se haya obtenido la incertidumbre total del resultado final, se puede considerar el problema del número de cifras significativas que deben conservarse en el resultado.

No hay una respuesta única a la cuestión de las cifras significativas, pero, en general, no se deberían dejar cifras después de la primera cifra incierta. Por ejemplo: $5{,}4387 \pm 0{,}2$ debe señalarse como $5{,}4 \pm 0{,}2$, porque si el 4 es incierto, los 387 lo son mucho más. Sin embargo, si se conoce la incertidumbre con mayor precisión, puede estar justificado retener una cifra más. De este modo, si fuera el caso que la incertidumbre anterior es de 0,15, sería válido reportar la respuesta como $5{,}44 \pm 0{,}15$.

Las cifras significativas se cuentan de izquierda a derecha, a partir del primer dígito diferente de cero y hasta el dígito dudoso.

Por ejemplo, las siguientes cantidades tienen cuatro cifras significativas: 3,893; 0,00003245; $90.43\text{x}10^{-5}$. A continuación se dan unas reglas que serán de utilidad para trabajar con datos experimentales siendo conveniente tenerlas presentes:

Regla 1: Las medidas experimentales se expresan con sólo una cifra dudosa, e indicando con ± la incertidumbre en la medida.

Regla 2: Las cifras significativas se cuentan de izquierda a derecha, a partir del primer dígito diferente de cero y hasta el dígito dudoso.

Regla 3: Al sumar o restar dos números decimales, el número de cifras decimales del resultado es igual al de la cantidad con el menor número de ellas.

Caso especial: Un caso de especial interés es el de la resta. Citemos el siguiente ejemplo:

$$30{,}3475 - 30{,}3472 = 0{,}0003$$

Observemos que cada una de las cantidades tiene seis cifras significativas y el resultado posee tan solo una. Al restar se han perdido cifras significativas. Esto es importante tenerlo en cuenta cuando se trabaja con calculadoras o computadores en donde haya cifras que se sumen y se resten. Es conveniente realizar primero las sumas y luego las restas para perder el menor número de cifras significativas posible.

BIBLIOGRAFIA

D.C. BAIRD . EXPERIMENTACION -Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos-Prentice Hall, Segunda Edición, 1991

FINN Y ALONSO, FISICA -VOLUMEN I- Fondo Educativo Interamericano, 1970

JUAN G. ROEDERER, Mecánica Elemental, Cap. 1 - Manuales EUDEBA, 1986