ERRORES EXPERIMENTALES

Todas las medidas experimentales vienen afectadas de una imprecisión inherente al proceso de medida. Puesto que en éste se trata, básicamente, de comparar con un patrón y esta comparación se hace con un aparato (por simple que sea-una regla, por ejemplo- podemos incluirlo en la denominación generalizada de “aparato”), la medida dependerá de la mínima cantidad que aquel sea capaz de medir. Y esta cantidad va decreciendo con el progreso de la física en un proceso continuado, pero sin fin aparente. Es decir, que, aunque cada vez podamos dar la medida con más “decimales”, el siguiente “decimal” no podrá saberse ... por el momento.

Por lo tanto, podemos decir que las medidas de la física son siempre “incorrectas”. Dicho de una manera más “correcta”: si llamamos **error** a la diferencia que existe entre la medida y el valor “verdadero” de la magnitud, <u>siempre</u> existirá este error. Es, lo que podríamos llamar un “error intrínseco”, por inevitable.

Pero, el valor de las magnitud físicas se obtiene, como hemos indicado, experimentalmente. Es decir, por medición, bien *directa* de la magnitud cuyo valor deseamos conocer o bien *indirecta* por medio de los valores de otras magnitudes, ligadas con la magnitud problema mediante alguna ley o fórmula física. Por lo tanto, debe de admitirse como postulado que, aparte del “error intrínseco” que hemos señalado anteriormente, el proceso experimental lleva en sí otras imperfecciones que hacen que resulte imposible (incluso si prescindiéramos del “error intrínseco”) llegar a conocer el valor exacto de ninguna magnitud física, puesto que los medios experimentales de comparación con el patrón correspondiente en las medidas directas (las medidas “propiamente dichas”) viene siempre afectado por imprecisiones inevitables. De este modo, aunque es imposible, en la práctica, encontrar el valor “verdadero” o “exacto” de una magnitud determinada, a los científicos no les cabe duda de que existe; y nuestro problema consiste en establecer los límites dentro de los cuales estamos seguros de que se encuentra dicho valor (“*cota de error*”).

CLASIFICACIÓN DE LOS ERRORES

El error se define, tal como habíamos dicho, como *la diferencia entre el valor verdadero y el obtenido experimentalmente*. Los errores no siguen una ley determinada y su origen está en múltiples causas.

Atendiendo a las causas que lo producen, los errores se pueden clasificar en dos grandes grupos: *errores sistemáticos* y *errores accidentales*.

Se denomina error sistemático a aquel que es constante a lo largo de todo el proceso de medida y, por tanto, afecta a todas las medidas de un modo definido y es el mismo para todas ellas. Estos errores tienen siempre un signo determinado y las causas probables pueden ser:

- *Errores instrumentales* (de aparatos); por ejemplo, el error de calibrado de los instrumentos.
- *Error personal*: Este es, en general, difícil de determinar y es debido a las limitaciones de carácter personal. Como, por ejemplo, los errores de paralaje, o los problemas de tipo visual.
- *Errores de método de medida*, que corresponden a una elección inadecuada del método de medida; lo que incluye tres posibilidades distintas: la inadecuación del aparato de medida, del observador o del método de medida propiamente dicho.

Se denominan errores accidentales a aquellos que se deben a las pequeñas variaciones que aparecen entre observaciones sucesivas realizadas por el mismo observador y bajo las mismas condiciones. Las variaciones no son reproducibles de una medición a otra y se supone que sus valores están sometidos tan sólo a las leyes del azar y que sus causas son completamente incontrolables para un observador.

Los errores accidentales poseen, en su mayoría, un valor absoluto muy pequeño y si se realiza un número suficiente de medidas se obtienen tantas desviaciones positivas como negativas. Y, aunque con los errores accidentales no se pueden hacer correcciones para obtener valores más concordantes con los reales, si pueden emplearse *métodos estadísticos*, mediante los cuales se pueden llegar a algunas conclusiones relativas al valor más probable en un conjunto de mediciones.

CONCEPTOS DE EXACTITUD, PRECISIÓN Y SENSIBILIDAD

En lo que se refiere a los aparatos de medida, hay tres conceptos muy importantes que vamos a definir: *exactitud, precisión* y *sensibilidad*.

La exactitud se define como el grado de concordancia entre el valor “verdadero” y el experimental. De manera que un aparato es *exacto* si las medidas realizadas con él son todas muy próximas al valor “verdadero” de la magnitud medida.

La precisión hace referencia a la concordancia entre las medidas de una misma magnitud realizadas en condiciones sensiblemente iguales. De modo que, una aparato será *preciso* cuando la diferencia entre diferentes mediciones de una misma magnitud sean muy pequeñas.

La *exactitud* implica, normalmente, *precisión*, pero la afirmación inversa no es cierta, ya que pueden existir aparatos muy precisos que posean poca exactitud, debido a errores sistemáticos, como el “error de cero”, etc. En general, se puede decir que es más fácil conocer la precisión de un aparato que su exactitud (básicamente, debido a la introducción del término “verdadero”).

La sensibilidad de un aparato está relacionada con el valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir. Por ejemplo, decir que la sensibilidad de una balanza es de 5 mg significa que, para masas inferiores a la citada, la balanza no acusa ninguna desviación. Normalmente, se admite que la sensibilidad de un aparato viene indicada por *el valor de la división más pequeña de la escala de medida*. En muchas ocasiones, de un modo erróneo, se toman como idénticos los conceptos de precisión y sensibilidad, aunque ya hemos visto que se trata de conceptos diferentes.

Lo que estamos hablando (y hablaremos todavía un tiempo) de valores “verdaderos”, habrá que entenderlos como los que más tarde definiremos (básicamente, valores medios).

ERROR ABSOLUTO Y ERROR RELATIVO

Si medimos una cierta magnitud física cuyo valor "verdadero" es x_0, obteniendo un valor de la medida x, llamaremos error absoluto de dicha medida a la diferencia

$$\Delta x = x - x_0, \qquad (1)$$

en donde, en general, se supone que $\Delta x << |x_0|$.

El *error absoluto* nos da una medida de la desviación, en términos absolutos, respecto al valor "verdadero". No obstante, en ocasiones nos interesa resaltar la importancia relativa de esa desviación. Para tal fin, se usa el *error relativo*.

El error relativo se define como el cociente entre el error absoluto y el valor "verdadero":

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_0}, \qquad (2)$$

lo que, en forma porcentual se expresará como ε x 100 %.

Cuando indiquemos el resultado de una medida (o de un conjunto de medidas) de una magnitud, tendremos que indicar, siempre, el *grado de incertidumbre* de la misma, para lo cual acompañamos el resultado de la medida de sus error absoluto; expresando el resultado así

$$x \pm \Delta x.$$

De ordinario, y dado el significado de la cota de imprecisión que tiene el error absoluto, este, durante el transcurso de estas prácticas de laboratorio, no deberá escribirse con más de una cifra significativa* (aunque podrían admitirse dos cifras si estas no sobrepasan 24, pero esto se quedará para cursos posteriores). Si el error se ha obtenido con más de una cifra, se deberá a proceder a suprimir las posteriores, *aumentando en una unidad la primera, si la segunda fuera 5 o mayor que 5*.

El valor de la magnitud debe de tener sólo las cifras necesarias para que su última cifra significativa sea del mismo orden decimal que la última del error absoluto, llamada *cifra de acotamiento*.

Como ejemplo, damos las siguientes tablas de valores de distintas magnitudes (en la columna de la izquierda mal escritos y en la de la derecha correctos) para poner de manifiesto lo que acabamos de decir.

Valores incorrectos	Valores correctos
$3{,}418 \pm 0{,}123$	$3{,}4 \pm 0{,}1$
$6{,}3 \pm 0{,}09$	$6{,}30 \pm 0{,}09$
46288 ± 1551	$(4{,}6 \pm 2) \times 10^3$
$428{,}351 \pm 0{,}27$	$428{,}4 \pm 0{,}3$
$0{,}01683 \pm 0{,}0058$	$0{,}017 \pm 0{,}006$

Nota: Si un valor es leído de una *tabla* o algún otro lugar (que no tengan una mención expresa del error cometido), se tomará como si *todas sus cifras fueran significativas.*

*__Cifra significativa__

El número de dígitos con significado de una magnitud se llama *número de cifras significativas*. En general, ningún número puede tener más cifras significativas que las de los números a partir de los cuales se ha calculado. La regla para considerar un dígito como significativo es la de que el error absoluto de la medida debe de ser del *orden de magnitud* ** de este mismo dígito. Nosotros, para fijar ideas, adoptaremos el *convenio* de considerar que si una cifra es significativa, el error absoluto de la magnitud es al menos de una unidad de ese orden. Por ejemplo, si los números 300,06 y 0,00078 están escritos con todas sus cifras significativas, significará que sus errores son $\pm$ 0,01 y $\pm$ 0,00001, respectivamente.

En los cálculos con números muy grandes o muy pequeños estas consideraciones se simplifican en gran medida utilizando las potencias de diez (denominada a veces *notación científica*). Por ejemplo, la distancia de la Tierra al Sol es aproximadamente de 149 000 000 000 m, pero al escribir el número de esta manera no se está indicando, evidentemente (¡no se puede medir esta distancia con una precisión de 1 m!), el número de cifras significativas. Si el error que hemos cometido es del orden de 1000 Km, podemos escribir este número así: $149\,000 \times 10^6$ m. De esta forma es evidente que el número de cifras significativas es seis.

*__Orden de magnitud__

Cuando hablamos de *orden de magnitud* de un número nos estamos refiriendo al valor de un número que coincide aproximadamente con el orden de la primera cifra de aquel. Por ejemplo, en 1387,24 la primera cifra es el 1, que es del orden de "los miles"; en $3{,}5\times10^7$ el tres es del orden de "los diez millones"; en 0,00056, el cinco es del orden de "la diezmilésima; etc.

Esto lo podemos poner de una manera algo más sistemática de la manera siguiente: llamaremos <u>orden de magnitud de una medida</u> a la potencia de diez más baja de las dos entre las que está contenido el número. Por ejemplo, veamos los tres números citados más arriba:

1387,24 puede escribirse así: $10^3 < 1387{,}24 < 10^4$. Lo que quiere decir que de este número diremos que tiene un "orden de magnitud" de 10^3 o de "los miles".

Análogamente, $10^7 < 3{,}5\times10^7 < 10^8$. Es decir que de este número diremos que tiene un "orden de magnitud" de 10^7 o de "los diez millones".

También, $10^{-4} < 0{,}00056 < 10^{-3}$. O sea, que de este número diremos que tiene un "orden de magnitud" de 10^{-4} o de "las diez milésimas".

Naturalmente, estos valores habrá que tratarlos con sentido común (no se trata de un concepto preciso, sino “una manera de hablar científica”). Por ejemplo, si consideramos dos números tales como 99 y 101, la aplicación de la regla anterior nos diría que el primero tiene un orden de magnitud 1 y el segundo, 2. ¡Cuando la diferencia entre los dos es de tan sólo 2 unidades! Está claro que, en este caso, lo sensato es decir que ambos tienen el mismo orden de magnitud (y el lógico sería el 2).