

I. METODOS GENERALES DE LABORATORIO

1. LAS MEDIDAS EXPERIMENTALES Y SUS ERRORES

1. INTRODUCCION

El objetivo fundamental de la Física es la descripción y cuantificación de los fenómenos físicos y para ello es imprescindible medir lo observado. De ahí que también a la Física se la denomine la ciencia de las medidas.

El objetivo de una experiencia es, en general, el conocer el valor que tiene una determinada magnitud física.

Imaginemos la siguiente experiencia: Deseamos conocer cómo varía la densidad de un líquido con la temperatura. Para ello efectuamos dos experiencias distintas y obtenemos los resultados que se presentan en las tablas A y B:

<u>Tabla A</u>		<u>Tabla B</u>	
T(°C)	d (g/cm ³)	T (°C)	d (g/cm ³)
40	0'8015	40	0'80
30	0'8017	30	0'80
20	0'8019	20	0'80
10	0'8021	10	0'80

Podemos apreciar que ambas llevan a interpretaciones contradictorias, de la tabla A se puede deducir que la densidad de este líquido disminuye al aumentar la temperatura, mientras que de la tabla B se podría deducir que la densidad del mismo líquido no depende de la temperatura en el rango de 10° a 40° C.

Este ejemplo nos indica que es muy importante el número de cifras al que le demos significado y es por ello necesario algún indicador que nos garantice la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Estas consideraciones se traducen en la necesidad de conocer además del valor numérico de la medida efectuada, otro valor asociado a ella que nos garantice la fiabilidad de éste.

Es necesario introducir en este momento tres conceptos asociados a una medida experimental de una medida directa: exactitud, sensibilidad y precisión.

Se entiende por exactitud la cercanía del valor experimental obtenido, con el valor "exacto" de dicha medida. El valor "exacto" de una magnitud física es un concepto utópico, ya que es imposible conocerlo sin incertidumbre alguna.

Por ello, como valores "exactos", se toman resultados de experiencias con dispositivos muy fiables y efectuados con un control experimental muy riguroso. De tal forma que, las determinaciones efectuadas en el laboratorio son más o menos exactas en relación a éstos valores supuestamente exactos.

Así por ejemplo: En una determinación del valor de la gravedad en un punto de la superficie de la Tierra con un procedimiento experimental muy fiable, se obtiene que su valor es 9'803 m/s², mientras que con tres procedimientos distintos se obtiene 9'810, 9'804 y 9'820 m/s². El valor de 9'804 es el más exacto de los tres.

La sensibilidad es un concepto relacionado con el dispositivo experimental.

Así, si se desea determinar la longitud de una varilla metálica empleando una cinta métrica graduada en milímetros, se puede asegurar que la mínima fracción que se puede detectar es 1 mm, mientras que si se

utiliza un método basado en técnicas microscópicas se podrán determinar fracciones más pequeñas de longitud. Se puede definir la sensibilidad como la unidad más pequeña que puede detectar un instrumento de medida.

La sensibilidad está relacionada con el error absoluto de una medida efectuada directamente como se verá más adelante.

El concepto de precisión también hace referencia al método experimental utilizado y se entiende como la repetibilidad dentro de los márgenes más estrechos posibles de los resultados experimentales obtenidos al realizar varias veces una misma experiencia en las mismas condiciones

2. REGISTRO DE MEDIDAS Y SUS ERRORES

2.1. ERROR ABSOLUTO Y ERROR RELATIVO

Como es sabido, todas las medidas realizadas experimentalmente vienen afectadas de cierta imprecisión inevitable, y uno de los principales objetivos del denominado cálculo de errores consiste, precisamente, en acotar el valor de dichas imprecisiones denominadas de ordinario, aunque no sea de forma afortunada, errores experimentales.

Dado que el valor de las magnitudes físicas se obtiene experimentalmente por medida (bien directa de la magnitud, o bien indirecta por intermedio de los valores medidos de otras magnitudes ligadas con el problema por una fórmula física), debe admitirse como un postulado físico el hecho de que resulta imposible llegar a conocer el valor exacto de ninguna magnitud, ya que los medios experimentales de comparación con el patrón correspondiente en las medidas directas vienen siempre afectados de imprecisiones inevitables. Por ello, hemos de contentarnos forzosamente con un valor aproximado de la magnitud, aunque resulte acotado por la sensibilidad (error absoluto) del método de

medida utilizado.

Así pues, el resultado de cualquier medida no debe ser nunca un simple valor V , sino que éste debe venir acompañado de su cota de error denominada error absoluto E_a , o índice de la sensibilidad del método de medida utilizado; o del índice de la precisión de la medida denominado de ordinario error relativo E_r . La determinación de ambos errores constituye el objeto de las reglas del denominado cálculo de errores, que comprende diversos métodos según los diversos problemas que se irán considerando.

De todas formas existe siempre entre ambos errores la relación:

$$E_r = \frac{E_a}{V} \quad (1)$$

que puede aplicarse en todo momento para obtener uno de ellos conocido el otro. Por ello sólo se aplica de ordinario, en las reglas del cálculo de errores, el método de determinación de uno de ellos. Queremos recordar que los errores relativos se suelen expresar en tanto por ciento, es decir, la relación anterior se utiliza en la práctica en la forma:

$$E_r = 100 \frac{E_a}{V} \quad (2)$$

El error relativo nos expresa el tanto por ciento del valor de la magnitud que no es fiable.

2.2.-EXPRESION DE LOS VALORES DE LAS MAGNITUDES Y SUS ERRORES

El error absoluto es un índice de la fiabilidad de la medida y en general se coloca detrás de ésta precedido por el signo (\pm). Si en el estudio de la variación de la densidad de un líquido con la temperatura introducimos los errores absolutos cometidos, tendríamos:

T (°C)	d (g/cm ³)
40'0 ± 0'1	0'8015 ± 0'0001
30'0 ± 0'1	0'8017 ± 0'0001
20'0 ± 0'1	0'8019 ± 0'0001
10'0 ± 0'1	0'8021 ± 0'0001

De ordinario, y dado el significado de cota de imprecisión que tiene el error absoluto, éste jamás debe tener más de dos cifras significativas, admitiéndose, por convenio, que el error absoluto sólo puede darse con dos cifras significativas si la primera de ellas es un 1, ó, en casos extremos, si siendo un 2 la segunda no llega a 5. En todos los otros casos debe darse un valor con una sola cifra significativa, aumentándose en una unidad si la segunda hubiera de ser cinco, o mayor de cinco.

Además el valor de la magnitud debe 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 del valor.

Como ejemplo damos una tabla de valores incorrectos y correctos:

<u>Números incorrectos</u>	<u>Números correctos</u>
3'418 ± 0'123	3'42 ± 0'12
6'3 ± 0'085	6'30 ± 0'09
46'288 ± 1'553	46'3 ± 1'6 (4'63 ± 0'16) × 10 ¹
428'351 ± 0'27	428'4 ± 0'3
0'01683 ± 0'00169	0'017 ± 0'006 (1'7 ± 0'6) × 10 ⁻²

2.3.-CALCULO DE ERRORES

Para obtener el error absoluto de una medida hay que distinguir si ésta se obtiene directamente o a partir de otras medidas. Así, la medición de una varilla con una cinta métrica es un ejemplo de medida directa. La determinación de la densidad de un cuerpo a través de la medición de su masa y su volumen por separado, lo es de una medición indirecta.

(a) Error absoluto de una magnitud medida directamente

Se dice que una medida es directa cuando se determina por la utilización de un único instrumento de medida aplicado al sistema que queremos medir. En estos casos lo primero que hay que hacer es determinar la sensibilidad del aparato de medida, ya que el error absoluto no puede ser inferior a ésta.

Se entiende por sensibilidad del aparato el valor más pequeño que puede ser medido por éste.

De todos modos el error absoluto puede ser mayor que la sensibilidad debido a otro tipo de errores. Estos errores se pueden agrupar en dos apartados: sistemáticos y accidentales.

Los errores sistemáticos son debidos al estado de funcionamiento o conservación de los aparatos, o a incorrecciones permanentes de la medida y suelen ser los mismos aunque repitamos las experiencias varias veces, en general son difíciles de detectar.

Los errores accidentales ocurren por manipulaciones incorrectas y se producen al azar; la forma de evitarlos, es la de repetir la medida varias veces, para conseguir que se compensen unos cõn otros. La evaluación de errores accidentales se efectúa por métodos estadísticos. En el caso en que las medidas estén libres de errores sistemáticos, para eliminar los accidentales es necesario repetir la medida n veces, una gran dispersión de las medidas indicará que el error es grande, mientras que será pequeño si

todas son muy próximas.

La elección del número de medidas necesario para eliminar los errores accidentales es un proceso subjetivo, pero un criterio práctico puede ser el siguiente:

- Se efectúan tres medidas
- Se obtiene la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño, que recibe el nombre de dispersión absoluta, D.
- Se calcula la media de los valores, V.
- Se calcula la desviación relativa, $T = (D/V) \times 100$
 - si T es inferior al 2% basta con las tres medidas
 - si T está comprendido entre el 2% y el 8% son necesarias seis
 - si T está entre el 8% y el 15% hacen falta quince
 - si T es mayor del 15% hay que tomar 50

Con desviaciones relativas superiores al 8%, lo adecuado es intentar descubrir la causa de éstas y corregirla en la manera de lo posible.

Una vez realizado el número de medidas adecuado, obtenemos el valor experimental como la media aritmética de los valores hallados, V_i .

$$V = \sum_i V_i / n \quad (3)$$

donde n representa el número de medidas, y se toma como error absoluto la desviación media, δ , que se calcula mediante la expresión:

$$\delta = \sum_i |V_i - V| / n \quad (4)$$

donde V es el valor medio. El error absoluto será el valor más grande en valor absoluto de la sensibilidad del aparato y la desviación media de las medidas efectuadas, es decir,

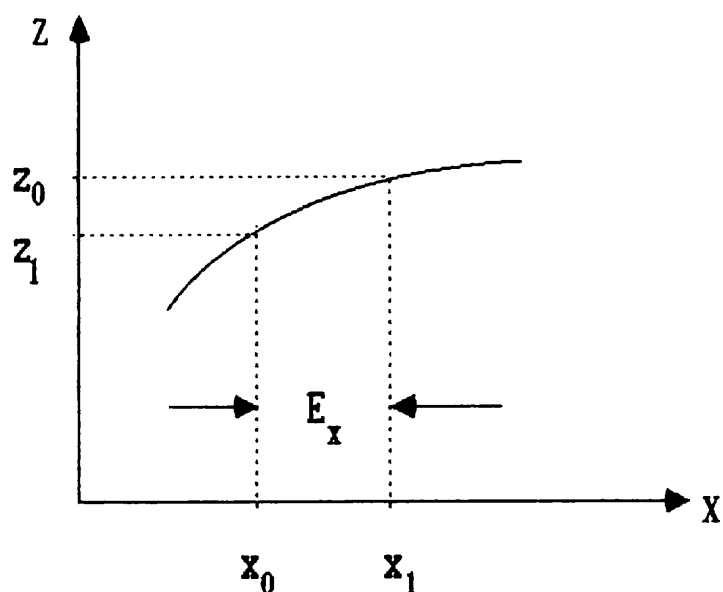
$$E_a = \text{máximo} [S , \delta] \quad (5)$$

de tal manera que el error absoluto de una medida directa nunca puede ser más pequeño que la sensibilidad del aparato.

(b) Error absoluto de una medida indirecta

La medida indirecta de una magnitud se obtiene por la aplicación de una fórmula física que relaciona ésta con otras medibles directamente.

Tomemos como ejemplo el caso de una función de una sola variable, $z = f(x)$.



Si el error absoluto de la magnitud x , (medida directamente), E_x , es lo suficientemente pequeño, en el intervalo (x_0, E_x) , la función se puede aproximar a una recta, de ecuación $z = mx + b$, donde

$$m = \frac{z_1 - z_2}{x_1 - x_2} \quad (6)$$

y aproximando el error absoluto de una función a su diferencial

$$dz = m dx \quad (7)$$

entonces

$$E_z = |m| E_x \quad (8)$$

Cuando se trata de una función de varias variables, $z = f(x, y, t, \dots)$ la diferencial de la función se escribe en términos de sus derivadas parciales como:

$$dz = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial t} dt + \dots \quad (9)$$

Tomando módulos para ponernos en el caso más desfavorable, el error absoluto puede escribirse

$$E_z = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| E_x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| E_y + \left| \frac{\partial f}{\partial t} \right| E_t + \dots \quad (10)$$

y de la definición de error relativo

$$E_{rz} = \frac{E_z}{z} \quad (11)$$

queda

$$E_{rz} = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \frac{E_x}{x} + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \frac{E_y}{y} + \left| \frac{\partial f}{\partial t} \right| \frac{E_t}{z} + \dots \quad (12)$$

esta última expresión nos permite calcular el error relativo por medio de la derivada logarítmica de una función.

Un ejemplo de cálculo de error al determinar una magnitud por métodos indirectos sería el averiguar la aceleración de la gravedad con su error absoluto, en un punto de la Tierra a través de la medición del período de un péndulo simple.

Dicho período vale $T = 2\pi(l/g)^{1/2}$, donde l es la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad. Despejando g :

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (13)$$

luego

$$E_g = \left| \frac{\partial g}{\partial l} \right| E_l + \left| \frac{\partial g}{\partial T} \right| E_T = 4\pi^2 T^{-2} E_l + 8\pi^2 l T^{-3} E_T \quad (14)$$

Para obtener el error relativo:

$$E_{rg} = E_g/g = (4\pi^2 T^{-2} E_l + 8\pi^2 l T^{-3} E_T) / 4\pi^2 l T^{-2} = E_{rl} + 2 E_{rT} \quad (15)$$

es decir, el error relativo de la aceleración de la gravedad es la suma del error relativo de la longitud del péndulo más dos veces el error relativo de la medición del período.

Cuando en las expresiones aparezcan números irracionales o constantes físicas, es necesario tener presente que han de tomarse con el número de cifras significativas suficientes para que el error relativo cometido, por la truncación del infinito número de dígitos necesarios para describirlos completamente, sea al menos un orden de magnitud menor que el cometido en la medición de las demás magnitudes que intervienen en la expresión correspondiente.

3. AGRUPACIONES DE LAS MEDIDAS EN TABLAS

Las medidas experimentales deben agruparse siempre en forma de tabla, ya que esta presentación permite un mejor análisis de los resultados. Al mismo tiempo se evitan las reiteraciones en las unidades y en los errores, que se colocan a las entradas de las tablas. Es conveniente colocar al pie de las mismas una frase que indique a qué hace referencia dicha tabla, de modo que el lector de la misma sepa a qué atenerse.

Las tablas, así mismo, son un paso intermedio entre la obtención de los datos experimentales y la representación gráfica de los mismos y debe contener la máxima información posible sin sobrecargarla demasiado.

4. REGISTRO GRAFICO DE LAS MEDIDAS

En los trabajos científicos la representación gráfica es un método eficaz y conveniente para presentar y analizar los datos. La mayoría de las veces las gráficas se utilizan para interpolar valores, discutir errores y visualizar funciones analíticas en relación con las experimentales.

Una serie de normas que deben observarse para efectuar un registro gráfico de medidas correcto son las siguientes:

1. Las gráficas deben presentarse en papel milimetrado, otro tipo de papeles (semilogarítmico, logarítmicos, etc.) se pueden utilizar para representar funciones especiales y su elección dependerá según los casos.
2. La variable independiente se colocará siempre en el eje de abscisas, mientras que la dependiente irá en el de ordenadas; nunca al revés.

3. Es necesario colocar las divisiones en la escala pero no los valores de los puntos experimentales, para no ensuciar los ejes coordenados.
4. El tamaño de la escala depende de la precisión con la que trabajemos, y a mayor precisión es conveniente ampliar la escala para no perder información.
5. De todos modos la escala debe ser simple, por ejemplo de uno en uno o de dos en dos, en casos especiales se pueden tomar escalas diferentes.
6. Los valores representados se localizan por un punto determinado por la intersección de sus coordenadas y por el rectángulo de error que tendrá de base desde $x - E_x$ hasta $x + E_x$ y de altura desde $y - E_y$ hasta $y + E_y$.
7. La línea representativa de la función debe ser continua, nunca quebrada y ha de pasar por dentro de los rectángulos de error en la medida de lo posible.

5. INTERPOLACION

Uno de los problemas típicos de la Física es conocer el valor de una cierta función para valores que no han sido determinados experimentalmente. Si queremos estudiar la variación de la densidad de un líquido con la temperatura, efectuamos medidas de 10 en 10 grados, desde 10 grados centígrados hasta 100. El problema de la interpolación es obtener, por ejemplo, la densidad a 25°C , sin haber medido experimentalmente este valor.

La interpolación puede ser de dos tipos: gráfica y analítica.

La interpolación gráfica consiste en representar los resultados obtenidos y hacer una curva continua que pase lo más cerca posible de todos los puntos. Una vez representada esta curva se puede obtener de ella, para una abscisa determinada, su ordenada y viceversa.

La interpolación analítica más utilizada es la lineal que se puede aplicar siempre que los intervalos de tabulación sean lo suficientemente pequeños, para que la función en ellos se pueda considerar como una línea recta.

Si la función es de una sola variable $z = f(x)$ y los límites del intervalo son (x_1, z_1) y (x_2, z_2) , tendremos:

$$z_1 = m x_1 + b \quad (16)$$

$$z_2 = m x_2 + b \quad (17)$$

donde

$$m = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \quad (18)$$

y la ecuación del punto incógnita (x, z) es

$$z - z_1 = m (x - x_1) \quad (19)$$

$$z = z_1 + \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (20)$$

y el error de z viene dado por:

$$E_z = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} E_x \quad (21)$$

Si la función es de dos variables, $z = f(x, y)$ y los límites del intervalo son (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2) , la ecuación de interpolación se escribe:

$$z = z_1 + \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} (y - y_1) \quad (22)$$

y el error de z

$$E_z = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} E_x + \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} E_y \quad (23)$$

Vamos a realizar un ejemplo que aclare lo expuesto anteriormente. De la tabla que nos da la densidad en función de la temperatura:

d (g/cm ³)	T (°C)
0'80210 ± 0'00001	10'0 ± 0'1
0'80190 ± 0'00001	20'0 ± 0'1

queremos averiguar la densidad a una temperatura de 13'0° C que no aparece en la tabla, ésta será, aplicando las ecuaciones de la interpolación:

$$d = 0'8021 + \frac{0'8019 - 0'8021}{20 - 10} (13'0 - 10'0) = 0'80204$$

El error absoluto vendrá dado por:

$$E = \frac{0'8019 - 0'8021}{13 - 10} = 0'0000666$$

con lo que el valor de la densidad, con su correspondiente error, a la temperatura de 13° C será $0.80204 \pm 0.00007 \text{ g/cm}^3$.

6. METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

En numerosas ocasiones es preciso trabajar analíticamente con curvas obtenidas experimentalmente. Para ello habrá que ajustar los puntos obtenidos a una curva de forma que el error introducido al realizar el ajuste sea mínimo.

Muchas situaciones en Física corresponden a una ley cuya función analítica es una línea recta del tipo $y = mx + n$. El problema que soluciona el método de los mínimos cuadrados es el de obtener el par de valores que caracterizan una recta (m, n) a partir de una serie de pares de puntos (x_i, y_i) obtenidos experimentalmente.

El problema se reduce a calcular la ecuación de la recta $(y = mx + n)$ de tal forma que el sumatorio de las distancias de cada punto a la recta, elevado al cuadrado, sea mínimo. La recta obtenida es la que mejor se ajusta a los valores experimentales y se denomina recta de regresión.

Obviando el desarrollo matemático, para un conjunto de N pares de valores (x_i, y_i) experimentales, tenemos:

$$m = \frac{D.N - A.B}{C.N - A^2} \quad (24)$$

$$n = \frac{C.B - A.D}{C.N - A^2} \quad (25)$$

donde:

$$A = \sum_i x_i, \quad B = \sum_i y_i, \quad C = \sum_i x_i^2, \quad D = \sum_i x_i y_i \quad (26)$$

A fin de evaluar la bondad del ajuste obtenido se determina el coeficiente de correlación r , cuyo módulo toma valores entre 0 y 1, siendo mejor el ajuste cuanto más se aproxime este módulo a la unidad:

$$r = m \sqrt{\frac{C.N - A^2}{F.N - B^2}} \quad (27)$$

siendo $F = \sum_i y_i^2$.

Para comprender mejor como se aplica el método de los mínimos cuadrados consideremos el siguiente ejemplo.

Supongamos que deseamos calcular la resistividad ρ de un material. Para ello, hacemos pasar una corriente eléctrica I por un cable de dicho material de 3 mm^2 de sección y 0.5 m de longitud, aplicando una diferencia de potencial V entre los extremos de dicho cable. Medimos la intensidad, I , y la diferencia de potencial aplicada, V , resultando la siguiente tabla:

I (mA)	V (V)
1.7	5
3.5	10
5.2	15
6.9	20
8.6	25

Sabemos que la resistividad de un material viene dada por la relación:

$$\rho = \frac{R.S}{l}$$

donde R es su resistencia, S su sección y l su longitud. Por otra parte, de la ley de Ohm $V = I.R$ se obtiene la relación entre I , V y R . Esta última ecuación corresponde a una línea recta. Comparando con $y = mx + n$, vemos que: $y \equiv V$, $x \equiv I$, $m \equiv R$ y $n = 0$.

Tendremos:

$$N = 5 \text{ (número de parejas de datos)}$$

$$A = 25'9 \times 10^{-3}$$

$$C = 163'75 \times 10^{-6}$$

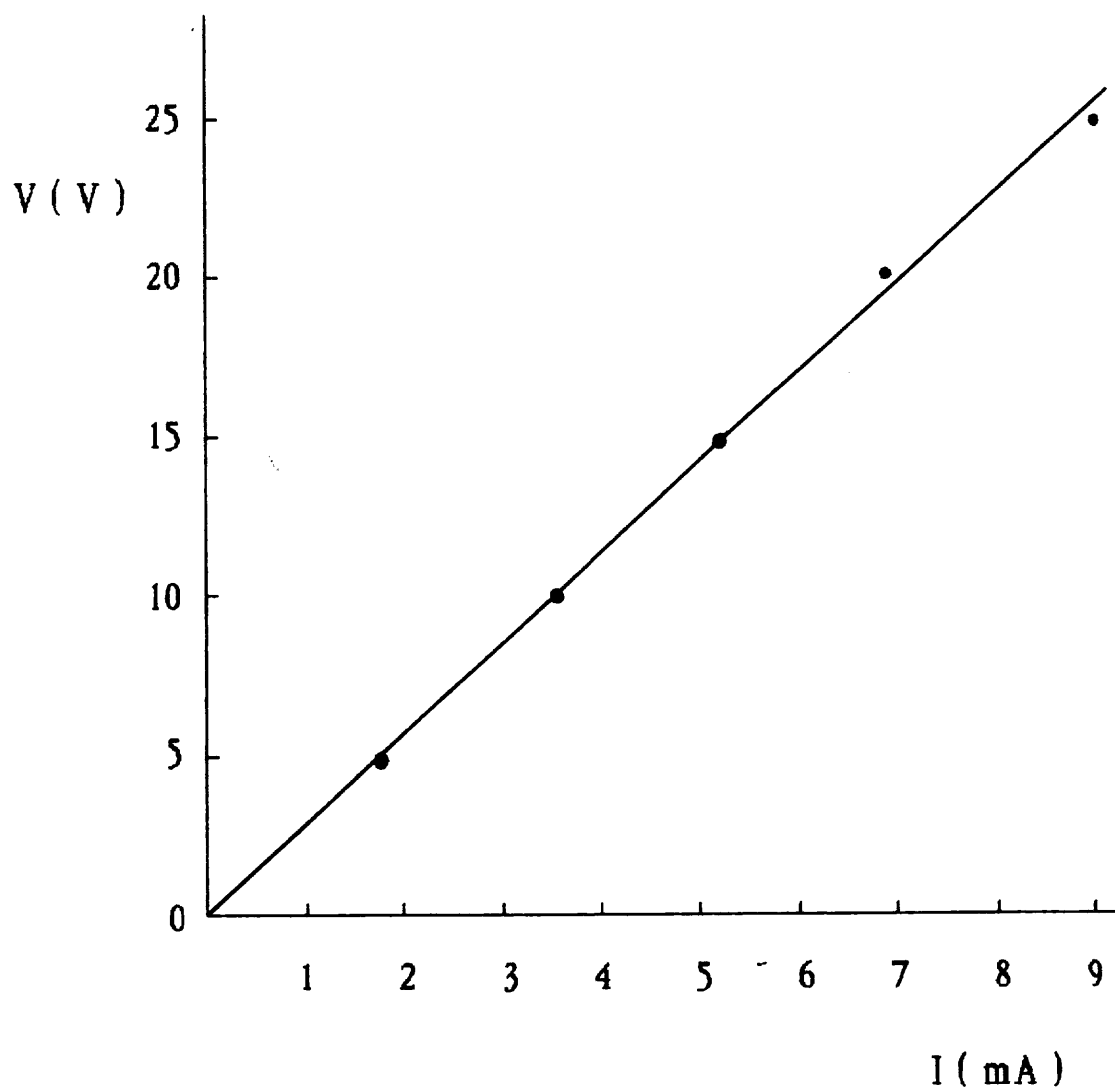
$$B = 75$$

$$D = 474'5 \times 10^{-3}$$

Con lo que la pendiente de la recta será $m = 2906$, es decir, la resistencia del cable es $R = 2906 \Omega$. Podemos calcular el coeficiente de regresión, r , y se obtiene $F = 1375$ y $r = 0'99973$, por lo que el ajuste es bueno.

La resistividad se calculará, finalmente:

$$\rho = R.S/l = 2906 \times 3 \times 10^{-6} / 0'5 = 0'0174 \Omega.m$$



2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA ELECTRICOS

1. INTRODUCCION

Tanto por su utilización como por su fundamento físico y técnicas de construcción, el gran número existente de instrumentos eléctricos de medida resulta difícil de clasificar; sin embargo, citaremos algunos, según las magnitudes que son capaces de medir:

- 1.-Medida de intensidades: amperímetros, galvanómetros.**
- 2.-Medida de diferencias de potencial: voltímetros.**
- 3.-Medida de resistencias: óhm metros.**
- 4.-Medida de potencias: watímetros.**
- 5.-Medida de frecuencias en corriente alterna: frecuencímetros.**
- 6.-Medida de cargas: electrómetros.**
- 7.- Varias aplicaciones: polímetros o "testers".**

2. IDENTIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y SIMBOLOS GRAFICOS

Siempre que se vaya a usar un determinado instrumento es necesario primero hacer un pequeño estudio sobre éste y la conveniencia de su utilización, así como su escala y otros símbolos que facilitan la definición de sus características internas de estos instrumentos de medida, y a los que muy pocas veces se hace caso. Estos símbolos aparecen sobre su escala y su significado se especifica en las tablas adjuntas.

Así por ejemplo, si en la escala de un instrumento aparece la siguiente indicación



significa que dicho instrumento es para corriente continua, que es de clase 1, que es del tipo de electroimán fijo y bobina móvil, que debe usarse con escala vertical al suelo y finalmente que la tensión de prueba es de 2000 V (la cifra 2 encerrada en la estrella).

3. LA "CLASE" DE UN APARATO DE MEDIDA

En general la indicación de un aparato de medida no es exactamente igual que el valor de la magnitud aplicada al aparato. Recordemos también que dicha magnitud posee un valor diferente del que tendría si no se hubiese conectado al circuito el aparato de medida.

El "error instrumental" es la diferencia entre el valor de la magnitud aplicada al aparato y la indicada por él. Para que un aparato sea fiel el error

instrumental no debe sobrepasar nunca un límite superior que está indicado por el constructor del aparato y al que se llama "clase".

La "clase" o calidad de un aparato se puede definir como el cociente entre el valor máximo tolerado (dado por el constructor) para el error instrumental, expresado en %, y el alcance del aparato o valor máximo de la escala.

A partir de esta definición es evidente que el límite superior de error instrumental de un aparato vendrá dado por el producto de la clase (expresada en forma decimal) y el alcance del aparato. Así, por ejemplo, en un aparato de clase 2 y 150 divisiones tendrá un error instrumental máximo:

$$2 \times 150/100 = 3 \text{ divisiones}$$

generalmente se acepta el siguiente criterio normalizador:

- Aparatos patrón: clase 0'1 o 0'2.
- Aparatos de control: clase 0'5 o 1.
- Aparatos industriales: clase superior a 1.

3. SEGURIDAD EN EL LABORATORIO

A la hora de realizar experiencias en el laboratorio es necesario efectuar medidas exactas y construir gráficas suficientemente claras y tablas de valores completas, sin embargo, también es importante desarrollar el trabajo en condiciones de seguridad para la persona o personas que llevan a cabo esa experiencia. Por tanto, antes de empezar a usar los instrumentos para efectuar alguna medida, hay que ver primero que riesgo se corre al no hacerlo adecuadamente. Esto es sobre todo necesario tenerlo en cuenta si se trata de prácticas en las que interviene la electricidad por la posibilidad que existe de recibir alguna descarga eléctrica.

La mayoría de la gente considera que es el voltaje el que ocasiona las peores consecuencias y piensa que una descarga de 1000 V es más perjudicial que una de 50 V. Esto no es cierto, pues la verdadera magnitud que nos mide la cuantía de una descarga eléctrica es la intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa el cuerpo. Cualquier intensidad superior a 10 mA puede producir una descarga entre dolorosa y grave, pero son las corrientes entre 100 mA y 200 mA las que son letales, ya que en ese intervalo se produce la fibrilación ventricular del corazón. Por encima de 200 mA las contracciones musculares son tan-violentas que el corazón queda prácticamente parado durante la descarga y de ese modo puede inhibirse la fibrilación ventricular. Entonces, aunque se producen quemaduras graves, pérdida de conocimiento y detención de la respiración, la descarga generalmente no es fatal si a la víctima se le practica inmediatamente la respiración artificial.

Aunque se requiere una tensión para hacer circular la corriente por un cuerpo, la intensidad depende tanto de la tensión como de la resistencia del cuerpo entre los puntos de contacto, ya que, por la ley de Ohm, $I = V/R$. La resistencia efectiva del cuerpo varía según los puntos de contacto y la condición de la piel. La resistencia puede ir desde un pequeño valor de $1 \text{ k}\Omega$ en el caso de piel húmeda, hasta $500 \text{ k}\Omega$ si la piel está seca. Se han registrado casos de muerte por electrocución con tensiones de un valor tan bajo como 42 V de corriente continua, lo que implica sólo una resistencia de unos 400Ω . La única conclusión respecto a la tensión es que 50 V pueden ser tan fatales como 500 V o 5000 V .

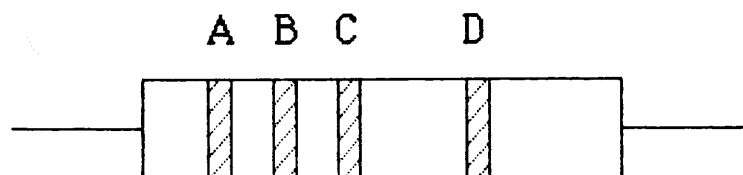
CODIGO DE COLORES

1 ^{er} ANILLO (A) 2 ^o ANILLO (B) 3 ^{er} ANILLO (C) 4 ^o ANILLO (D)				
COLOR	1 ^a CIFRA	2 ^a CIFRA	FACTOR	TOLERANCIA
NEGRO	—	0	10^0	—
MARRON	1	1	10^1	±1%
ROJO	2	2	10^2	±2%
NARANJA	3	3	10^3	—
AMARILLO	4	4	10^4	—
VERDE	5	5	10^5	—
AZUL	6	6	10^6	—
VIOLETA	7	7	10^7	—
GRIS	8	8	10^8	—
BLANCO	9	9	10^9	—
PLATA	—	—	10^{-2}	±10%
ORO	—	—	10^{-1}	±5%
NINGUNO	—	—	—	±20%

4. RESISTENCIAS Y CAPACIDADES: CODIGO DE COLORES

Las resistencias y capacidades están marcadas por el código estándar de colores, para indicar claramente el valor de su resistencia en Ω o de su capacidad en pF.

Una resistencia o un condensador tiene forma cilíndrica y lleva marcadas cuatro franjas de colores que son las A, B, C y D. Las tres primeras indican el valor de la resistencia y la cuarta la tolerancia de error en la medida.



Como ejemplos tenemos:

RESISTENCIA	A	B	C
470000 Ω	amarillo	violeta	amarillo
68 Ω	azul	gris	negro

CONDENSADOR	A	B	C
3900 pF	naranja	blanco	rojo
120 pF	marrón	rojo	marrón

5. CUADERNO DE NOTAS DE LABORATORIO

En el cuaderno de notas de laboratorio hay que hacer un registro diario de todo lo relativo al trabajo de experimentación realizado. No existiendo una perfecta tipificación general del mismo, las normas que se dan son orientadoras y están basadas en la experiencia que da la práctica.

La idea básica que debe regir la plasmación de las experiencias y sus resultados en el cuaderno de laboratorio, es la de que un extraño con preparación similar a la nuestra, siguiendo las notas del citado cuaderno, debe ser capaz de reproducir toda la experiencia, con datos y conclusiones análogas. El extraño puede ser el mismo autor un cierto tiempo después de realizada la experiencia, por ello todo lo que sea importante debe quedar claramente reflejado, evitando con ello el uso de la memoria que podría fallarnos.

Para que la idea básica del cuaderno de laboratorio se cumpla, no deben realizarse anotaciones en papeles sueltos, que luego pueden perderse o quedar desconectados en el tiempo de la información de la experiencia a que pertenecen.

Una idea que debe quedar clara es que el cuaderno no es un informe de la experiencia que debe redactarse posteriormente a la misma, sino un registro paso a paso de lo realizado, por ello las anotaciones deben realizarse en orden cronológico.

El registro claro, sistemático y completo de una experiencia es tan importante como la propia experiencia.

1.-Encabezamiento: Encabezando la primera página del trabajo experimental diario debe aparecer el nombre de la práctica y la fecha.

2.-Objetivo: El registro debe iniciarse indicando en forma clara, concisa y completa lo que se desea hallar o verificar en la experiencia.

3.-Montaje experimental: Debe dibujarse el esquema del montaje experimental, con los convenientes rótulos, de modo que pueda ser reproducido de forma fácil y rápida en el futuro. De igual forma debe registrarse cualquier modificación introducida durante la experiencia.

4.-Instrumentación: En la lista de instrumentos sólo es necesario que aparezcan aquéllos que tienen influencia directa en la precisión de datos.

5.-Procedimiento: Basta con algunos comentarios al margen de los datos, no siendo necesario generalmente largas explicaciones. Una idea sobre lo que debe escribirse la podemos obtener recordando que la experiencia "debe poder reproducirse a partir de la descripción que se haga".

6.-Datos: Deben darse en tablas fácilmente identificables y en ellas deben indicarse tanto los errores como las unidades empleadas.

7.-Gráficos: Las gráficas deben confeccionarse en el Laboratorio, puesto que ello permite constatar la presencia de valores dudosos durante la experiencia.

Las gráficas deben trazarse sobre un papel adecuado previamente seleccionado (milimetrado, semilogarítmico, logarítmico, etc.)

Cada gráfica debe tener un encabezamiento o un pie descriptivo, breve y adecuado. No debe haber gráficas sueltas, deben estar convenientemente pegadas en el cuaderno.

8.-Cálculos: En este punto se debe ser específico de forma que se advierta sin ninguna ambigüedad a que corresponden los cálculos.

9.-Resultados: Uno de los objetivos principales del trabajo de laboratorio es la verificación de una teoría y la indicación de cuando y como se aplica a las situaciones prácticas. En la medida de lo posible conviene representar simultáneamente los resultados experimentales y las predicciones teóricas, indicando cual es cada uno de ellos.

10.-Conclusiones: Aquí es donde se deben interpretar los resultados científicos comentando las posibles causas de comportamiento, así como las indicaciones para trabajos posteriores de la misma línea. Deben ser breves pero completas.

11.-Sugerencias: Deben anotarse todas aquéllas que permitan una mejora del método de trabajo.