Expresión de una lectura

Todas las cantidades físicas se miden con algún grado de incertidumbre o error generada por imperfecciones de los instrumentos de medida, por fluctuaciones que no se pueden controlar en el proceso de medición, o simplemente por la resolución del instrumento de medición o por las limitaciones de nuestros sentidos. Su estimación es muy importante a la hora de establecer conclusiones experimentales: ***las cantidades físicas no se pueden expresar como un número real sino como un intervalo.***

El resultado de una medición es un número (el valor de la cantidad medida), la incertidumbre y la unidad de medida: $\boldsymbol{x = (x_0 \pm \varepsilon)\, unidad}$ ((x_0: valor más probable o valor representativo, ε: error absoluto).

En general, en un dado experimento, todas las fuentes de incertidumbre estarán presentes, de modo que resulta útil definir el *error absoluto de la medición* ε como:

$$\varepsilon^2 = \varepsilon_{inst}^2 + \varepsilon_{est}^2 + \varepsilon_{sist}^2$$

Observación: El procedimiento de sumar los cuadrados de los errores es un resultado de la estadística y proviene de suponer que todas las distintas fuentes de error son independientes entre sí [1].

Cifras significativas

Para que los datos experimentales no digan más de lo que pueden garantizar (“asegurar”), de acuerdo con las condiciones de medida en que fueron obtenidos, es importante tener cuidado con el número de cifras que se emplean para expresar el resultado de una medición. El propósito de ello es incluir sólo aquellas que tienen algún significado experimental (y, por lo tanto, aportan alguna información). Tales cifras reciben el nombre de *cifras significativas*.

El siguiente ejemplo nos ayuda a entender la importancia de las cifras significativas en el resultado de una medición [2]. La aritmética nos dice 9 mm = 9,0 mm. Sin embargo, la Física nos dice que en el laboratorio 9 mm ≠ 9,0 mm. ¿Cómo entender estas afirmaciones?

-Supongamos que un observador mide x = 9,0 ± 0,1 mm. En este caso, el cero tiene información sobre la cifra de las décimas.

-Si otro observador trabajando con otro instrumento de medición puede informar sólo hasta 1 mm, entonces su lectura de la misma cantidad será x = 9 ± 1 mm.

Aritméticamente las dos lecturas son iguales pero físicamente no lo son: la primera informa sobre las décimas y la segunda, no.

Criterios

A la incertidumbre de una medición la expresaremos, en general, con una sola (máximo dos) cifra significativa (la primera cifra diferente de cero ubicada más a la izquierda). Esta limitación al número de cifras significativas impone la necesidad de redondear el resultado final, hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de cuál sea el número más próximo.

Error absoluto → una, o como máximo, dos cifras significativas.

Las cifras del error que tengan como último dígito un 5 o más de 5 se redondearán hacia arriba.

1- Los ceros a la izquierda (del primer dígito distinto de cero) ***no son*** significativos, indican la colocación del punto decimal. Ejemplos:

Número	***Cantidad de cifras significativas***
0.0026	2
0.0619	3
0.000003	1

2- Los ceros a la derecha (del primer dígito distinto de cero) y después del punto decimal ***si son*** significativos. Ejemplos:

Número	***Cantidad de cifras significativas***
21	2
21.00	4
3.4520	5
0.00600	3
0.30080	5

3- Todos los ceros entre dígitos significativos son significativos. Ejemplos:

Número	***Cantidad de cifras significativas***
9.052	4
9.052	4
206	3

4- Un número que no tiene punto decimal y que termina con uno o más ceros (como 42000), los ceros posteriores a la última cifra distinta de cero pueden o no considerarse significativos. Esta ambigüedad se evita utilizando la notación científica. Cuando están expresados en esta forma, todos los dígitos se interpretan como significativos. Ejemplos:

Número	***Cantidad de cifras significativas***
4.2×10^{4}	2
4.20×10^{4}	3
4.200×10^{4}	4
7×10^{-3}	1
7.0×10^{-3}	2

Notación Científica

Una forma más compacta de escribir un resultado es expresarlo en su equivalente *notación científica*. Un número en notación científica se escribe como el producto de un número (entero o decimal) y una potencia de 10 como se muestra en el siguiente ejemplo:

Número	Notación científica	
342000	3,42 x 10^5 potencia de 10	3,42 x 10 x10 x 10 x 10 x 10 = 342000

Esta notación es útil para expresar números muy grandes o muy pequeños.

Más ejemplos

A continuación se muestran ejemplos del resultado de una medida de la forma $x = x_0 \pm \Delta x$. Los resultados se expresan con una o dos cifras significativas.

Con 1 cifra significativa: x = (320 ± 2) m (error absoluto con 1 cifra significativa)

Con 2 cifras significativas: x = (321,22 ± 0,14) m (error absoluto con 2 cifras significativas)

Con 2 cifras significativas: x = (325,1 ± 2,3) m (error absoluto con 2 cifras significativas)

Con 1 cifra significativa: x = (320,326 ± 0,003) m (error absoluto con 1 cifra significativa)

Con 1 cifra significativa: x = (4,6 ± 0,1) °C (error absoluto con 1 cifra significativa)

Observar que el número de dígitos después de la coma en $\Delta \mathbf{x}$ y $\mathbf{x_0}$ es el mismo.

Referencias:

[1] S. Gil y E. Rodrigues, "Física re-Creativa", Prentice Hall, Argentina (2001).

[2] A. Maiztegui y R. Gleiser, "Introducción a las mediciones de laboratorio", Kapelusz, Buenos Aires, Argentina (1980).

Desafío para el estudiante

1- Reescribir (en caso de ser necesario) las siguientes velocidades con dos cifras significativas.

a- $v1 = (1{,}7581 \pm 0{,}1123)\, m/s$

b- $v2 = (1{,}68 \pm 1{,}26)\, m/s$

c- $v3 = (0{,}89385 \pm 0{,}0012)\, m/s$

d- $v4 = (2 \pm 0{,}11)\, m/s$

e- $v5 = (2{,}00 \pm 0{,}11)\, m/s$

2- Suponga que, a partir del cálculo con las cantidades medidas, se obtuvieron los siguientes valores de la cantidad F_0 y su correspondiente incertidumbre ΔF. Exprese de manera correcta el valor de la cantidad medida con su respectivo error (de la forma que lo presentaría en un informe de laboratorio).

a- $F_0 = 51251\, m$, $\Delta F = 325\, m$

b- $F_0 = 11{,}023\, m/s^2$, $\Delta F = 0{,}278\, m/s^2$

c- $F_0 = 39{,}4683\, g/cm^3$, $\Delta F = 0{,}9631\, g/cm^3$