"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 su conocimiento a la etapa de una ciencia"

Lord Kelvin, físico irlandés, siglo XIX.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este curso es aprender a usar el **Método Científico,** es decir, la metodología con que hacemos Ciencia. Eso empieza por observar la naturaleza y luego **medir** los parámetros producto de nuestra observación, para establecer correlaciones entre ellos. Para ello es necesario que nuestras mediciones sean **reproducibles** y que los instrumentos con los cuales hemos realizado tal medición hayan sido **calibrados** por comparación con **patrones**. También deberemos considerar que las medidas no son simples números exactos con sus **unidades**, sino que consisten en ***intervalos***, dentro de los cuales tenemos confianza que se encuentra el valor esperado. No existen reglas para determinar el tamaño del intervalo, ya que esto dependerá de muchos factores del proceso de medición. Este intervalo se conoce como el **error o la incerteza** en la medición, que no es lo mismo que una equivocación. Este error nos dice además cuantas cifras de nuestra medición tienen significado y por ende con cuantas **cifras significativas** debemos dar el resultado. La correlación así encontrada es nuestro **modelo** o **ley**. En este curso obtendremos este modelo y lo entregaremos dentro de un informe con una estructura que contendrá las ideas recién enunciadas. Una etapa importante en el desarrollo de este trabajo es el experimento exploratorio o de prueba, que conduce a la planificación del experimento propiamente tal. El experimento de prueba permite estimar el rango de medición adecuado, las posibles fuentes de **errores sistemáticos** y por ende su eventual eliminación, las posibles fuentes de **errores aleatorios** y su eventual disminución, y en general evaluar la mejor manera de realizar el experimento.

MEDIR (Medir, medición y medida **no son sinónimos.** Consulte que les diferencia)

Medir es comparar una magnitud física con otra de su misma clase que se ha elegido como unidad. Esta magnitud puede ser vectorial (si tiene propiedades direccionales) o escalar (si solo tiene tamaño, y a lo sumo signo). Al repetir mediciones de una misma magnitud en las mismas condiciones externas e internas, las medidas resultantes no tienen el mismo valor por lo que se produce una dispersión en las medidas registradas, que no se puede eliminar totalmente, pero si reducirse al mínimo. Esta dispersión se cuantifica y se le llama **error** en las medidas.

Postulemos que existe un valor único "verdadero" de la medida que llamaremos $\mathbf{X_0}$,. La diferencia entre cada valor medido, que llamaremos $\mathbf{X_i}$ y $\mathbf{X_0}$, es el **error** de esa medida, es decir :

$$E_i = X_i - X_0$$

En la práctica el valor de X_0, según sean sus creencias, solo lo conoce Dios o la Naturaleza, por lo que usaremos el promedio de las medidas, promedio que llamaremos $\mathbf{X_n}$ para definir el E_i :

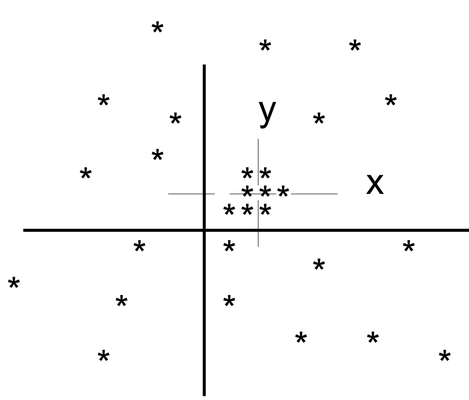
$$E_i = X_i - X_n$$

Así el resultado de la medida producto de todas las medidas se puede entregar con su error absoluto **Δ +/-** su error relativo o bien **ε %** , su error porcentual:

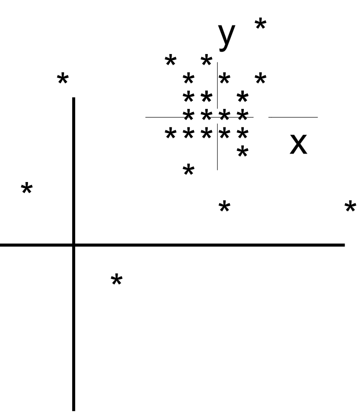
$$X_n \pm \Delta X \qquad\qquad \delta_r = \Delta X / X_n \qquad\qquad \varepsilon\,\% = (\Delta X / X_n)\,100$$

Si X_n se encuentra muy cerca del valor de X_0, la medida es **exacta**; de lo contrario será **inexacta** y significa que sistemáticamente las medidas están lejos del valor verdadero por lo que hablaremos de **errores sistemáticos.** La mayoría de las veces es posible detectar la fuente generadora, y así evitarlos.
En cambio, si tenemos una dispersión pequeña y las todas las medidas caen muy cerca de X_n , nuestras medidas son **precisas**; de lo contrario son imprecisas y hablaremos de **errores aleatorios**. Estos errores son inevitables pero pueden reducirse y manejarse usando una teoría que se verá al final de este capítulo.

Por ejemplo, pueden darse las situaciones siguientes:



Preciso y exacto



Preciso e inexacto

FUENTES DE ERROR : ORIGEN Y POSIBLES REMEDIOS

Los errores provenientes del proceso de adquisición de datos pueden ser:

a) **instrumentales** b) **de operación** c) **personales** d) **por montaje del equipo**.

a) Errores instrumentales.-

Ningún instrumento es perfecto, aunque sea de precisión y por ende puede presentar problemas de inexactitud como por ejemplo : valores que continuamente se adelantan o atrasan respecto al valor real, corrimiento del cero, escalas mal graduadas, etc. El efecto que tienen sobre todas las mediciones es que estas están sistemáticamente desviadas hacia un solo lado del valor verdadero. La forma de corregir estos errores es calibrar los instrumentos de medidas, es decir contrastar dichos instrumentos con patrones o con otros instrumentos ya controlados.

Existe también el efecto de paralaje, es decir una mala lectura de la escala de medición debida a una inadecuada posición del observador respecto de la escala. Ejemplo.: Si el observador lee la velocidad indicada en el velocímetro de un automóvil desde la derecha de la escala verá que marca XXX, pero si lo hace desde la izquierda leerá YYY, la solución es situarse justo frente a la escala y eso se puede controlar poniendo un espejo detrás de la aguja de modo de hacer la lectura cuando la aguja y su imagen especular coincidan .

También es posible que los instrumentos presenten problemas de inexactitud debido a:

- Efectos mecánicos de roce.
- Vibraciones.
- Fluctuaciones de temperatura.
- Rigidez insuficiente y otras irregularidades mecánica.

b) **Errores de operación o método**

Se presentan si en un proceso de medición no se consideran todas las variables que afectan al fenómeno en estudio, por ejemplo, el roce al analizar un fenómeno cinemático, o el efecto de la temperatura en la densidad o en la viscosidad de un líquido o gas, etc.

La mayoría de estos errores da lugar a resultados que se alejan hacia uno u otro lado del *valor verdadero* e inciden sobre la exactitud, son errores sistemáticos.

c) **Errores personales**

Son los que comete el observador al tomar datos, por ejemplo el tiempo de reacción, introducción de perturbaciones en el proceso de medir. Estos efectos se reducen o eliminan mediante la práctica.

d) **Errores provenientes del montaje del equipo**

Un mal montaje del equipo o sus componentes, puede dar lugar a errores tanto aleatorios como sistemáticos. Un buen montaje debe cumplir condiciones de: seguridad ya que si Ud. se accidenta no puede seguir midiendo, comodidad y fácil acceso ya que si Ud. se cansa no podrá terminar bien sus medidas. También hace cómodo y seguro su trabajo si su montaje es estable, está bien nivelado, es ordenado y limpio

Equivocaciones

Al registrar los datos, existe la posibilidad de que una medida resulte equivocada, por causas tales como, distracciones, mala lectura, manipulación inadecuada, etc., sin embargo, en la Historia de las Ciencias, resultados extraños de este tipo, han conducido a descubrimientos importantes. En cualquier caso es importante que todas las medidas se anoten, y si sospecha de alguna, márquela con asterisco, anotando abajo que aparentemente se trata de una equivocación. En tal caso no se usa en los cálculos y de todos modos vuelva a realizar dicha medición en las mismas condiciones anteriores.

Generalidades

Podemos concluir que todo resultado de una medición está sujeto a incerteza y que este resultado deberá siempre entregarse con su error correspondiente, algunos de los cuales son detectables y corregibles, ellos son los sistemáticos. Pero otros, los aleatorios son inevitables pueden minimizarse, pero no eliminarse del todo y existe toda una metodología y teoría elaborada que permite manejarlos y que veremos más adelante.

Para cuantificar estos errores se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Que la resolución está dada por la mínima división de la escala.
- Que es posible interpolar lo que depende del ancho de la división menor y de la apreciación personal del operador.
- El error indicado por el fabricante del instrumento de medida.
- Que la dispersión o desviación media de una serie de medidas, 3 o 4 repeticiones de una misma cantidad sirve también para analizar la reproducibilidad del proceso.
- Que el realizar medidas independientes permite detectar y eliminar errores sistemáticos.

- Que aunque podemos buscar las causas de esas distribuciones y dispersiones, en general, no es posible deducir algo respecto a la exactitud de las medidas después de observar los datos de un experimento. Sólo podemos detectar que si son buenos o malos si los comparamos con datos conocidos del mismo fenómeno o si medimos las mismas magnitudes por otros métodos.
- La existencia de errores sistemáticos en la medición de un fenómeno del que no hay antecedentes, es un problema que no tiene solución inmediata, y la opción que le queda al experimentador es tomar todas las precauciones para detectarlos y / o eliminarlos.

Algunas técnicas para eliminarlos como la calibración, la no consideración de todas las variables involucradas, etc, ya se han analizado y podemos agregar ahora :

- Dualidad de equipos, de modo que uno controle al otro.
- Uso de simetría, que consiste en un intercambio de los instrumentos dejando invariables las medidas.
- Tomar datos usando métodos diferentes e independientes.
- Efectuar el registro de datos en forma aleatoria, de esa forma se convierte un error sistemático en aleatorio. Como ejemplo para aclarar esta idea: al estudiar la elongación de un resorte en función de la carga, lo usual es agregar las masas en forma creciente: 10-20-30...gramos, de este modo se "arrastra" cualquier anomalía, pero si se hace al azar: 70-20-100-30...etc., se puede detectar y compensar un eventual efecto anómalo.

CIFRAS SIGNIFICATIVAS.-

Se denominan así a las cifras que se pueden garantizar con razonable seguridad. Por ejemplo, si se anota una longitud como 15,7 cm, se subentiende que fue medida con una apreciación de la décima de centímetro y que su valor real tiene alta probabilidad de estar entre 15,65 y 15,75, pero ello no se puede precisar mayormente a menos que se use un instrumento de mayor resolución. Por ello se entrega como 15,7 cm, es decir, con 3 cifras significativas.

Ejemplos: (*se destacan en* ***verde*** *las cifras significativas*)

454 tiene 3 cifras significativas
58,0 tiene 3 cifras significativas
0,322 tiene 3 cifras significativas
1,0080 tiene 5 cifras significativas
0,0353 tiene 3 cifras significativas
$1,118 \cdot 10^7$ tiene 4 cifras significativas.

El número de cifras significativas con que se anota el error **Δx** es ***una***, teniendo presente las reglas internacionales para redondear y aproximar.

Considere el siguiente ejemplo: en un experimento, luego de realizar todos los procedimientos y cálculos de rigor, se llega a un resultado final de **X = 14,678 ± 0,046 [cm]**. Para cumplir la norma dada en el párrafo anterior, se deben realizar los redondeos pertinentes, el error de 0,046 se deja en **una cifra signifcativa** como 0,05 y esto obliga a redondear también 14,678 a 14,68 , quedando como resultado final correcto :

X = 14, 68 ± 0, 05 [cm].

CÁLCULO DEL ERROR PARA UNA SERIE DE MEDIDAS REPETIDAS

El error absoluto **Δx** para una serie de repeticiones de una medida se determina experimentalmente, según sea el número de medidas:

1) Para 4 repeticiones o menos de la medida de una misma magnitud, lo mas adecuado es tomar la **desviación media** ρ como error en el promedio **<X>.**

La desviación media de un conjunto de hasta 4 medidas es el promedio de las desviaciones (d_i) de cada medida, considerando el valor absoluto de las desviaciones. Si se tienen **n** medidas cuyos valores son X_i, con $i = 1, 2,...n$, la desviación de la medida " i ", será :

$d_i = \langle X \rangle - X_i$, donde $\langle X \rangle$ es el promedio,

luego la expresión para la **desviación media** ρ**,** es:

$$\rho = 1/n \sum_{i=1}^{n} |di|$$

ρ es una estimación de la dispersión de las medidas respecto al promedio. Si los d_i son todos pequeños, significa que las medidas están cerca del promedio y son muy reproducibles y también que son precisas.

2) Para 5 o más medidas, los criterios estadísticos aconsejan tomar como error la **desviación típica σ_m** y que definiremos de la siguiente forma:

$$\sigma_m = \sqrt{1/n \sum (di)^2}$$

en que n es el número de medidas y donde σ_m corresponde al error absoluto de un conjunto de medidas.

3) Si al repetir, todas las medidas resultan iguales, el error absoluto se toma como igual a **la mitad de la menor división** de la escala. Pero si se usa un instrumento de alta precisión (por ejemplo, un vernier.), el error está dado por su ser su resolución. (Ver Apéndice II, páginas 38 y 39.).

4) Un error menor que la precisión del instrumento no tiene sentido. Es decir, no se puede mejorar la precisión aumentando el número de medidas, si el instrumento es poco preciso. El límite del error está determinado por la precisión del instrumento de medición.

5) Otro concepto necesario es la ***desviación estándar del promedio de medidas*** simbolizado como σ_{n-1} **.** Se lo define como :

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

o lo que es tambien aceptado y usado:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_m}{\sqrt{n-1}}.$$

Observaciones de interés :

1.- Las mayoría de las calculadoras, están programadas para entregar σ_{n-1} directamente. .

2.- En estadística se demuestra que en una *distribución de Gauss (ver Apéndice I),* ρ y σ_m están relacionados por:

$$\sigma_m = (\pi/2)^{1/2}\rho \qquad \text{o sea :} \qquad \rho \approx 0{,}8\,\sigma_m \qquad (\text{ ver Apéndice I })$$

si la relación anterior no se cumple, la distribución no es de Gauss. Esta prueba no tiene valor para n muy pequeño.

Ejemplos.-

a) Caso de n = 4 medidas de una misma magnitud (4 repeticiones de ella) :

Al pesar un trozo de madera se han obtenido los siguientes valores :

Peso	d_i
[g]	**[g]**
2,9365	0,0000
2,9360	0,0005
2,9368	- 0,0003
2,9367	- 0,0002

$\langle \mathbf{x} \rangle = 2{,}9365$ [g]; $\rho = 0{,}0003$ [g].

Entonces el peso del trozo de madera es: **2, 9365 ± 0, 0003 [g] .**

b) Caso de n > 5 medidas (5 o más repeticiones de la medida de una misma magnitud) :
Se pesó el mismo trozo de madera anterior :

Peso	d_i	d_i^2
[mg]	[mg]	$[\text{ mg }]^2$
2936,5	0,0	0,00
2936,0	0,5	0,25
2936,8	- 0,3	0,09
2936,7	- 0,2	0,04
2936,2	0,3	0,09
2936,8	- 0,3	0,09

Como n = 6, tenemos que :

$\langle \mathbf{x} \rangle = 2936{,}5$; $\Sigma\, d_i = 0$; $\Sigma\, d_i^2 = 0{,}56$; => $\sigma_m = 0{,}306 = 0{,}3$ **[mg]**

Se aproximó el error a una *cifra significativa*, y **la desviación típica del conjunto de medidas** en gramos, **es 0, 0003 [g].**

El resultado final es: ***Peso = 2,9365 ± 0 ,0003 [g]***

COMBINACIÓN (PROPAGACIÓN) DE ERRORES

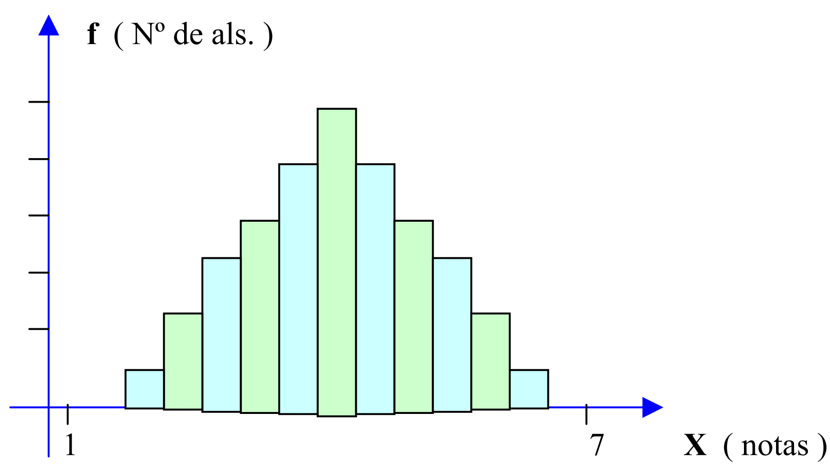
En muchos experimentos **no se mide directamente** una magnitud final, sino que ella es el resultado de operaciones matemáticas entre otras magnitudes físicas que si son medidas directamente.

Sea **Z** cierta magnitud final que resulta de operar magnitudes primarias como **A, B, C,** etc. Si cada una de estas magnitudes se mide varias veces, se tendrá como mejor valor **$\langle A \rangle$, $\langle B \rangle$, $\langle C \rangle$** etc. y una estimación de sus errores será anotada como : **Δa, Δb, Δc** , etc. Suponiendo que las medidas de estas magnitudes son <u>independientes</u> , se trata de calcular el error típico **Δz** en **Z,** a partir de los errores típicos **Δa, Δb, Δc,** etc. Aunque la discusión se restringe solo al caso de medidas independientes, ocasionalmente esta suposición no es válida.

Para analizar conjuntos de datos existen modelos que hablan de distribuciones teóricas bien definidas y que tienen propiedades constantes y ampliamente comprendidas. Muchas distribuciones teóricas de conjuntos de datos se han desarrollado para propósitos especiales, pero aqui solo nos ocuparemos de una sola: la distribución Gaussiana o “normal”, (*ver Apéndice I*).

La distribución de Gauss se utiliza para interpretar muchos tipos de mediciones físicas, en parte debido a que las circunstancias mecánicas de muchas mediciones físicas guardan estrecha correspondencia con los fundamentos teóricos de la distribución Gaussiana, y en parte porque la experiencia demuestra que la estadística Gaussiana sí proporciona una descripción razonablemente exacta de muchos sucesos reales. Sólo para otro tipo común de mediciones físicas es más apropiada otra distribución: al observar fenómenos como la desintegración radioactiva debemos emplear la distribución conocida como distribución de Poisson. Esta y otras, Ud. tendrá la ocasión de ver más adelante en otros cursos de la Facultad.

Una curva típica de esta distribución “ normal ” la constituyen las notas finales de este curso del año anterior.



Aceptando que nuestras magnitudes medidas **A**, **B**, **C,** etc. Están distribuidas siguiendo una distribución Gaussiana y que **Δa, Δb, Δc** ..etc. son sus errores típicos, usaremos una relación lineal que cubre un gran rango de situaciones, físicas tal es el caso de la función **Z** de varias variables en que el error típico **Δz** está relacionado con los errores de las magnitudes medidas así:

$$(\Delta z)^2 = (\Delta z_A)^2 + (\Delta z_B)^2 + (\Delta z_C)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

en que $\Delta z_A = (\delta Z / \delta A) \cdot \Delta a$ y así sucesivamente, por lo se pueden obtener expresiones para determinar el valor de **Δz**, en los siguientes casos u operaciones matemáticas:

a) **Suma o diferencia** :

Sea $Z \pm \Delta z = (A \pm \Delta a) +/- (B \pm \Delta b)$, el error que llamamos Δz , se obtiene:

$$Z = A + B$$

$\delta Z / \delta A = 1$ y $\delta Z / \delta B = 1$, lo que reemplazando en ecuación general, da :

$$(\Delta z)^2 = (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2$$

$$\Delta z = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Resultado igualmente válido para el caso de la diferencia, ya que $(\delta Z / \delta B)^2 = (-1)^2 = 1$

b) **Producto o cuociente** :

Sea $Z \pm \Delta z = (A \pm \Delta a) (B \pm \Delta b)$, el error Δz se obtiene:

$$Z = AB$$

$\delta Z / \delta A = B$ y $\delta Z / \delta B = A$, lo que reemplazando en ecuación general da:

$(\Delta z)^2 = B^2 (\Delta a)^2 + A^2 (\Delta b)^2$, dividiendo por $Z^2 = A^2B^2$, resulta

$$\Delta z = Z \sqrt{(\Delta a/A)^2 + (\Delta b/B)^2}$$

Resultado igualmente válido para el cuociente, !demuéstrelo!.

c) **Variables elevadas a potencias** :

Sea $Z \pm \Delta z = (A \pm \Delta a)^n$, el error Δz se obtiene:

$$Z = A^n$$

$$\delta Z / \delta A = n \cdot A^{n-1}$$

$$\Delta z = n \cdot A^{n-1} \Delta a$$

i) La fórmula anterior también es válida para n negativo o fraccionario ($n \in$ a los reales)
ii)Ninguna teoria de errores es válida si el error porcentual es del orden del 30 %.

d) **Multiplicación de una variable por una constante** :

Sea $Z \pm \Delta z = K \cdot (A \pm \Delta a)$, el error Δz se obtiene:

$$Z = KA$$

$$\delta Z / \delta A = K$$

$$\Delta z = K \cdot \Delta a$$

Reglas operatorias:

1) Sólo los errores mayores necesitan ser considerados en el cálculo. Como ejemplo, consideremos la suma de las longitudes de dos objetos A y B :

Sea $A = 20 \pm 1$ [mm]; y $B = 14 \pm 3$ [mm].

La suma es **z = 34 [mm],** y el error en esta suma , está dado por :

$$\Delta z = \sqrt{(1^2 + 3^2)} = \sqrt{(1+9)} \approx \mathbf{3} \text{ [mm]},$$

que es el mismo que se obtendría ignorando el error en A. La conclusión es que, en general, **los errores inferiores en un factor 3 o más al mayor error, pueden ser ignorados,** en buena aproximación.

2) Al efectuar un producto o un cuociente, los errores relativos se suman según las mismas reglas. También aquí, pueden despreciarse los errores porcentuales pequeños frente a los más grandes (en un factor 3 o 4).

Veamos un ejemplo: sean los valores **A** y **B** del ejemplo anterior y se desea calcular el área **S = AB** con su error **Δs.**

$A = 20 \pm 1$ [mm], el error relativo $\Delta a / A = 1 / 20 = 0{,}05$ o 5 %

$B = 14 \pm 3$ [mm], el error relativo $\Delta b / B = 3 / 14 = 0{,}23$ o 23 %

Entonces $S = AB = 280$ [mm^2] tiene un error relativo $\Delta s / S$, dado por :

$$\Delta s / S = \sqrt{(\Delta a / A)^2 + (\Delta b / B)} = \sqrt{(0{,}05)^2 + (0{,}23)^2} = 0{,}24$$

En este caso se puede despreciar $0{,}05^2$ frente a $0{,}23^2$. Luego $S = 280$ [mm^2] ± 23 %. El 23 % de 280 es 64, por lo cual se dará el resultado :

$$\mathbf{S = (2{,}8 \pm 0{,}6) \cdot 10^2 \text{ [} mm^2 \text{]}}$$

Para el cuociente se usa la misma regla anterior. Con los mismos valores del ejemplo anterior, se calcula el cuociente $C = B/A$; el error relativo es el mismo del producto $A \cdot B$, o sea 23 %. Como $B/A = 0{,}7$ y el 23 % de 0,7 es 0,2 el resultado final se escribirá:

$$\mathbf{C = 0{,}7 \pm 0{,}2}$$ *(Note que un número X y su recíproco 1/X tienen el mismo error porcentual)*

Comentarios prácticos sobre errores, su propagación y tratamiento.

Consideremos el siguiente ejemplo: en la determinación experimental de la densidad de un cilindro, un grupo obtuvo los siguientes valores:

diámetro $\phi = 5{,}80 \pm 0{,}05$ [mm]
largo $l = 19{,}50 \pm 0{,}05$ [mm]
masa $m = 4{,}520 \pm 0{,}005$ [mm].

Calcularon la densidad correctamente como 8,84 [g / cm^3]; el error se calcula mediante las fórmulas dadas antes y que corresponden a las operaciones aritméticas involucradas. Sin embargo, hay aspectos de **criterio** que conviene destacar y que facilitan el trabajo:

1.- Si se convierte el error absoluto en porcentual, aunque sea en forma aproximada, se tiene para el diámetro un error de 0,05 [mm] como parte de unos 6 [mm] y esto es alrededor del **1 %**. Para el largo, tenemos un error de 0,05 [mm] en unos 20 [mm], que es más o menos el **0,25 %**. Analogamente para la masa, resulta un **0,1 %**. El diámetro aparece en los cálculos, elevado al cuadrado por lo que el **1 %** inicial se duplica al **2 %**. Note que hasta aquí los cálculos han sido sencillos, se pueden hacer incluso sin calculadora, mentalmente.

2.- Así, el error en la densidad es del orden del **2 %** y este valor sobre 8,84 [g / cm^3], para pasar al error absoluto da : **8 ,8 ± 0 ,2 [g / cm^3]**, redondeando a una cifra significativa. Este error es igual al que se obtiene si se usan las fórmulas de propagación o combinación de errores.

3.- Si se hubiesen hecho estos cálculos al comenzar el experimento, los componentes del grupo se habrían dado cuenta que la mayor contribución al error en la densidad, proviene del diámetro, luego los esfuerzos para reducir este error, deberían haber sido en esa dirección.

4.- El método de considerar los **errores porcentuales** es rápido, permite apreciar las magnitudes que influyen más en el error final y por último, conduce a un resultado de bastante precisión.

5.- Se destaca, sin embargo, que lo convencional es entregar el error final como un error absoluto. Los **porcentajes** se usan solo en cálculos intermedios.

EJERCICIOS .-

1) Al usar un metro de madera para medir la longitud de un escritorio, Ud. se convence que este no mide menos de 142.3 cm y no más de 142.6 cm. Exprese esta medición como un valor central y su error o incertidumbre. Diga también cual es la incertidumbre relativa de la medición.

Resp.: 142.5 ± 0.2 cm; 0.0014.

2) Al leer un voltímetro y un amperímetro de aguja y escala Ud. concluye que la lectura del amperímetro está entre 1.24 y 1.25 A, y la del voltímetro entre 3.2 y 3.4 V. Exprese cada medida como un valor central ± la incertidumbre, y evalue el error porcentual en cada medición.

Resp.: 1.245 ± 0.005 A, 3.3 ± 0.1V ; 0.4% , 3%.

3) Un reloj digital da una lectura de la hora de 09:46. ¿ Cuál es la incertidumbre absoluta de la medida ?

Resp.: 0.5 min.

4) Si se puede leer un metro de madera con un error absoluto de ± 1 mm, ¿cuál es la distancia más corta que puede medir para que el error porcentual no exceda el : a) 1% y b) 5% ?

Resp.: a) 10 cm; b) 2 cm.