A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512.
Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICAS DE FISICA

A. Beléndez - J. G. Bernabeu
J. Vera - C. Pastor - A. Marín

UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

A. Beléndez J. G. Bernabéu
J. Vera C. Pastor
A. Martín

PRACTICAS DE FISICA

DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITECNICA DE ALICANTE

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Servicio de Publicaciones SPUPV-88.512

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Edita: SERVICIO DE PUBLICACIONES
Imprime: REPROVAL, Cmº Vera, s/n

I.S.B.N. 84-7721-065-9
Depósito Legal: V - 2.064 - 1988

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PROLOGO

El presente libro es una recopilación de las prácticas que venimos realizando en el Laboratorio de Física de la Escuela Universitaria Politécnica de Alicante.

Junto con una introducción a los Métodos Generales de Laboratorio, se han desarrollado doce experiencias de Física orientadas a los estudiantes de Informática, aunque muchas de ellas también las vienen realizando los alumnos de Ingeniería Técnica de Obras Públicas.

El laboratorio ha sido siempre una característica distintiva de la enseñanza de las ciencias experimentales y, en particular, el laboratorio de Física desempeña un papel importante en la formación de científicos e ingenieros en todas las universidades. Consideramos, pues, las prácticas de laboratorio fundamentales para la formación del estudiante de Escuela Técnica, y, aunque nuestra asignatura de Física no es de las más específicas de la carrera, creemos que el manejo correcto de los instrumentos, la enseñanza de técnicas experimentales y la familiarización con el cálculo de errores, es importante que se adquiera en el primer curso, sin olvidar, claro está, otro objetivo fundamental de las experiencias de laboratorio: ilustrar el contenido de las clases teóricas.

Hemos intentado que la redacción del libro sea lo más clara, concisa y sistemática posible. Con esta finalidad, cada una de las prácticas que presentamos se ha dividido en cinco apartados: OBJETIVO de la experiencia, MATERIAL necesario para la realización de la misma, descripción del FUNDAMENTO teórico, DESARROLLO DE LA PRACTICA, en el que se incluye la metodología de trabajo, y una serie de

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

CUESTIONES relacionadas con la experiencia, con objeto de ayudar al alumno en la comprensión de los fundamentos teóricos de la misma. Con todo ello pretendemos que el alumno sea capaz de comprender la relación entre el fenómeno experimental analizado y su explicación teórica.

Esperamos que este libro sirva de ayuda a los alumnos y cubra los objetivos propuestos.

Los autores

Alicante, Julio de 1.988

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

INDICE

	Pág.
I. METODOS GENERALES DE LABORATORIO	1
1. Las medidas experimentales y sus errores	3
2. Instrumentos de medida eléctricos	21
3. Seguridad en el laboratorio	27
4. Resistencias y capacidades: Código de colores	29
5. Cuaderno de notas de laboratorio	31
II. PRACTICAS DE FISICA	35
PRACTICA 1: Medición de longitudes: Palmer y Pie de Rey	37
PRACTICA 2: Determinación de la constante elástica de un resorte	43
PRACTICA 3: Péndulo simple: Determinación de la aceleración de la gravedad	49
PRACTICA 4: Medida de magnitudes eléctricas: Amperímetro y Voltímetro	53
PRACTICA 5: Resistencia de un Voltímetro	59
PRACTICA 6: Resistividad de un conductor y ley de Ohm	65

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 7: Resistencia interna de un generador 69

PRACTICA 8: Circuitos de corriente continua 77

PRACTICA 9: Teorema de Thevenin 83

PRACTICA 10: Corriente Alterna: Circuitos en serie 89

PRACTICA 11: Características de un diodo de unión 99

PRACTICA 12: Características de un transistor de unión 107

BIBLIOGRAFIA 115

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

I. METODOS GENERALES DE LABORATORIO

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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:

Tabla A

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

Tabla B

T (°C)	d (g/cm^3)
40	0'80
30	0'80
20	0'80
10	0'80

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 <u>exactitud</u> 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/s^2, mientras que con tres procedimientos distintos se obtiene 9'810, 9'804 y 9'820 m/s^2. El valor de 9'804 es el más exacto de los tres.

La <u>sensibilidad</u> 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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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:

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

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:

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

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 (±). Si en el estudio de la variación de la densidad de un líquido con la temperatura introducimos los errores absolutos cometidos, tendríamos:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 <u>cifra de acotamiento del valor</u>.

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)x10^1
428'351 ± 0'27	428'4 ± 0'3
0'01683 ± 0'00169	0'017 ± 0'006 (1'7 ± 0'6)x10^{-2}

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 con 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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 dedispersión absoluta, D.
- Se calcula la media de los valores, V.
- Se calcula la desviación relativa, T = (D/V) x100
  - 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,

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

donde n representa el número de medidas, y se toma como error absoluto la <u>desviación media</u>, ∂, que se calcula mediante la expresión:

$$\partial = \sum_i | V_i - V | /n \qquad (4)$$

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,

$$E_a = \text{máximo} [S , \partial] \qquad (5)$$

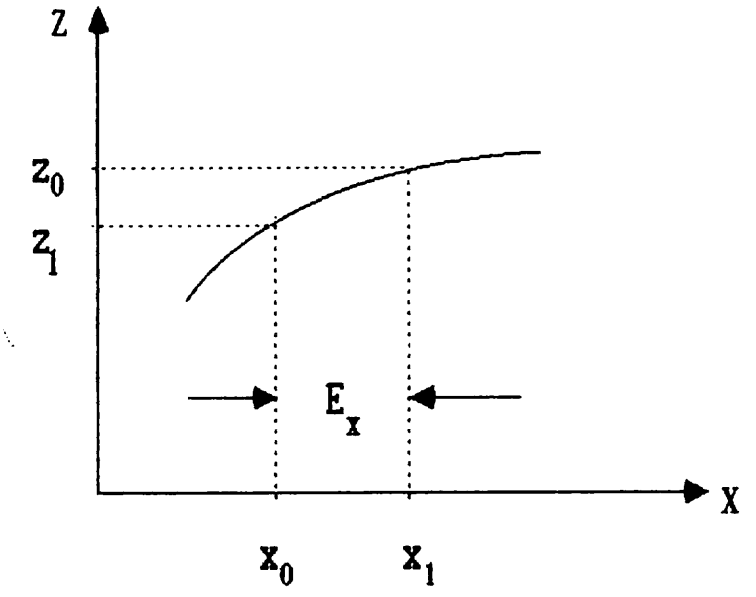
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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

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

y aproximando el error absoluto de una función a su diferencial

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$dz = m\,dx \tag{7}$$

entonces

$$E_z = |\,m\,|\,E_x \tag{8}$$

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

$$dz = \frac{\partial f}{\partial x}\,dx + \frac{\partial f}{\partial y}\,dy + \frac{\partial f}{\partial t}\,dt + \ldots \tag{9}$$

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

$$E_z = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| E_x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right| E_y + \left|\frac{\partial f}{\partial t}\right| E_t + \ldots \tag{10}$$

y de la definición de error relativo

$$E_{rz} = \frac{E_z}{z} \tag{11}$$

queda

$$E_{rz} = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| \frac{E_x}{x} + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right| \frac{E_y}{y} + \left|\frac{\partial f}{\partial t}\right| \frac{E_z}{z} + \ldots \tag{12}$$

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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:

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

luego

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

Para obtener el error relativo:

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

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 que 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 abcisas, mientras que la dependiente irá en el de ordenadas; nunca al revés.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 abcisa 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:

$$z_1 = m\,x_1 + b \tag{16}$$

$$z_2 = m\,x_2 + b \tag{17}$$

donde

$$m = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \tag{18}$$

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

$$z - z_1 = m\,(x - x_1) \tag{19}$$

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

y el error de z viene dado por:

$$E_z = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}\,E_x \tag{21}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 ecuacion de interpolación se escribe:

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

y el error de z

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

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 de13'0° 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:

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

con lo que el valor de la densidad, con su correspondiente error, a la temperatura de 13° C será 0'80204 ± 0'00007 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 <u>recta de regresión</u>.

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

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

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

donde:

$$A = \sum_i x_i, \qquad B = \sum_i y_i, \qquad C = \sum_i x_i^2, \qquad D = \sum_i x_i y_i \tag{26}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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:

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

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:

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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:

$N = 5$ (número de parejas de datos)

$A = 25'9 \times 10^{-3}$ $\qquad$ $C = 163'75 \times 10^{-6}$

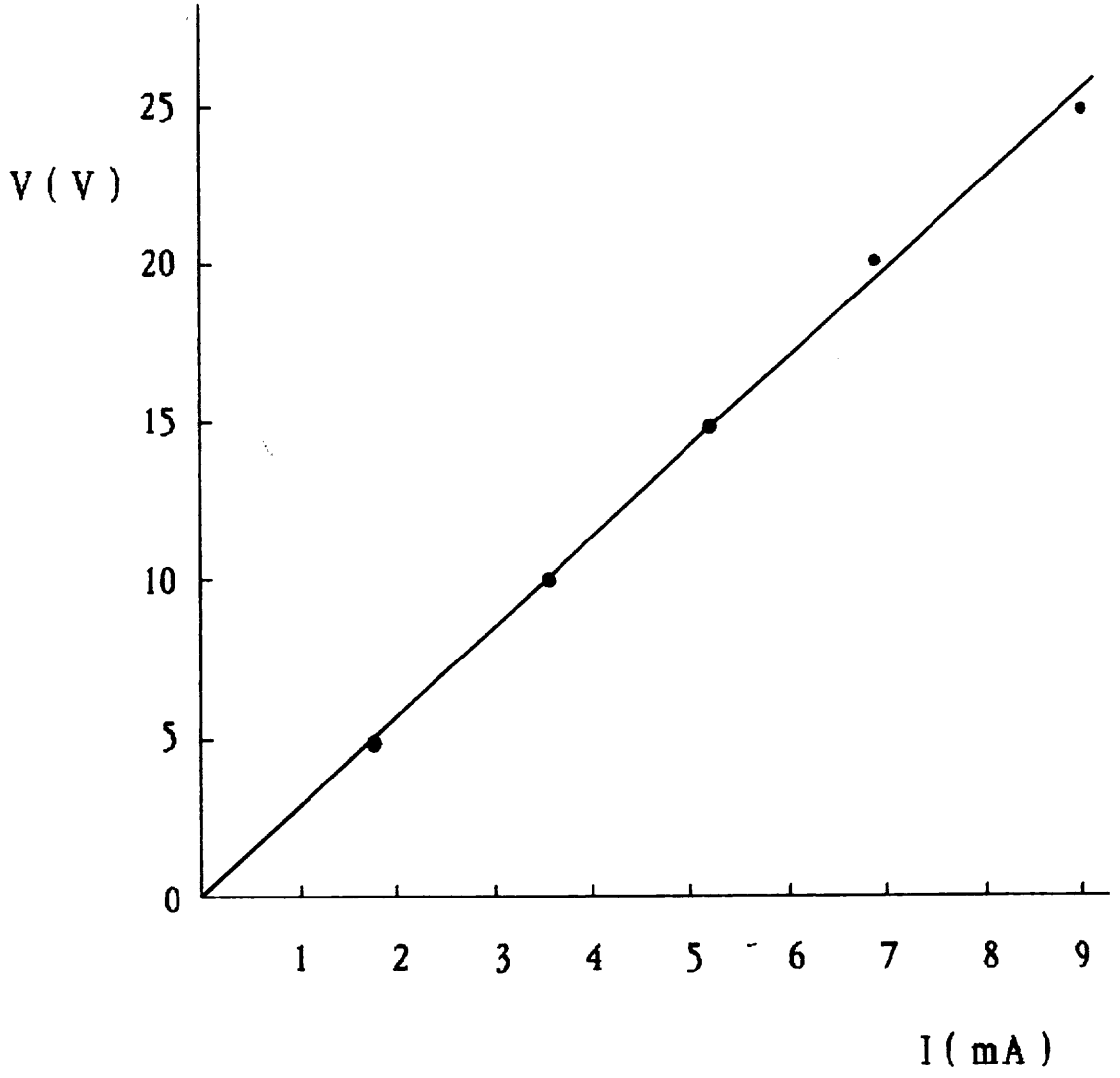
$B = 75$ $\qquad$ $D = 474'5 \times 10^{-3}$

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:

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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: óhmmetros.

4.-Medida de potencias: watímetros.

5.-Medida de frecuencias en corriente alterna: frecuencímetros.

6.-Medida de cargas: electrómetros.

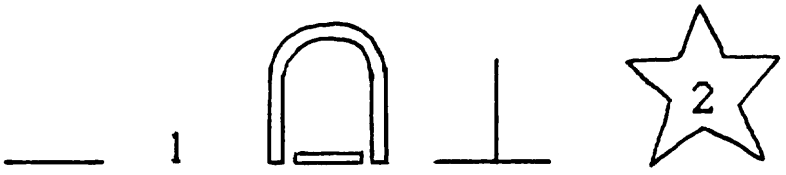
7.-Varias aplicaciones: polímetros o "testers".

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

Asi 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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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 kΩ en el caso de piel húmeda, hasta 500 kΩ 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 400 Ω. La única conclusión respecto a la tensión es que 50 V pueden ser tan fatales como 500 V o 5000 V.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

CODIGO DE COLORES

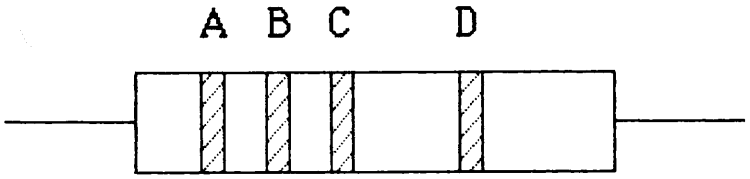
	1^{er}ANILLO (A)	2ºANILLO (B)	3^{er}ANILLO (C)	4ºANILLO (D)
COLOR	1ª CIFRA	2ª CIFRA	FACTOR	TOLERANCIA
NEGRO	—	0	10^0	—
MARRON	1	1	10^1	±1%
ROJO	2	2	10^2	±2%
NARANJA	3	3	10^3	—
AMARILLO	4	4	10^4	—
VERDE	5	5	10^5	—
AZUL	6	6	10^6	—
VIOLETA	7	7	10^7	—
GRIS	8	8	10^8	—
BLANCO	9	9	10^9	—
PLATA	—	—	10^{-2}	±10%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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

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

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

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.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

II. PRACTICAS DE FISICA

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 1

MEDICION DE LONGITUDES: PALMER Y PIE DE REY

1. OBJETIVO

Manejar instrumentos sencillos para medir longitudes, tales como el calibre y el palmer. Utilizar estos instrumentos para determinar longitudes, superficies y volúmenes de sólidos de geometría simple.

2. MATERIAL

- Calibre
- Palmer
- Objetos geométricos

3. FUNDAMENTO

Efectuar una medida de una magnitud física consiste en comparar ésta con otra establecida como patrón, y determinar el número de veces que el patrón está contenido en la magnitud que se quiere medir.

La determinación de longitudes, superficies y volúmenes suele ser un dato imprescindible en la mayoría de experiencias de la ciencia y de la técnica, por tanto resulta interesante conocer los métodos que se pueden utilizar para determinarlos.

Casi todos los instrumentos utilizados en la medición de longitudes se pueden incluir en dos grandes apartados: mecánicos y ópticos.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Han sido tradicionalmente los métodos ópticos basados en interferencias los que ofrecían una mayor sensibilidad debido a utilizar la longitud de onda de la luz visible como unidad de medida.

En la actualidad el gran avance de la electrónica permite a los dispositivos mecánicos competir con la gran sensibilidad de los métodos ópticos.

En todos los dispositivos que vamos a describir a continuación (calibre y palmer) el método de medida se basa en la inclusión, en éstos, de los patrones de longitud y su aplicación mecánica al cuerpo en estudio.

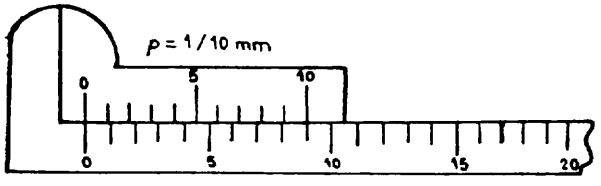
En el caso de sólidos de geometría más compleja el calibre y el palmer no pueden ser utilizados para determinar sus dimensiones y habría que acudir a otros procedimientos.

Recordemos que en todos los instrumentos que vamos a considerar la sensibilidad coincide con la cantidad más pequeña que pueden detectar.

Pasemos a continuación a describir algunos instrumentos de medida de longitudes:

3.1.-Nonius

El Nonius está representado en la siguiente figura y consiste en dos escalas de las que una está fija, regla, y otra es móvil y se desliza sobre la fija, reglilla. Estas dos escalas están graduadas de modo que n divisiones de la reglilla corresponden a "n - 1" de la regla.



Si D es el tamaño de las divisiones de la regla y d el de la reglilla, siempre se cumple:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$n.d = (n - 1).D$$

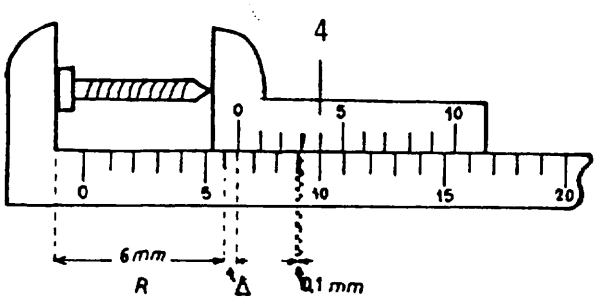
y la longitud de la división de la reglilla es d = (n - 1).D/n. La sensibilidad, p, del Nonius viene dada por la diferencia entre las longitudes de una división de la regla y otra de la reglilla, su valor es:

$$p = D - d = \frac{D}{n}$$

Es decir, la sensibilidad del nonius es el cociente entre la dimensión de la unidad de la regla y el número de divisiones de la reglilla.

Así, cuando la regla va graduada en milímetros y la reglilla tiene diez divisiones, el Nonius puede detectar 0'10 milímetros (Nonius decimal).

Para entender el porqué de esta ganancia de sensibilidad tengamos presente la siguiente figura, en la que se aprecia la forma de utilizar el Nonius, para determinar una longitud.



Se coloca el objeto que se quiere medir apoyado sobre un extremo de la regla fija y por el otro en la móvil. La posición "0" de la escala móvil nos marca en la regla fija la longitud de la pieza, a esta longitud la llamamos "e".

En este caso "e" está comprendido entre el 6 y el 7 mm, luego la longitud de la pieza será 6 mm y algo más.

Para determinar esta fracción nos debemos fijar en que hay una marca de la reglilla que coincide con una de la regla, como la diferencia entre las unidades de la regla y la reglilla es 0'1 mm, o lo que es lo mismo, cada división de la regla es de 1 mm y de la reglilla , "s", 0'9 mm. Luego, como la división de la reglilla que coincide es el 4:

$$4 \times 0'9 = 3'6 \text{ mm}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

y como

$$s + \Delta = 4 \text{ mm}$$

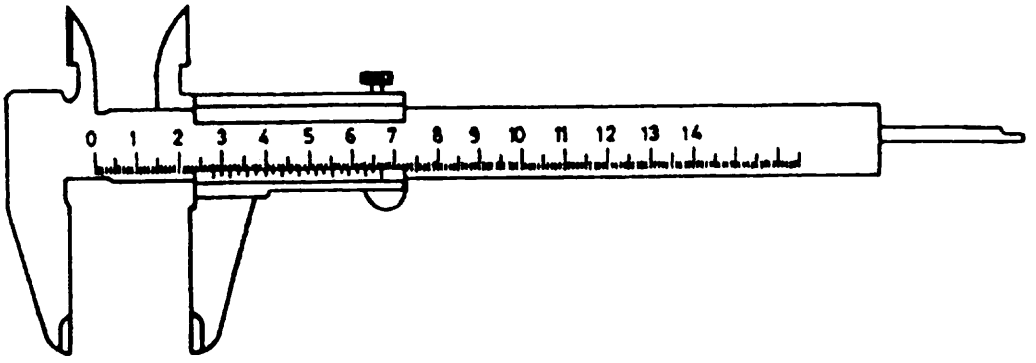
$$\Delta = 4 - s = 4 - 3'6 = 0'4 \text{ mm}$$

La longitud de la pieza será 6'4 mm.

El Nonius es un elemento auxiliar que se utiliza para mejorar la sensibilidad en la lectura de las escalas de los aparatos de medida.

3.2.-Calibre o Pie de Rey

El Calibre es un instrumento basado en el Nonius. Se emplea para medir espesores de piezas y dimensiones interiores y exteriores de cuerpos complejos.

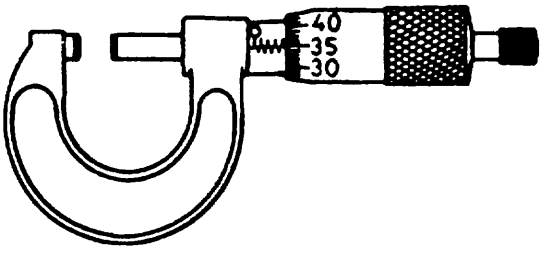


Calibre o Pie de Rey

3.3.-Palmer

El Palmer consiste en una pieza en forma de U en la que en un extremo hay un tope fijo y en el otro extremo, alineado con este tope, hay una tuerca sobre la que avanza un tornillo en una escala que marca las vueltas que da el tornillo. A su vez el propio tornillo posee un limbo graduado en fracciones de vuelta.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Palmer

Los más corrientes tienen un avance de 0'5 mm por cada vuelta y ésta se subdivide en 50 partes, por lo que la sensibilidad valdrá 0'01 mm. El "error de cero" es un problema que se presenta en los tornillos micrométricos y se debe a que, por su deterioro, mal uso o indebida calibración, cuando el tornillo toca con el tope fijo, en el limbo no está situado el "0", sino algún otro valor, y es necesario tener en cuenta este valor inicial para efectuar una buena medida.

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

La práctica consistirá en la medida del volumen de un cilindro usando el pie de rey y el palmer. Habrá que seguir las instrucciones sobre el uso de estos instrumentos y los métodos del cálculo de errores, teniendo en cuenta la sensibilidad del aparato que se esté utilizando.

El volumen de un cilindro viene dado por la fórmula:

$$V = \frac{\pi D^2 l}{4}$$

donde D es el diámetro de la base del cilindro y l la longitud de su generatriz.

Para medir el diámetro D se emplea el palmer al que previamente se ha determinado el cero.

Para medir la longitud l se emplea el pie de rey en el que se determina el cero en forma similar a la del palmer.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Conocidos D y l, sólo basta aplicar la fórmula anterior, y calcular el error correspondiente.

También puede calcularse el volumen de otros objetos geométricos sencillos, procediendo de forma análoga que en el caso del cilindro.

5. CUESTIONES

(1) Efectuar las medidas necesarias y calcular el volumen y sus errores absoluto y relativo.

(2) Si se quisiera determinar el volumen por inmersión en una probeta llena de agua, ¿cuál debería ser la graduación de dicha probeta para cometer un error similar al cometido de esta forma?

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 2

DETERMINACION DE LA CONSTANTE ELASTICA DE UN RESORTE

1. OBJETIVO

Determinación de la constante elástica de un resorte por dos procedimientos: estático y dinámico.

2. MATERIAL

- Soporte con escala graduada
- Distintos muelles
- Soporte para pesas
- Juego de pesas de 10 y 50 gramos
- Cronómetro

3. FUNDAMENTO

3.1.-Procedimiento estático

Cuando se aplica una fuerza de tracción a un resorte elástico, éste se alarga, aumentando su longitud, de tal forma que se cumple la ley de Hooke: "Los alargamientos obtenidos son directamente proporcionales a las fuerzas que los han causado". Es decir:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$F = k.\Delta x$$

donde F representa la magnitud de la fuerza aplicada, $\Delta x = x_{final} - x_{inicial}$ es el alargamiento producido por ésta, y k es la constante de proporcionalidad o constante elástica del resorte.

3.2.-Procedimiento dinámico

Consideremos una masa m suspendida de un muelle. Al separarla ligeramente de su posición de equilibrio, comenzará a efectuar oscilaciones en torno a ella con un movimiento periódico. Aunque todos los muelles reales tienen masa, si ésta es mucho menor que la masa m que se cuelga del muelle, el movimiento que se efectuará al oscilar en torno a la posición de equilibrio vendrá aproximadamente descrito por un movimiento armónico simple.

Se define el período de oscilación como el tiempo que tarda el resorte en efectuar una oscilación completa, y puede calcularse a partir de la relación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Siendo k la constante elástica del resorte.

Despejando la constante elástica k, queda:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$$

$$k = 4\pi^2 \frac{m}{T^2}$$

Es posible determinar la constante elástica k si se conoce la masa m y el período de oscilación T.

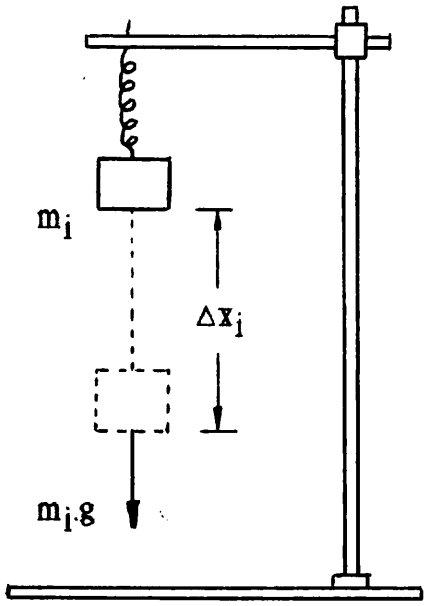
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

4.1.-Procedimiento estático

Si se van colocando distintas masas en el extremo de un muelle, se irán produciendo en él distintas deformaciones, que serán proporcionales a sus pesos

$$F_i = k.\Delta x_i \qquad m_i.g = k\ \Delta x_i$$



El dispositivo experimental de la figura consta de una barra metálica con su base y de un muelle suspendido en el extremo superior de la barra. A continuación se van colocando distintas masas conocidas en el platillo y se van anotando los alargamientos producidos.

Si las cargas inicialmente aplicadas son pequeñas, el muelle no se comportará de forma elástica, pues presenta una cierta "inercia" a deformarse. Por ello conviene partir de una fuerza mínima que produzca una deformación visualmente observable.

4.2.-Procedimiento dinámico

En el mismo dispositivo anterior se quiere determinar el período de oscilación producido tras colocar una determinada masa m en el platillo. Esta masa debe ser lo suficientemente grande para hacer despreciable la masa del muelle. Para iniciar la oscilación del muelle se le somete a un ligero alargamiento estirando con la mano.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Es muy importante que las oscilaciones se produzcan en línea recta y que no haya movimientos bruscos.

Repetir al menos tres veces cada cálculo del período, contando 40 oscilaciones cada vez. Repetir asimismo la operación con tres masas distintas. Para medir el tiempo conviene que las oscilaciones se hayan regularizado, ignorando, si es preciso, las primeras oscilaciones.

5. CUESTIONES

5.1.-Procedimiento estático

(1) Construir una tabla en la que se incluyan las masas suspendidas cada vez, sus pesos, y los alargamientos producidos en el resorte, y en la que se deben incluir los errores absolutos de todas estas medidas.

(2) Efectuar su representación gráfica en papel milimetrado, dibujando los rectángulos de error.

(3) Ajustar por mínimos cuadrados F_i frente a Δx_i. La pendiente de la recta será la constante k.

5.2.-Procedimiento dinámico

(1) Explicar cómo se calcula el error absoluto del período a partir de la determinación del tiempo empleado en ejecutar 40 oscilaciones completas, tener presente que se repite 3 veces cada medida.

(2) Construir una tabla con los períodos obtenidos y las masas empleadas. Incluir los errores cometidos.

(3) Efectuar una representación gráfica de m frente a T^2.

(4) Obtener de ésta última el valor de k.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

(5) Las constantes elásticas obtenidas por los dos procedimientos, ¿deben ser iguales?, ¿por qué?.

(6) ¿Qué se consigue en Física determinando una misma magnitud por dos procedimientos distintos?.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 3

PENDULO SIMPLE: DETERMINACION DE LA ACELERACION DE LA GRAVEDAD

1. OBJETIVO

Comprobación experimental de la expresión del período de un péndulo simple y determinación de la aceleración de la gravedad a partir de este período.

2. MATERIAL

- Soporte para el péndulo
- Hilo
- Bolita
- Cinta métrica
- Cronómetro

3. FUNDAMENTOS

Un péndulo es un cuerpo cualquiera que oscila pendiente de un eje horizontal fijo que no pasa por su centro de gravedad.

Un péndulo simple o matemático está formado por un cuerpo pequeño de masa m puntual suspendida de un punto fijo O mediante un hilo ideal (inextensible y sin masa) de longitud l.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

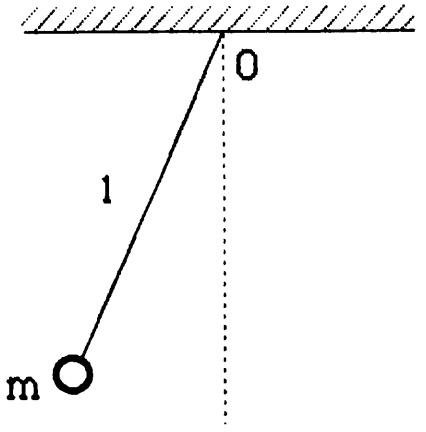
Como fácilmente se comprende, el péndulo simple así definido es un ente matemático sin representación física posible. No obstante, la realidad de un hilo muy fino y poco pesado, anclado por un extremo, sustentando en el otro extremo una pequeña esfera de elevada densidad (por ejemplo, de plomo), resulta ser una aproximación muy aceptable de péndulo simple, que permite experimentar su comportamiento.

Para desplazamientos angulares pequeños el movimiento del péndulo simple es armónico simple, y su período viene dado por la relación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

siendo g la acelaración de la gravedad.

Se cumple que el período del péndulo es independiente de la masa de éste.



Se puede determinar el valor de la aceleración de la gravedad g en el lugar de experimentación, conociendo la longitud y el período de un péndulo simple:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

de donde g será:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

Se desea calcular la aceleración de la gravedad mediante la medida del período de un péndulo simple. Para ello se calculará el período de oscilación, midiendo el tiempo que tarda el péndulo en efectuar unas cincuenta oscilaciones completas. Si n es el número de oscilaciones y t el tiempo que tarda el péndulo en realizar dichas oscilaciones, evidentemente el período del péndulo será:

$$T = \frac{t}{n}$$

Se efectúa esta medición con cuatro longitudes distintas y se repite cada medida tres veces.

Dado que la fórmula del péndulo simple que se va a utilizar es la deducida teóricamente cuando éste ejecuta pequeñas oscilaciones, el máximo desplazamiento angular con que se dejará oscilar será de unos 15°. Por otra parte, para homogeneizar la oscilación se desprecian las primeras oscilaciones y se empieza a contar el tiempo desde la cuarta o quinta oscilación.

Así pues, es importante tener presente las siguientes consideraciones:

(a) La amplitud de las oscilaciones debe ser lo más pequeña posible.

(b) El péndulo debe oscilar en un solo plano.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

(c) La bola del péndulo no debe girar.

(d) El punto de apoyo del hilo en la parte superior no debe oscilar sino que debe permanecer fijo.

(e) Hay que medir con cuidado la longitud del péndulo, hasta el centro de la bolita, antes de efectuar la medida del período.

5. CUESTIONES

(1) Construir una tabla en la que se presenten las longitudes de los péndulos con los períodos medidos, incluir en ésta los errores cometidos.

(2) Efectuar una representación gráfica de la longitud del péndulo, l, frente a T^2, con sus errores.

(3) Empleando el método de los mínimos cuadrados calcular la aceleración de la gravedad.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 4

MEDIDA DE MAGNITUDES ELECTRICAS: AMPERIMETRO Y VOLTIMETRO

1. OBJETIVO

Utilización de un amperímetro y aumento de su rango. Utilización de un voltímetro.

2. MATERIAL

- Miliamperímetro 0 - 5 mA
- Voltímetro 0 -5 V
- Cables conectores
- Resistencias de 1000 Ω, 750 Ω, 10 Ω y 2 Ω
- Pila seca de 4'5 V
- Interruptor

3. FUNDAMENTO

La medición de diferencias de potencial e intensidades de corriente en circuitos eléctricos de corriente continua se efectúa ordinariamente empleando mecanismos de bobina móvil.

El instrumento de medida consiste en un imán de herradura que tiene dos piezas de hierro dulce en su interior. Este dispositivo crea un campo magnético en el cual se coloca un cuadro de aluminio que lleva sujeta una

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

bobina de hilo de bronce fosforoso no magnético. Los dos extremos de este hilo son los que se utilizan para hacer una medida.

Cuando en las terminales del instrumento se aplica una diferencia de potencial, por la bobina circula una determinada corriente que crea un campo magnético, y éste, al interactuar con el creado por los imanes, produce sobre la bobina un par, que hace que ésta gire sobre sus pivotes de sujección.

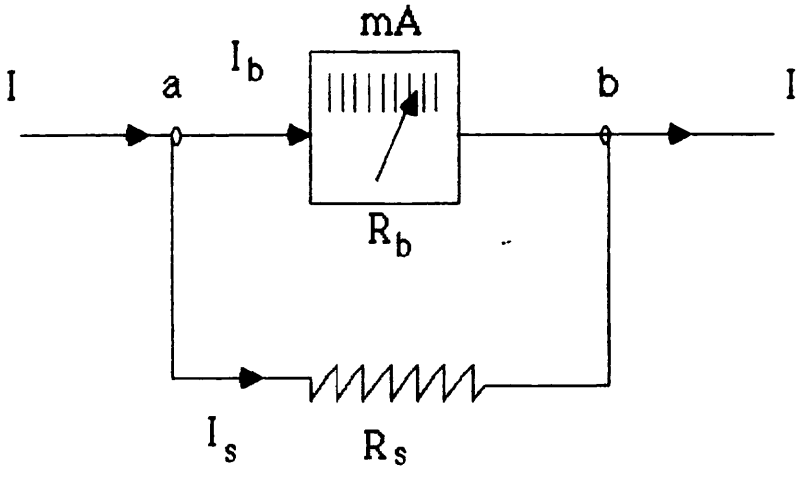
El número de grados de giro de la bobina depende de la intensidad de la corriente que circula por ella, así, midiendo esta desviación se puede determinar aquélla.

En general, la bobina lleva una aguja unida, que marca sobre una escala graduada el valor de la intensidad.

Como el sentido de giro de la bobina depende del sentido de circulación de la corriente, se debe llevar cuidado al conectar el aparato para evitar golpes de la aguja sobre el tope, que la pueden averiar.

Este instrumento podrá medir un rango de intensidades comprendido entre la mínima corriente que origina una desviación apreciable de la aguja y la corriente que hace que la aguja llegue al fondo de la escala.

¿Se podrá mejorar la sensibilidad de este aparato?. La respuesta es no. La sensibilidad del aparato depende de las características de la bobina y no puede ser modificada sino por el cambio de ésta por otra. Lo que se puede hacer es disminuir la sensibilidad y aumentar el rango de trabajo del instrumento. Consideremos para ello el dispositivo representado en la figura siguiente:



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

que consta de una resistencia R_s, denominada "shunt", colocada en paralelo con el instrumento. Cuando la corriente I llega al punto A, se divide en dos, I_s e I_b, y por lo tanto parte de la corriente total no circulará por la bobina, sino que lo hará por la resistencia exterior. ¿Qué cantidad de corriente se desviará?: la diferencia de potencial V_{ab} es la misma por los dos caminos posibles, luego se cumplirán las relaciones:

$$V_{ab} = I_b.R_b = I_s.R_s$$

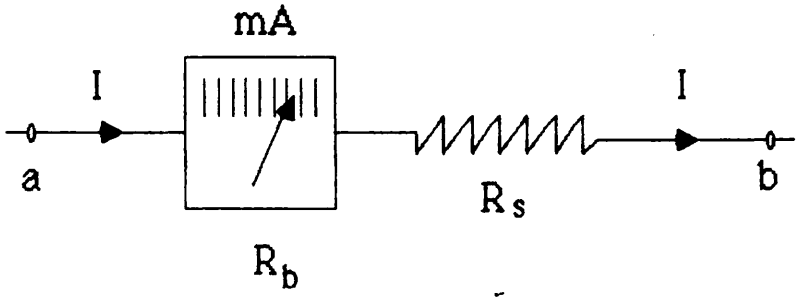
$$I = I_b + I_s$$

$$I = I_b + I_s = I_b + I_b.(R_b / R_s) = I_b (1 + R_b/R_s)$$

lo que nos dice que la intensidad total de la corriente es proporcional a la que circula por el aparato de medida, multiplicada por un factor que depende del cociente de las resistencias de la bobina y de la exterior.

Esta expresión indica que colocando en el shunt resistencias más pequeñas que las del propio aparato, se pueden determinar intensidades más grandes que las que puede medir el aparato, sin averiarlo.

En el dispositivo de la siguiente figura, la intensidad I pasa por el instrumento y por la resistencia externa R_s,



Luego:

$$V_{ab} = I (R_b + R_s)$$

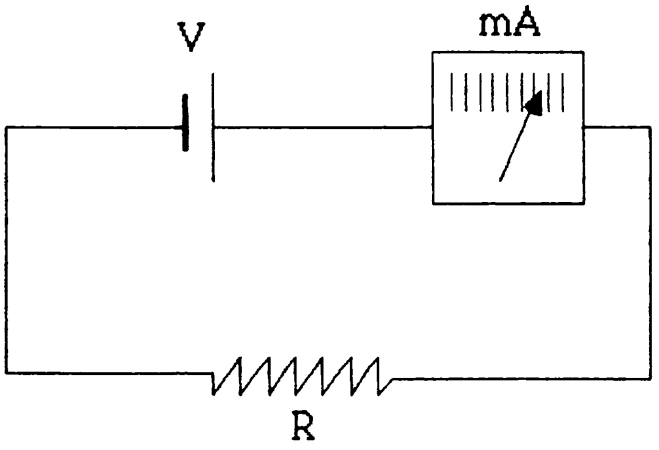
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

así que conocidos los valores de ambas resistencias, se puede calcular la diferencia de potencial entre los puntos a y b, midiendo la intensidad con la ayuda del instrumento.

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

4.1.-Medida de intensidades

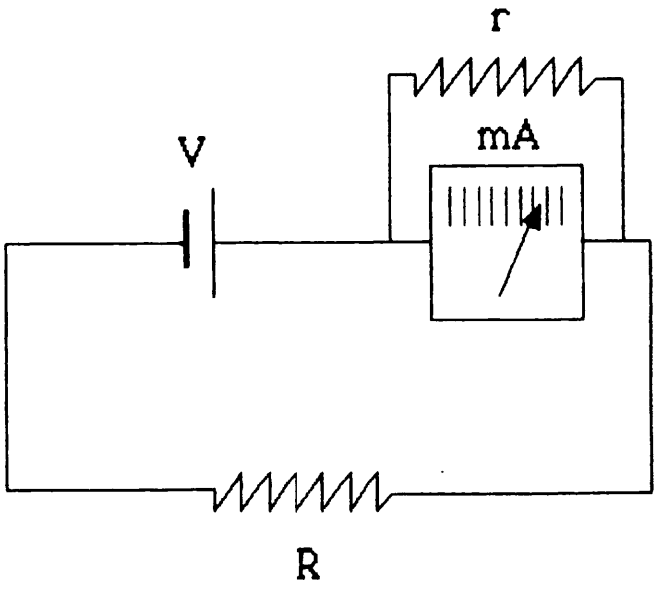
Realizar el montaje del circuito de la figura siguiente:



Donde la fuente de alimentación será una pila de petaca de 4'5 voltios, y el aparato de medida un miliamperímetro de 0 a 5 mA, la resistencia R será del orden de los 1000 ohmios.

En esta situación, la lectura del amperímetro nos indicará la intensidad. Si ahora se sustituye la resistencia R por otra de 750 Ω, se puede apreciar que la aguja del miliamperímetro se sale de la escala. Colocando una resistencia r, de unos 10 Ω, en paralelo con el miliamperímetro, tal y como indica la siguiente figura:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

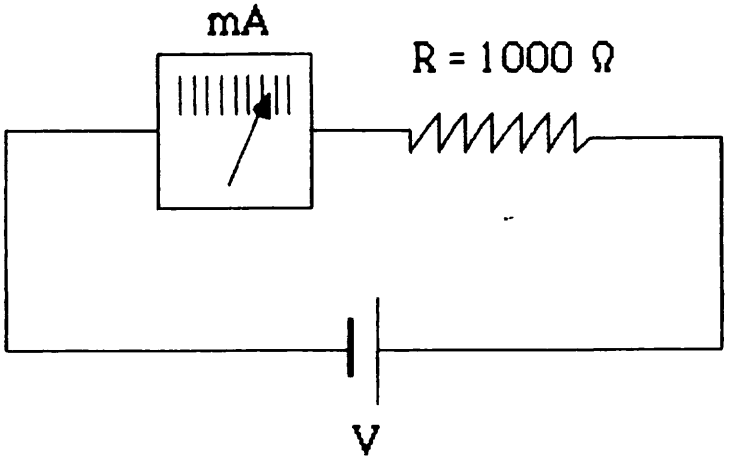


se observará que la aguja del miliamperímetro queda ya dentro del rango de medida propio del instrumento.

Repetir la experiencia colocando ahora una resistencia en paralelo de menos de 10 Ω.

4.2.-Medida de diferencias de potencial

Realizar el siguiente montaje, colocando en serie el miliamperímetro, la pila y una resistencia de 1000 Ω.



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Comprobar con el voltímetro que la diferencia de potencial entre los extremos de la pila es 4'5 V. Se puede calcular a través de la medida de la intensidad que indica el amperímetro y la resistencia en serie con él, utilizando la relación:

$$V_{ab} = I.R$$

pues la resistencia interna del miliamperímetro es pequeña y puede despreciarse frente a R.

5. CUESTIONES

(1) Cuando se coloca una resistencia en paralelo con el miliamperímetro, la sensibilidad del aparato, ¿aumenta o disminuye?

(2) En el mismo caso anterior, ¿qué sucede con el rango de medida?

(3) Describir las características que debería tener la resistencia a colocar en serie con el miliamperímetro para que se puedan medir diferencias de potencial de 1000 voltios.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 5

RESISTENCIA DE UN VOLTIMETRO

1. OBJETIVO

Calcular gráficamente la resistencia interna de un voltímetro.

2. MATERIAL

- Voltímetro 0-5 V
- Pila seca, 4'5 V
- Cables conectores
- Interruptor
- Resistencias: 430 Ω, 620 Ω, 910 Ω, 1'5 kΩ, 2 kΩ, 2'7 kΩ, 3'3 kΩ, 9'9 kΩ, 4'3 kΩ y 4'7 kΩ.

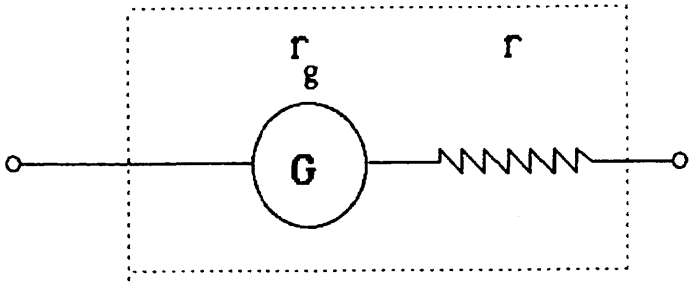
3. FUNDAMENTO

El voltímetro es un aparato que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito.

Los voltímetros se basan en el mismo principio que los amperímetros, pues ambos se pueden construir mediante un galvanómetro de cuadro móvil, pero en el caso del voltímetro se monta en serie con el galvanómetro una resistencia generalmente alta. El conjunto, para medir voltajes, se monta en paralelo en el circuito.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

En la siguiente figura se muestra el esquema del voltímetro, en el que G es el galvanómetro, r_g su resistencia interna y r la resistencia que se monta en serie.

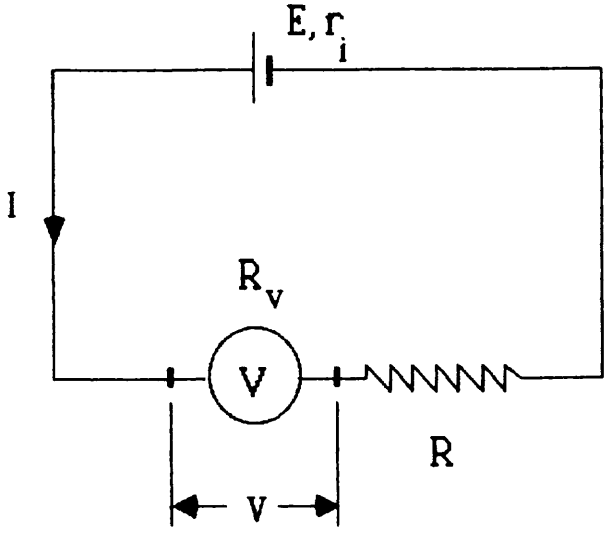


VOLTIMETRO

La resistencia interna del voltímetro, R_V, será:

$$R_V = r_g + r$$

y puede determinarse con el uso del siguiente montaje:



Se conecta el voltímetro, de alcance próximo al valor de la f.e.m. de la pila, en serie con una resistencia R.

La ecuación del circuito se escribe:

$$I(r_i + R_V + R) = E$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

donde E es la f.e.m. de la pila y r_i su resistencia interna, que puede despreciarse frente a las otras resistencias. En esta situación, la ecuación anterior toma la forma:

$$I(R_V + R) = E$$

La tensión en bornes del voltímetro, $V = I.R_V$, se calculará mediante:

$$V = \frac{R_V}{R_V + R} E$$

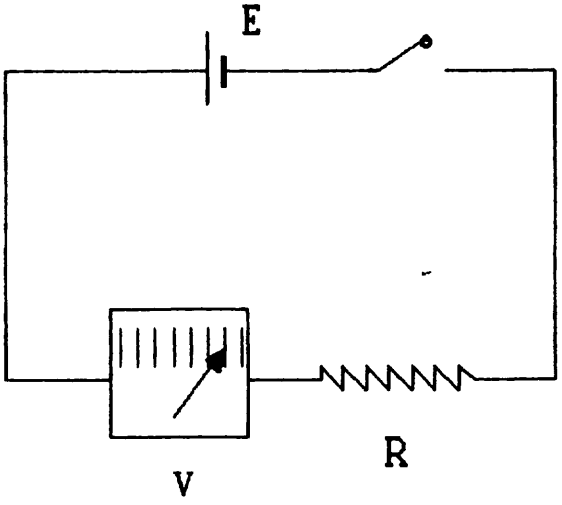
y de la ecuación anterior se obtiene la expresión:

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{E} + \frac{R}{E} \cdot \frac{1}{R_V}$$

ecuación que corresponde a una recta si se utilizan unos ejes (R, 1/V), siendo 1/E la ordenada en el origen, y $(E.R_V)^{-1}$ la pendiente de la misma.

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

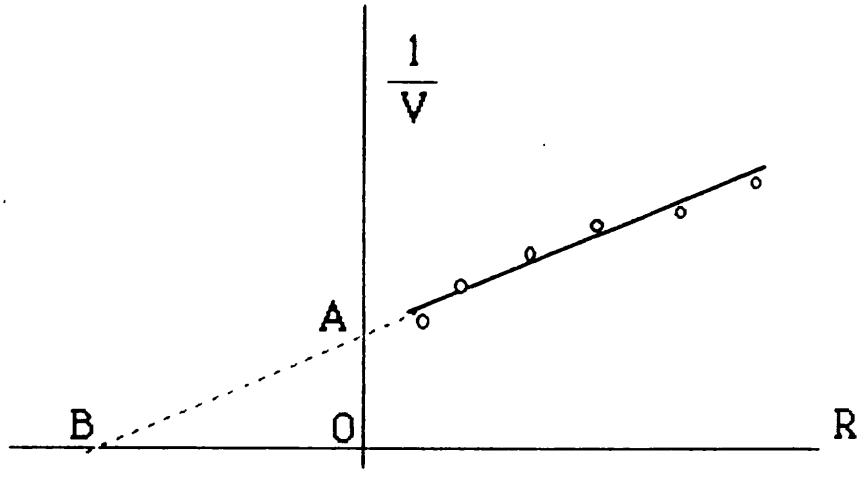
Montar el circuito de la siguiente figura, conectando la resistencia más baja y anotando la indicación del voltímetro. Sucesivamente se va aumentando el valor de la resistencia y se anotan los valores del voltaje.



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Construir una tabla en la que aparezcan los valores de las resistencias, R, los valores del voltaje, V, y su inverso 1/V, junto con sus errores.

Representar gráficamente 1/V frente a R, con los correspondientes rectángulos de error, lo que nos dará una gráfica como la siguiente:



Una vez construida la recta se deduce fácilmente que los valores de la resistencia interna del voltímetro y la f.e.m. de la pila pueden determinarse gráficamente a través de las relaciones:

$$OB = R_V$$

y

$$\frac{1}{OA} = E$$

con lo que se obtendrá fácilmente la resistencia del aparato por medida directa de la distancia OB sobre la gráfica.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

5. CUESTIONES

(1) Deducir y escribir la ecuación del circuito.

(2) Demostrar que OB = R_V.

(3) Ajustar por mínimos cuadrados la recta antes mencionada y obtener, del valor de la pendiente, R_V.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 6

RESISTIVIDAD DE UN CONDUCTOR Y LEY DE OHM

1. OBJETIVO

Determinar la resistividad de un conductor mediante la utilización de la ley de Ohm.

2. MATERIAL

- Fuente de alimentación variable de corriente continua 0-12 V
- Voltímetro
- Polímetro
- Hilo constantán
- Palmer
- Cinta métrica
- Cables conectores
- Interruptor
- Soportes aislantes

3. FUNDAMENTO

Cuando entre los extremos de un conductor lineal se aplica una diferencia de potencial V, a través de éste circulará una corriente eléctrica de intensidad I, de modo que esta d.d.p.,V, y el valor de la intensidad, I, para una temperatura dada, están relacionados mediante la ley de Ohm:

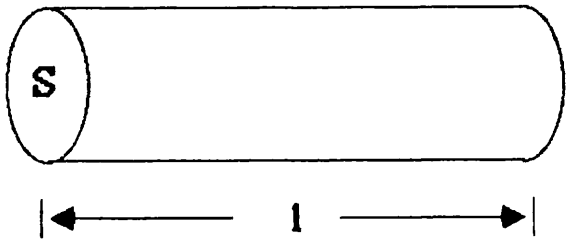
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$V = I.R$$

siendo R una constante que depende de las características del material y de la temperatura, y que recibe el nombre de resistencia. La resistencia, R, es función además de la geometría del material, es decir, de su sección transversal y de su longitud, de modo que se puede introducir la resistividad del material, ρ, como una característica del mismo y que no depende de factores geométricos. La resistividad de un conductor es la resistencia que opone al paso de la corriente por unidad de longitud y sección.

Consideremos una barra cilíndrica de material conductor de sección transversal S, longitud l y resistencia R, la relación que existe entre la resistencia y la resistividad es entonces la siguiente:

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



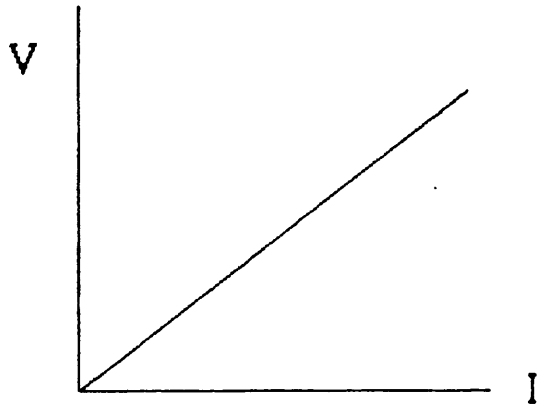
Con lo cual será posible determinar la resistividad del conductor si se conoce la sección, la longitud y la resistencia de un tramo de este conductor,

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

Para calcular la resistencia se puede hacer uso de la ley de Ohm

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

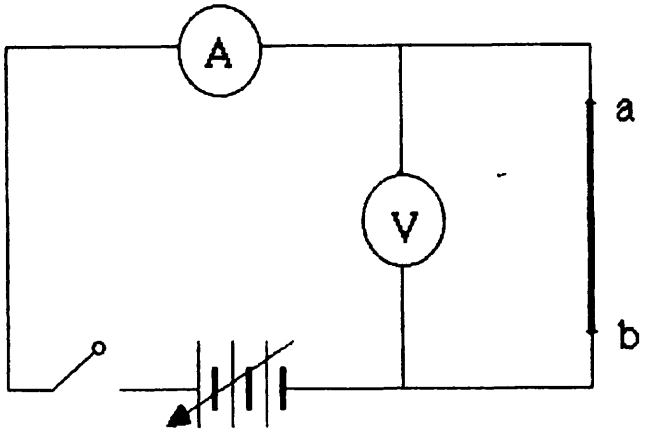
sometiendo los extremos del conductor a distintas diferencias de potencial y midiendo en cada caso la intensidad que circula por el mismo, teniendo en cuenta que para las resistencias óhmicas o lineales la característica tensión-corriente es una línea recta siempre que las intensidades no sean muy elevadas.



Característica tensión-corriente
de una resistencia óhmica o lineal

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

Montar el circuito representado en la siguiente figura, utilizando el polímetro como amperímetro, y situando entre los puntos a y b el hilo constantán.



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Se conecta el circuito y se va aumentando el voltaje de la fuente de alimentación, midiendo, en cada caso, la d.d.p. entre los extremos del hilo así como la intensidad que circula por el circuito. El voltaje debe ir aumentando cada vez en 1 voltio y llegando hasta unos 6 voltios. Hay que procurar que las intensidades no sean demasiado elevadas, pues de serlo aparecerían errores debidos al calentamiento del hilo que hace que la resistencia de éste cambie al variar la temperatura.

Con estos datos se construye una tabla en la que aparezcan las diferencias de potencial aplicadas y las intensidades que circulan por el circuito.

Se toman las medidas de la longitud del hilo con la cinta métrica y el diámetro del hilo con el palmer, realizando ambas medidas tres veces, y se halla el valor medio de las mismas. Conocido el valor del diámetro puede calcularse la sección del hilo conductor.

5. CUESTIONES

(1) Representar gráficamente V frente a I. Calcular los valores de R correspondientes a cada pareja (V, I), y la media de éstos.

(2) Ajustar por el método de los mínimos cuadrados la recta antes representada, calculando la pendiente de la misma (que no es otra cosa que la resistencia R).

(3) Una vez conocido el valor de la resistencia R, calcular la resistividad del material.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 7

RESISTENCIA INTERNA DE UN GENERADOR

1. OBJETIVO

Calcular el valor que tiene la resistencia interna de un generador, su fuerza electromotriz y la intensidad máxima que suministra, empleando para ello una pila seca de 4'5 V.

2. MATERIAL

- Pila seca de 4'5 V
- Reóstato 0 - 10 Ω
- Amperímetro de corriente continua, escala 0 - 5 A
- Voltímetro de corriente continua, escala 0 - 5 V
- Interruptor
- Cables conectores

3. FUNDAMENTO

Como consecuencia de la existencia, en todo circuito, de elementos pasivos (resistencias, motores, etc.), es decir, elementos que consumen energía, es preciso, para mantener una corriente eléctrica continua, que existan además elementos activos que suministren la energía eléctrica. Se denomina generador a cualquier dispositivo capaz de transformar de forma continua, algún tipo de energía (mecánica, térmica, química, etc.) en energía

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

eléctrica.

Un generador se caracteriza por su fuerza electromotriz (f.e.m.), E, que se define como la energía eléctrica desarrollada por la fuente por unidad de carga que pasa por sus bornes:

$$E = \frac{dW}{dq}$$

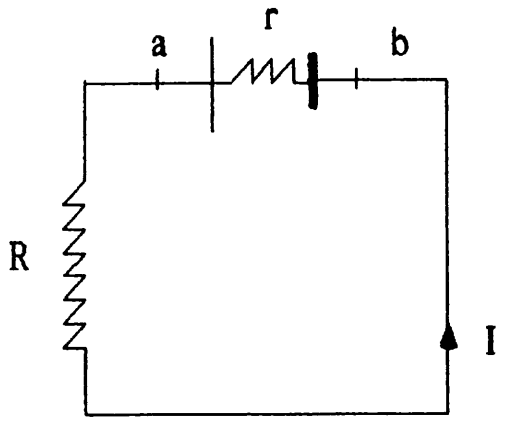
La f.e.m. tiene dimensiones de potencial y se mide en voltios (V).

Se pueden considerar dos tipos de generadores:

- Un generador lineal que se caracteriza porque la d.d.p., V, entre sus bornes es igual a la f.e.m., E, y es independiente de la intensidad que circula por el circuito, y
- Un generador real en el que existen pérdidas debidas al propio generador, de modo que E es mayor que V. En la mayoría de los casos el comportamiento de un generador real puede explicarse suponiendo que el generador tiene una resistencia interna r, constante, responsable de las pérdidas de energía. En esta situación el generador real recibe el nombre de generador lineal y puede considerarse equivalente a un generador ideal en serie con la resistencia interna r.

Consideremos el circuito de la siguiente figura, en el que la fuente de alimentación de corriente continua (pila, acumulador, etc.), suministra corriente a una resistencia externa R. Es necesario tener presente que la corriente también circula por el interior del generador y como éste tiene una resistencia interna r (suponiendo un generador real lineal), parte de la energía es consumida en el interior.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Por la ley de Ohm, el valor de la intensidad que circula por el circuito de la figura es:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

donde E es la f.e.m. del generador, R la resistencia externa y r la resistencia interna del generador. Despejando:

$$E = I R + I r$$

y como $I R = V_{ab}$, d.d.p. entre los bornes del generador, nos queda

$$E = V_{ab} + I r$$

o bien, el valor de V_{ab} será:

$$V_{ab} = E - I r$$

Ecuación que proporciona la característica tensión-corriente para un generador lineal.

Esta última expresión nos indica que la tensión que suministra la pila siempre es inferior a la f.e.m., y esta disminución es debida a la resistencia del generador.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Sólo en el caso de que el circuito esté abierto (I = 0):

$$V_{ab} = E$$

Cuando se unen los bornes del generador uno con otro, I = E/r es la corriente de cortocircuito y es máxima la intensidad que puede suministrar la pila.

Se denomina <u>rendimiento de un generador</u>, μ, al cociente entre la potencia suministrada y la desarrollada:

$$\mu = \frac{P_s}{P} = \frac{V}{E}$$

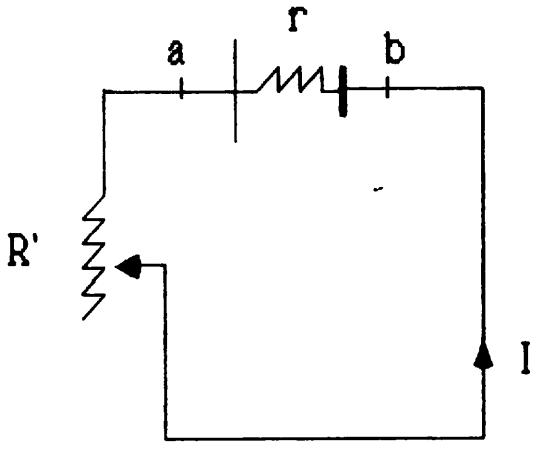
Evidentemente $\mu \leq 1$. Para un generador lineal:

$$\mu = 1 - I\,\frac{r}{E}$$

siendo $\mu(I)$ una relación lineal.

De la expresión $V_{ab} = E - I.r$ se puede obtener la resistencia interna del generador (r) y la fuerza electromotriz (f.e.m.) representando las tensiones en los bornes de la resistencia frente a la intensidad del circuito, es decir, V_{ab} frente a I.

Un dispositivo experimental sencillo para obtener estos datos viene dado en la figura



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

La resistencia exterior se hace cambiar por medio de una resistencia variable o reóstato, R'. La intensidad que circula por el circuito vendrá dada por la ecuación:

$$I = \frac{E}{R' + r}$$

además:

$$E = I R' + I r = V_{ab} + I r$$

luego:

$$V_{ab} = E - I r$$

como $I R' = V_{ab}$, $I = V_{ab}/R'$, de donde:

$$V_{ab} = E - r(V_{ab}/R') \quad ; \quad V_{ab}(1 + r/R') = E$$

y finalmente:

$$V_{ab} = \frac{E}{1 + \frac{r}{R'}}$$

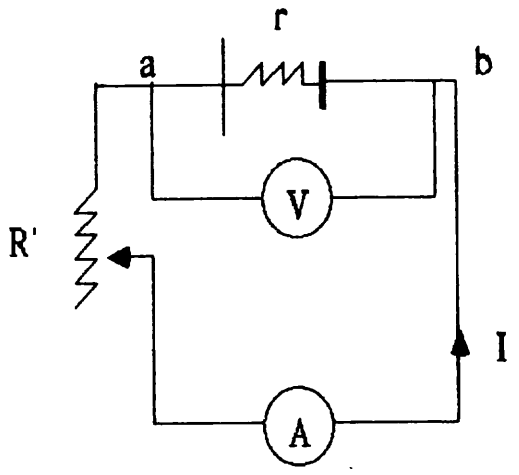
Cuando $R' >> r$; r/R' tiende a cero y V_{ab} tiende a E.

Cuando $R' << r$; V_{ab} tiende a cero.

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

Montar el circuito de la siguiente figura, utilizando una pila seca de petaca de 4'5 V, un voltímetro, un amperímetro y un reóstato.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Si la V_{ab} con el circuito abierto es menor de 4 voltios la pila está agotada y hay que cambiarla.

Variando R' se van obteniendo distintas intensidades y se anotan pares de valores.

Es importante cerrar el circuito sólo en el momento de efectuar la medida, ya que sobre todo con intensidades altas las pilas se agotan rápidamente, y los valores obtenidos en una serie de medidas no son coincidentes.

Es conveniente dejar transcurrir 1 minuto entre cada medida y no tener más de 10 segundos el circuito cerrado.

Es necesario repetir toda la serie de medidas tres veces dejando transcurrir entre una serie de medidas y otra 15 minutos.

Para efectuar las medidas correctamente es necesario el trabajo de dos alumnos al mismo tiempo, uno de ellos manejará la resistencia variable y medirá con el voltímetro, mientras que el otro tendrá a su cargo el amperímetro y el interruptor.

El que se encarga del reóstato de detendrá en los valores de tensión fijados de antemano, por ejemplo, 4'5, 4'4, . . . ,3'5 voltios y en el momento de llegar al valor preestablecido el otro mide la intensidad y abre el circuito.

No es conveniente bajar de 3'5 voltios para no agotar la pila rápidamente.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

5. CUESTIONES

(1) Efectuar tres series de medidas como se ha descrito con anterioridad y colocarlas en una tabla.

(2) Calcular las desviaciones medias de las tres medidas y compararlas con el error absoluto.

(3) Efectuar una representación gráfica de V_{ab} frente a I, y utilizando el método de los mínimos cuadrados obtener un valor de r y de E.

(4) Obtener el valor máximo de intensidad suministrado por la pila.

(5) Obtener la representación gráfica que da el rendimiento del generador en función de la intensidad, una vez conocida la resistencia interna del generador, ¿qué se puede deducir de dicha representación?

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 8

CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA

1. OBJETIVO

Construcción de circuitos eléctricos de corriente continua, manejo de voltímetros y amperímetros.

Cálculos teóricos con circuitos y comparación con los resultados experimentales.

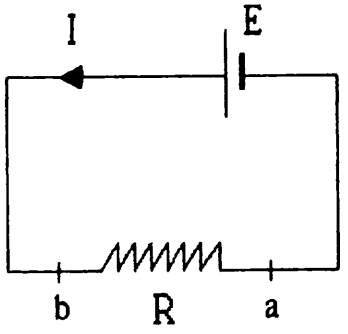
2. MATERIAL

- Pila de petaca de 4'5 voltios
- Voltímetro
- Miliamperímetro
- Resistencias: 1800 Ω, 1300 Ω y 820 Ω
- Interruptor
- Cables conectores
- Panel para conexiones

3. FUNDAMENTO

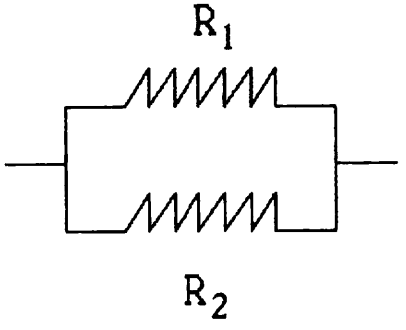
Sea un circuito como el de la figura, donde R es el valor de la resistencia y E la diferencia de potencial en los bornes del generador. La intensidad I, que circula por el circuito es $I = E/R$ y la caída de potencial en la resistencia $V_{ab} = I.R$.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Cuando en un circuito eléctrico se tienen <u>resistencias en paralelo</u>, como en la figura, se puede obtener la resistencia equivalente como:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

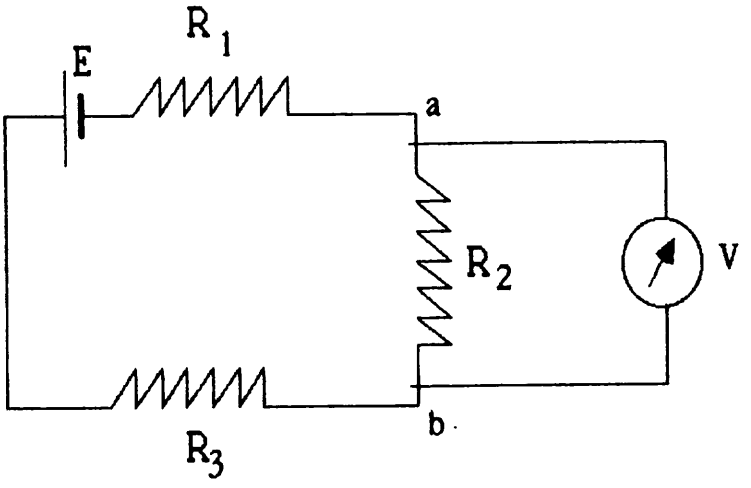


Cuando nos encontramos <u>resistencias en serie</u>:

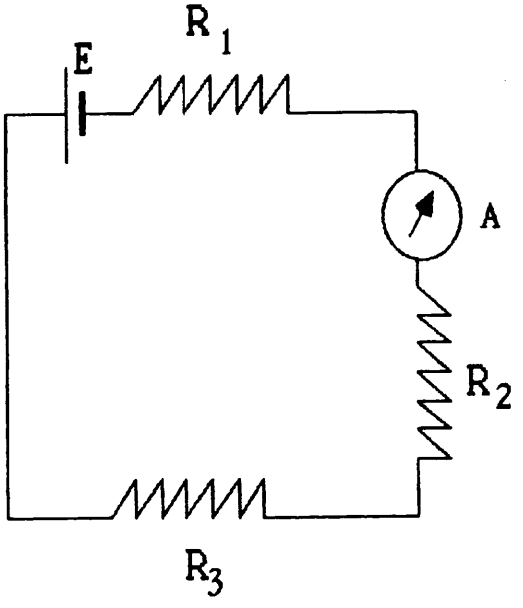
$$R_e = R_1 + R_2$$

El voltímetro es un instrumento que se utiliza para medir diferencias de potencial entre dos puntos de un circuito. Así, en el circuito de la figura siguiente, si se quiere medir la caída de potencial en la resistencia R_2, se debe concectar el voltímetro en paralelo con ella, entre los puntos a y b.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



El amperímetro se utiliza para medir intensidades y se coloca en serie con el circuito como muestra la figura:



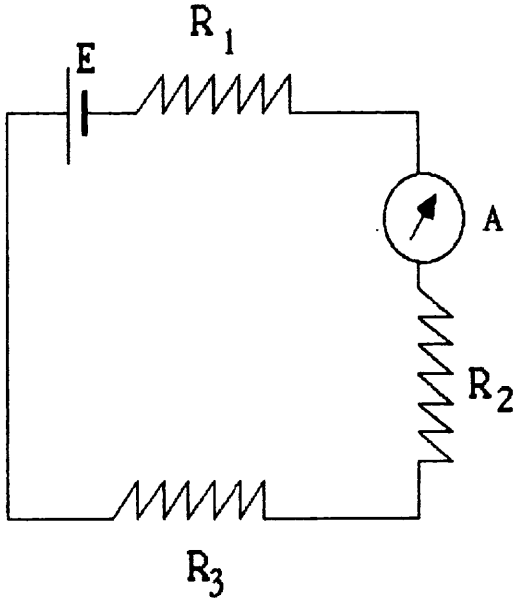
4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

(a) Montar el circuito de la figura y, con ayuda del voltímetro, medir las diferencias de potencial V_1, V_2 y V_3, entre los extremos de las

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

resistencias R_1, R_2 y R_3, respectivamente, colocando para ello el voltímetro en paralelo con el circuito. Donde R_1= 1800 Ω , R_2 = 1300 Ω y R_3 = 820 Ω.

Para medir la intensidad colocar el miliamperímetro en el circuito:



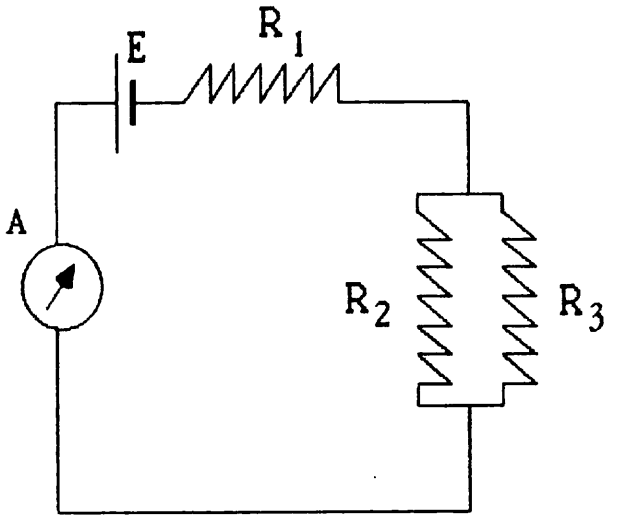
Para comprobar la validez de las medidas efectuadas, éstas se pueden comparar con el cálculo teórico, así la intensidad que circula por el circuito sería: $I = E / (R_1 + R_2 + R_3)$ y las diferencias de potencial:

$$V_1 = I \cdot R_1 = (E \cdot R_1) / (R_1 + R_2 + R_3)$$
$$V_2 = I \cdot R_2 = (E \cdot R_2) / (R_1 + R_2 + R_3)$$
$$V_3 = I \cdot R_3 = (E \cdot R_3) / (R_1 + R_2 + R_3)$$

Para conocer la fuerza electromotriz del generador, se aplica el voltímetro a él directamente, considerando despreciable su resistencia interna frente a las resistencias exteriores.

(b) Montar a continuación el circuito de la siguiente figura, y con el vultímetro determinar las caídas de potencial en la resistencia R_1 y en el conjunto R_2, R_3.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



El cálculo teórico de este circuito sería

$$R_e = R_1 + (R_2 . R_3) / (R_2 + R_3)$$

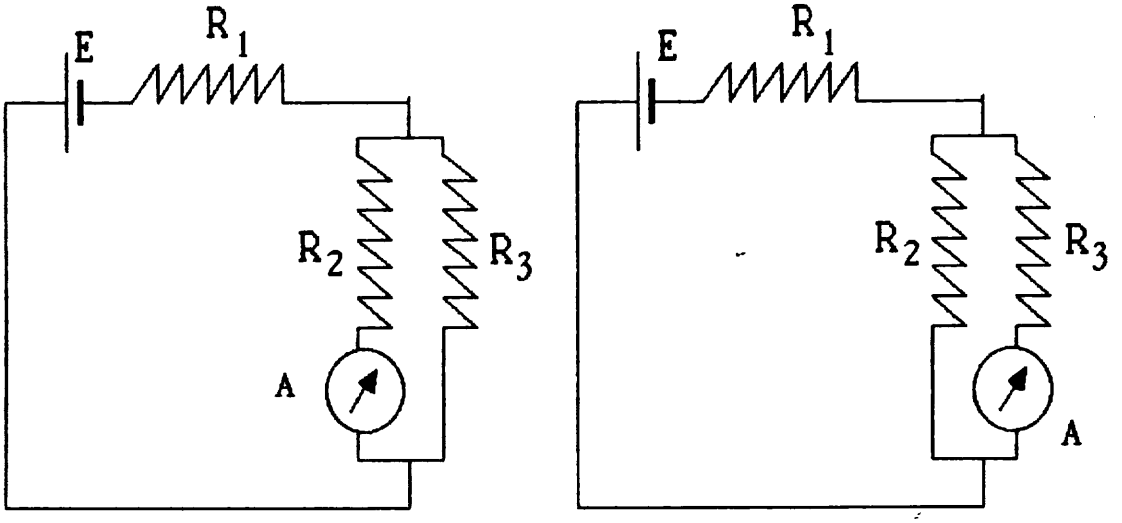
$$I = E / R_e$$

$$V_1 = I . R_1 \qquad V_2 = V_3 = V_{23} = I . R_{23}$$

donde

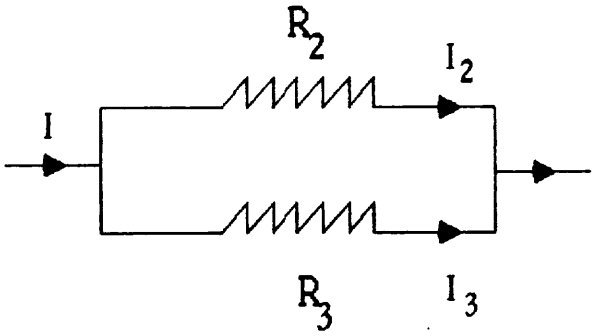
$$R_{23} = (R_2 . R_3) / (R_2 + R_3)$$

Ahora colocar el amperímetro en las ramas de las resistencias R_2 y R_3 sucesivamente.



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Obtener los valores de las intensidades que circulan por cada rama del circuito y compararlas con las obtenidas teóricamente.



$R_2 \cdot I_2 = R_3 \cdot I_3$ $\qquad$ $I_2 + I_3 = I$;

$I_3 = I - I_2$ $\qquad$ $R_2 . I_2 = R_3 . (I - I_2)$

$(R_2 + R_3) . I_2 = I . R_3$ $\qquad$ $I_2 = (I . R_3) / (R_2 + R_3)$

$I_3 = I - I_2$

5. CUESTIONES

(1) Resolver los circuitos aplicando las leyes de Ohm y Kirchhoff, con el correspondiente cálculo de errores.

(2) Construir una tabla en la que aparezcan los valores de las intensidades experimentales y teóricas, y comprobar la concordancia entre ambas.

(3) ¿Está justificado despreciar la resistencia interna del generador?, ¿por qué?

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 9

TEOREMA DE THEVENIN

1. OBJETIVO

Comprobar experimentalmente el teorema de Thevenin aplicándolo a la resolución de circuitos de corriente continua.

2. MATERIAL

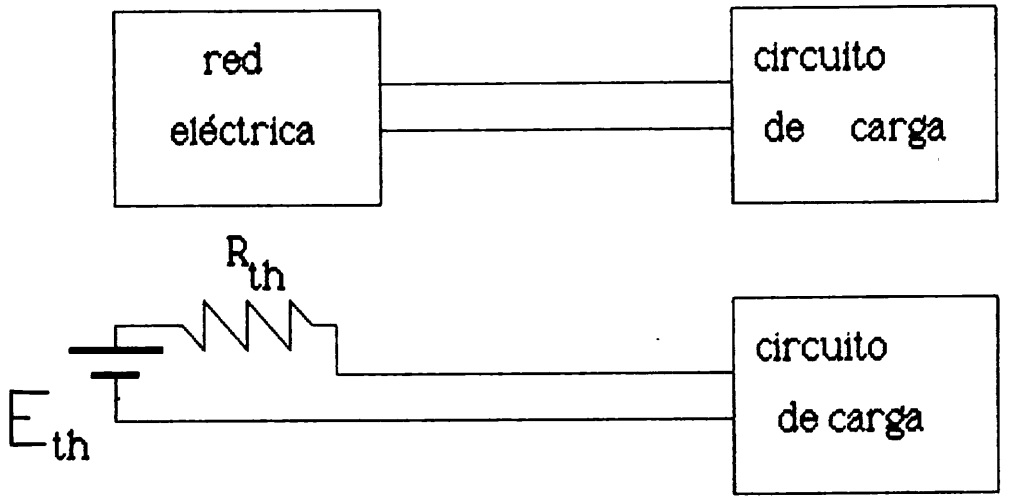
- Fuente de alimentación de corriente continua regulable
- Polímetro
- Cables conectores
- Panel para conexiones
- Resistencias: $R_1 = 430\ \Omega$, $R_2 = 1'1\ k\Omega$, $R_3 = 1'1\ k\Omega$, $R_4 = 510\ k\Omega$, $R_5 = 360\ \Omega$

3. FUNDAMENTO

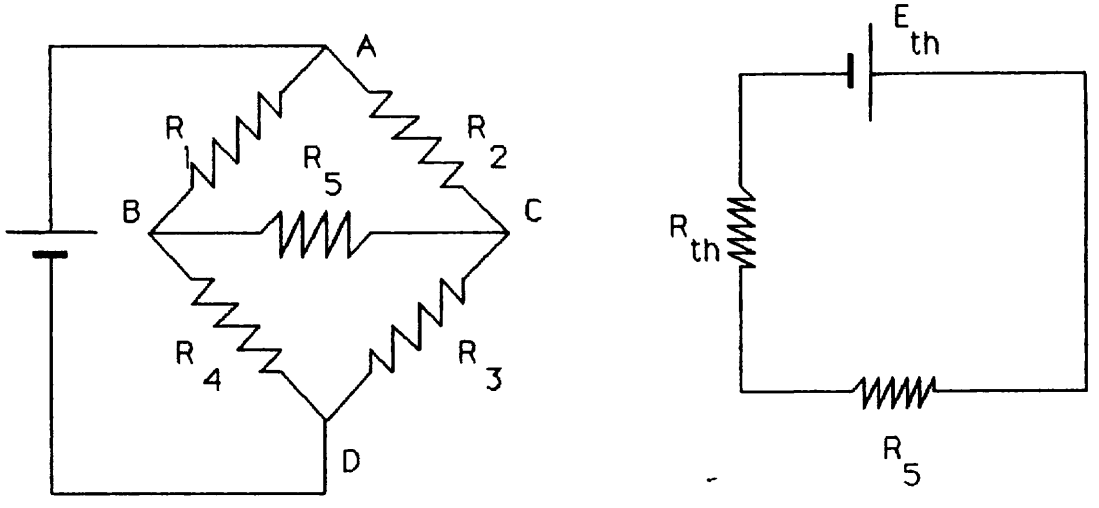
Las leyes de Ohm y de Kirchhoff son las que habitualmente se emplean para resolver los problemas de circuitos de corriente continua. En circuitos eléctricos más complejos, el teorema de Thevenin da una solución más sencilla que las anteriormente citadas.

Este dice que cualquier red eléctrica entre dos puntos se puede sustituir por un circuito elécrico sencillo que equivale a toda la red. Esta situación se aprecia en la siguiente figura:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



En la siguiente figura se observa un circuito eléctrico formado por cinco resistencias y un generador, junto con el circuito equivalente de Thevenin.



Si el problema trata sobre el cálculo de la intensidad de la corriente que circula por la resistencia R_5 se puede construir un circuito equivalente

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

formado por un generador que suministra una tensión E_{th} que se denomina tensión de Thevenin, una resistencia de Thevenin y la resistencia problema R_5 conectada en serie con R_{th} y con el generador de Thevenin.

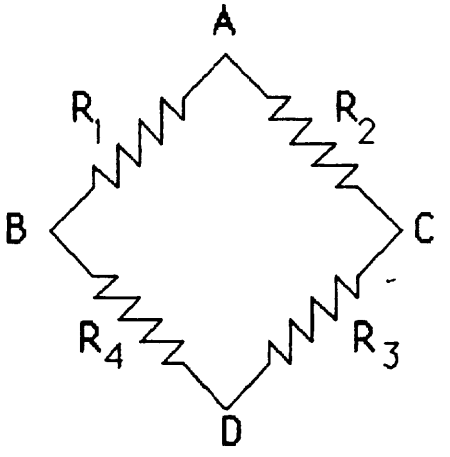
La tensión de Thevenin se define como la diferencia de potencial que existe entre los extremos de la red que se quiere sustituir si el circuito de carga no existiera. La resistencia de Thevenin es la resistencia equivalente entre los extremos de la red cuando no está el circuito de carga y no se consideran los generadores.

El problema se centra después de esto en el cálculo de E_{th} y R_{th} que hacen que la intensidad que circula por R_5 sea la misma que en el circuito original.

En el circuito equivalente se tendrá:

$$I = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_5}$$

la <u>tensión de Thevenin</u>, E_{th}, es la tensión que hay entre los extremos de la resistencia problema R_5, cuando ésta no existe, puntos B y C. El cálculo de E_{th} es fácil si representamos el circuito como en la figura, en la que hemos suprimido la resistencia R_5.



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$V_{BC} = E_{th} = V_{BD} - V_{CD} \; ; \quad V_{BD} = I_{BD} \cdot R_{BD} = I_{BD} \cdot R_4$$

Como la diferencia de potencial V_{AD} es la misma por la rama ABD que por la ACD, tendremos:

$$V_{AD} = I_{ABD} \cdot (R_1 + R_4) = I_{ACD} \cdot (R_2 + R_3)$$

con lo cual:

$$I_{ABD} = I_{BD} = V_{AD} / (R_1 + R_4)$$

con lo que las tensiones V_{BD} y V_{CD} las calcularemos como:

$$V_{BD} = V_{AD} \cdot R_4 / (R_1 + R_4)$$

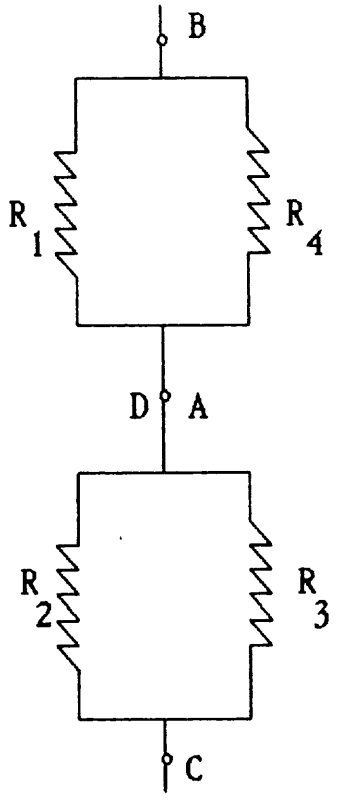
$$V_{CD} = V_{AD} \cdot R_3 / (R_2 + R_3)$$

y la tensión de Thevenin será, finalmente,

$$E_{th} = V_{AD} \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

Para calcular la <u>resistencia equivalente de Thevenin</u>, R_{th}, se elimina el generador del circuito, si tiene resistencia se coloca en serie con las demás, y se calcula la resistencia equivalente a todo el circuito eliminando la resistencia problema y tomando como extremos del circuito los dos extremos de la resistencia problema, en este caso B y C. Tal situación se presenta en la figura:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Teniendo en cuenta que:

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4}$$ y

$$\frac{1}{R_B} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$ siendo

$$R_{th} = R_A + R_B$$

$$R_{th} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

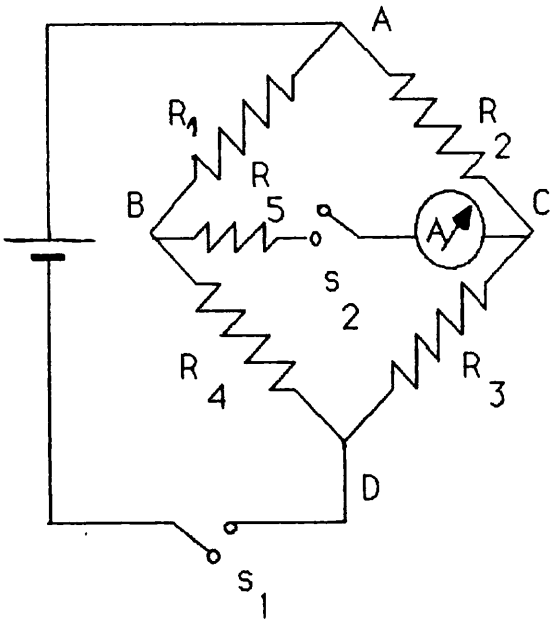
4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

Se calcula la intensidad de corriente que circula por la resistencia R_5 de la figura, mediante la aplicación del teorema de Thevenin de acuerdo a las explicaciones dadas con anterioridad.

Para ello hay que obtener previamente el circuito equivalente de Thevenin, es decir, hay que calcular la tensión de Thevenin y la resistencia de Thevenin.

Montar ahora el circuito, siendo A el polímetro actuando como amperímetro.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



$R_1 = 430\ \Omega$

$R_2 = 1'1\ k\Omega$

$R_3 = 1'1\ k\Omega$

$R_4 = 510\ \Omega$

$R_5 = 360\ \Omega$

Teniendo abiertos S_1 y S_2 conectar la fuente de alimentación y con ayuda de un voltímetro colocado entre A y D hacer que la diferencia de potencial valga 12 voltios. Cerrar S_2 y medir con un amperímetro la corriente que pasa por R_5.

5. CUESTIONES

(1) Calcular mediante las leyes de Kirchhoff y el Método de las corrientes de malla la intensidad que pasa por R_5.

(2) Calcular mediante la aplicación del teorema de Thevenin la intensidad de corriente que pasa por R_5.

(3) Calcular experimentalmente la intensidad de corriente que circula por la resistencia R_5.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 10

CORRIENTE ALTERNA: CIRCUITOS EN SERIE

1. OBJETIVO

Estudiar los circuitos en serie RL, RC y RLC en corriente alterna, así como su aplicación al cálculo de capacidades y autoinducciones.

2. MATERIAL

- Fuente de alimentación de corriente alterna, de 0 - 6 V.
- Polímetro
- Condensador: 0'47 μF.
- Resistencias: 27 Ω y 4'7 kΩ.
- Bobina: 15 mH.
- Interruptor

3. FUNDAMENTO

Cuando a los extremos de una resistencia óhmica se aplica una tensión alterna, $v = V_m \text{sen } wt$, la intensidad de la corriente que se origina se deduce a partir de la ley de Ohm:

$$i = (V_m/R) \text{ sen } wt = I_m \text{ sen } wt$$

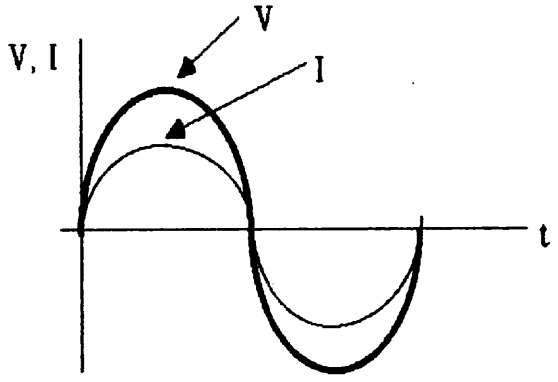
resultando que la intensidad también varía sinusoidalmente con el tiempo,

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

con la misma frecuencia que la tensión aplicada, y su valor máximo vale:

$$I_m = V_m/R$$

Por tanto, cuando un circuito sólo contiene resistencia óhmica, la intensidad de la corriente no presenta diferencia de fase respecto a la tensión aplicada que la origina.



En general, en los circuitos de corriente alterna figuran otros elementos junto a las resistencias óhmicas. Supongamos que existen conectados en serie con una resistencia R, una bobina de autoinducción L y un condensador de capacidad C.

Al aplicar una tensión alterna a los extremos de dicho circuito en serie se establece, una vez desaparecidos los efectos transitorios, una corriente estacionaria, que viene expresada por

$$i = I_m \operatorname{sen}(wt - \beta)$$

en la que se pone de manifiesto que la frecuencia $f = w/2\pi$ de la intensidad es la misma que la correspondiente a la tensión, pero que la intensidad está desfasada en un ángulo β (ángulo de desfase) respecto a la tensión.

Los valores de la tensión e intensidad que se miden con los voltímetros y amperímetros de corriente alterna no son los <u>valores máximos</u>, V_m e I_m, sino los <u>valores eficaces</u> V_{ef} e I_{ef}. La intensidad eficaz

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

de una corriente alterna se define como el valor de la intensidad de una corriente constante que desarrollase la misma cantidad de calor en el mismo tiempo y en la misma resistencia. Se demuestra que

$$I_{ef} = I_m/\sqrt{2} = 0'707\ I_m$$

y análogamente es

$$V_{ef} = V_m/\sqrt{2} = 0'707\ V_m$$

De ahora en adelante, se interpretará que las letras I y V sin subíndices hacen referencia a los valores eficaces de las magnitudes correspondientes.

Se verifica que

$$I_m = V_m/Z$$

siendo Z la <u>impedancia</u> del circuito, que corresponde a la resistencia R de la ley de Ohm en corriente continua. Para los valores eficaces se satisface la ecuación

$$I = V/Z$$

La relación que existe entre la impedancia Z del circuito RLC en serie y las características R, L y C de los tres elementos considerados es

$$Z = \sqrt{R^2 + (wL - 1/wC)^2}$$

que introduciendo las siguientes simplificaciones

$$X_L = wL \qquad X_C = 1/wC \qquad X = X_L - X_C$$

se escribe

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

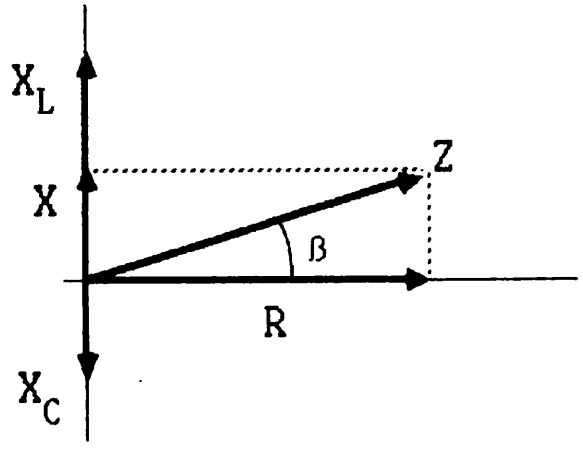
Por otra parte, el ángulo de desfase β viene expresado por

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$\beta = \text{arc tg}\,(X/R)$$

La magnitud X recibe el nombre de reactancia; X_L y X_C son la reactancia inductiva o inductancia y la reactancia capacitiva o capacitancia. Tanto la impedancia como la reactancia se miden en ohmios (Ω).

La relación que existe entre la impedancia Z de un circuito RLC en serie y los valores de R, X_L y X_C puede representarse gráficamente considerando estas magnitudes como vectores. La resistencia R se representa por un vector situado en el eje OX, en el sentido positivo del mismo; y las reactancias X_L y X_C, por vectores situados sobre el eje OY, en sentidos positivos y negativo respectivamente. La impedancia Z será el vector suma de los tres vectores. Así se tiene el denominado diagrama del vector impedancia del circuito.



En dicha figura se ha considerado el caso en que $X_L > X_C$, y por tanto X es positiva, y también es positivo el ángulo de desfase β. Diremos que el circuito representado por dicho diagrama es "inductivo". En el caso contrario, esto es $X_C > X_L$, el circuito sería "capacitivo".

Como casos especiales, es evidente que si el circuito sólo contiene una resistencia pura, entonces $X = 0$, $Z = R$ y $\beta = 0$ y la intensidad está en fase con la tensión aplicada.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Si el circuito sólo contiene autoinducción pura, será $R = 0$, $Z = X_L = wL$ y $\beta = +\pi/2$ y la intensidad se retrasa 90° respecto a la tensión aplicada.

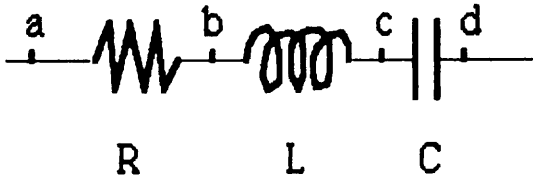
Pero si el circuito sólo se compone de capacidad pura, se tendrá $R = 0$, $Z = X_C = 1/wC$ y $\beta = -\pi/2$, y la intensidad adelanta en un ángulo de 90° a la tensión.

La d.d.p. entre dos puntos cualesquiera de un circuito es igual al producto de la intensidad por la impedancia del circuito entre los dos puntos considerados, siempre que no exista ninguna f.e.m. comprendida entre dichos puntos. Así

$$V_{ab} = I\,Z_{ab}$$

La diferencia de fase β entre V_{ab} e I será

$$\beta = \text{arc tg}\,(X_{ab}/R_{ab})$$



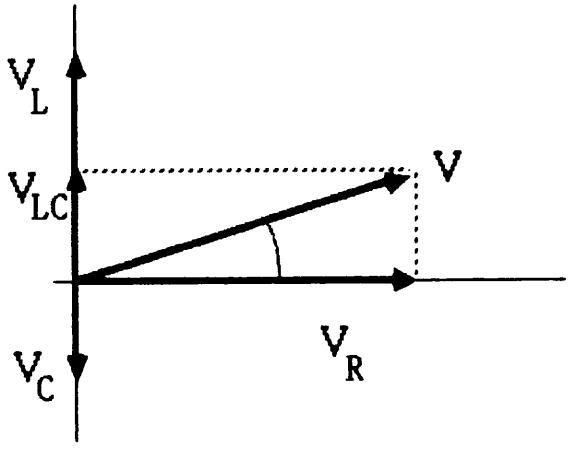
En la figura, la impedancia Z_{ab} entre a y b es igual a R y, por consiguiente $V_{ab} = I\,R$ y $\beta = \text{arc tg}\,0 = 0$. Esto es, la diferencia de potencial entre los terminales de una resistencia pura está en fase con la intensidad de la corriente.

Entre los puntos b y c es $Z_{bc} = X_L$, $V_{bc} = I\,X_L$ y $\beta = \text{arc tg}\,(+\infty) = +\pi/2$. Esto es, la diferencia de potencial entre los terminales de una autoinducción pura está avanzada 90° respecto a la intensidad.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Entre los puntos c y d es $Z_{cd} = X_C$, $V_{cd} = I\,X_C$ y $\beta = \text{arc tg}\,(-\infty) = -\pi/2$. Esto es, la diferencia de potencial entre los terminales de una capacidad pura está retrasada 90° respecto a la intensidad.

Debido a estos desfases, la suma de las diferencias de potencial eficaces entre los extremos de un cierto número de elementos de un circuito en serie no es igual a la diferencia de potencial entre los extremos del conjunto. La suma de tensiones deberá efectuarse geométricamente, como se indica en la siguiente figura, donde V_R, V_L y V_C son las tensiones entre los extremos de la resistencia R, autoinducción L y capacidad C, respectivamente, y V es la tensión entre los extremos de la asociación en serie RLC.

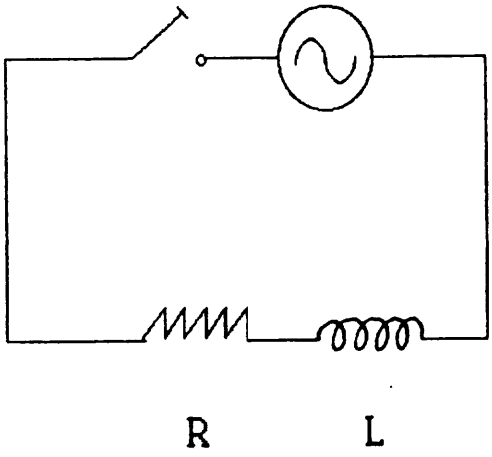


4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

4.1.- Circuito RL serie

Medir la resistencia R con el polímetro y lo mismo para la resistencia óhmica de la bobina, R_L, pues una bobina real está formada en primera aproximación por una resistencia, R_L, en serie con una autoinducción. Móntese el circuito de la siguiente figura, con R = 27 Ω.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



Se mide la diferencia de potencial eficaz entre los extremos de la resistencia, V_R, de la autoinducción, V_L, y del conjunto, V.

Calcular la intensidad eficaz del circuito, la inductancia X_L de la bobina, y a partir de dicho valor calcular la autoinducción L de la bobina.

$$I = V_R/R$$

$$Z_L = V_L/I$$

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + (wL)^2}$$

y como $w = 2\pi.50$, queda

$$L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}/100\pi$$

Determinar también la impedancia Z del circuito RL serie, a partir de los valores de V y de I, y comparar con el valor que se obtiene al aplicar la expresión

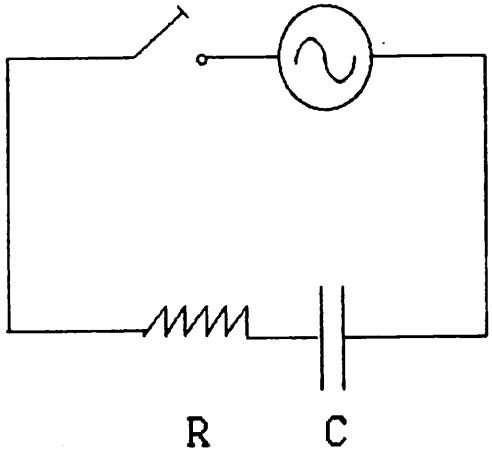
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Calcular el ángulo de desfase β entre la intensidad y la tensión y dibujar los diagramas vectoriales de impedancias y tensiones.

4.2.-Circuito RC serie

Montar el circuito de la siguiente figura, con una resistencia óhmica R = 4'7 kΩ:



Medir R con el polímetro, así como la tensión eficaz entre los extremos de la resistencia, V_R, de la capacidad, V_C y del conjunto RC, V.

Entonces

$$I = V_R/R$$

$$Z_C = V_C/I$$

$$Z_C = 1/wC$$

$$C = 1/100\pi.Z_C$$

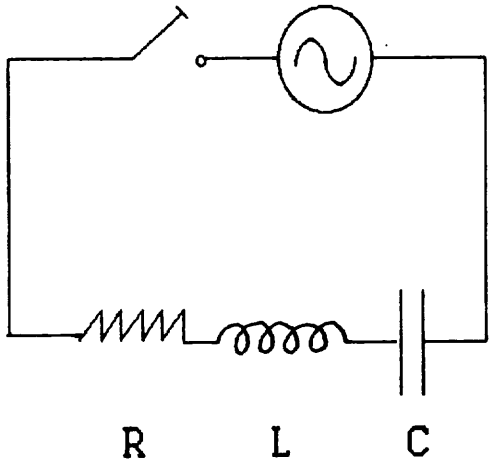
Determinar la impedancia Z del circuito RC a partir de los valores de la resistencia y de la capacitancia.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Calcular el ángulo de desfase β entre la intensidad y la tensión aplicada y dibujar los diagramas vectoriales de impedancias y tensiones.

4.3.-Circuito RLC serie

Consideremos el circuito de la figura siguiente:



Medir las resistencias R y R_L, y las tensiones eficaces entre los extremos de la resistencia, V_R, de la autoinducción, V_L, del condensador, V_C, y del montaje RLC en serie.

Calcular la intensidad eficaz del circuito. Calcular X_L, X_C, L y C, como en los circuitos anteriores.

Calcular la impedancia Z del circuito RLC en serie, a partir de los valores de la intensidad I y de la tensión total V.

Calcular la impedancia del circuito RLC en serie.

Determinar el ángulo de desfase entre la intensidad y la tensión total.

Dibujar los diagramas vectoriales de impedancias y tensiones.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

5. CUESTIONES

(1) Comprobar que $V_R + V_L \neq V$ en el circuito RL. ¿Por qué?

(2) Obtener, mediante el circuito RL, el valor de la autoinducción L.

(3) Obtener, mediante el circuito RC, el calor de la capacidad C.

(4) El circuito RLC estudiado en esta práctica, ¿es inductivo o capacitivo?

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 11

CARACTERISTICAS DE UN DIODO DE UNION

1. OBJETIVO

Medir los efectos de la polarización directa y de la polarización inversa sobre la corriente en un diodo de unión. Determinar experimentalmente la característica tensión-corriente de un diodo de unión.

2. MATERIAL

- Diodo de unión (germanio)
- Resistencias de carga, R_L, de 210 Ω y 3'3 kΩ
- Fuente de alimentación de corriente continua de 0 a 12 V
- Voltímetro de corriente continua, escala 0-15 V
- Miliamperímetro de corriente continua, escala 0-500 mA
- Microamperímetro de corriente continua, escala 0-100 μA
- Cables conectores
- Panel para conexiones

3. FUNDAMENTO

3.1.- Semiconductores: Electrones y huecos

Los semiconductores son materiales cuya resistencia se encuentra en una posición intermedia entre los conductores y los aislantes. Tal es el caso

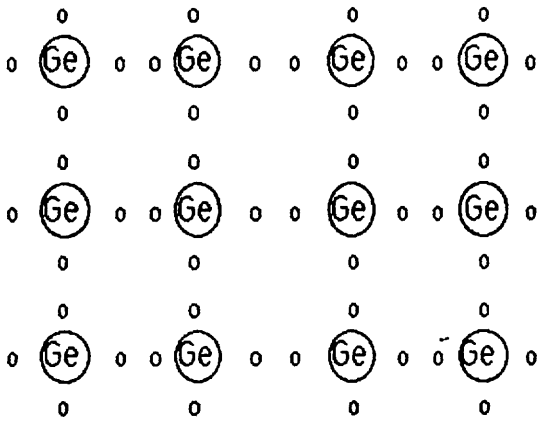
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

del germanio o del silicio.

Estos dos elementos tienen cuatro electrones de valencia, y en su estructura cristalina encajan perfectamente los electrones de un átomo en los huecos de los circundantes. Sin embargo, si se consigue arrancar un electrón de uno de estos átomos, resulta relativamente fácil que un electrón de otro átomo pase a ocupar el hueco que se ha generado, creando a la vez en "su" átomo un nuevo hueco, que provoca idéntico mecanismo de "relleno". Esta facilidad de sustitución se explica porque, si bien se requiere energía para crear un hueco, esta energía se recupera cuando el electrón encaja en el hueco de otro átomo.

De ese modo se explica el desplazamiento electrónico, de átomo en átomo, siempre en el sentido determinado por el campo que origina el movimiento. Este movimiento de los electrones supone un desplazamiento simultáneo de "huecos" en sentido opuesto.

Otra forma de excitar la conductividad eléctrica de un semiconductor consiste en adicionarle una impureza. A esta adición de elementos extraños se la llama dopar, y estos elementos suelen ser arsénico (cinco electrones de valencia) o indio (tres electrones de valencia).

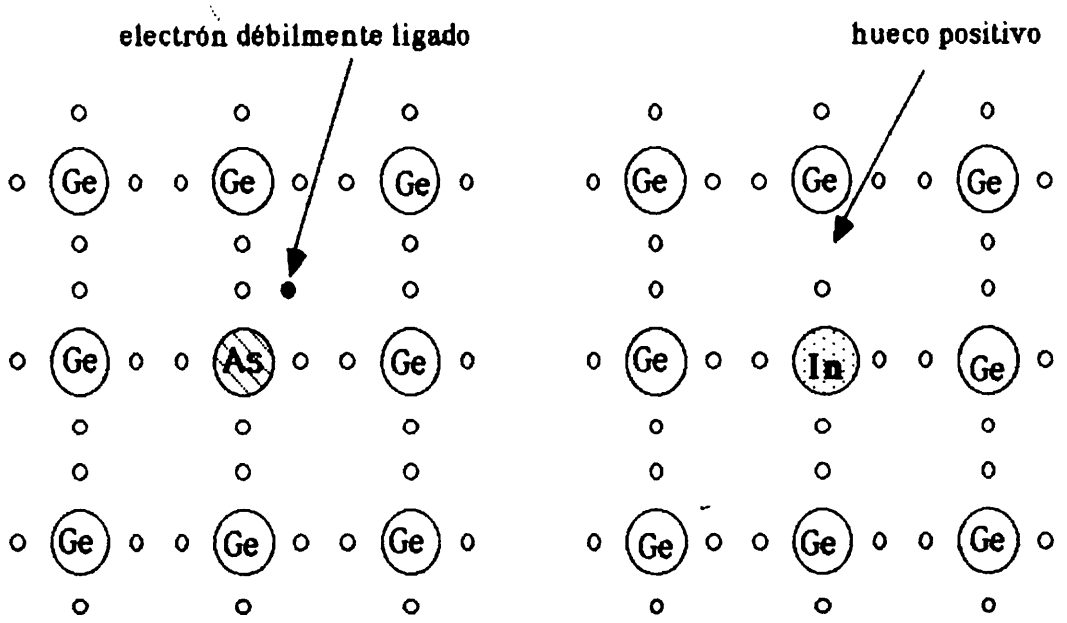


Representación esquemática del acoplamiento de los electrones en un retículo atómico de germanio.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Supongamos, por ejemplo, que una muestra de germanio es impurificada por una pequeña cantidad (del orden de una parte por un millón) de arsénico. Cuatro de los cinco electrones de valencia del arsénico pueden formar enlaces covalentes con los cuatro átomos adyacentes de la red, pero el quinto electrón queda débilmente ligado y, por tanto, con grandes probabilidades de convertirse en un electrón libre o un electrón de conducción. La conductividad del germanio se incrementa notablemente con impurezas de arsénico. Un semiconductor de este tipo, impurificado con un donador de electrones, se dice que es de tipo N porque su conductividad eléctrica se debe a los electrones, cargados negativamente.

El germanio puede también impurificarse con un aceptador de electrones, como el indio, que posee sólo tres electrones en su órbita externa. En este caso sólo tres electrones se comparten con los átomos vecinos y queda un enlace incompleto, quedando un átomo de germanio con un electrón menos (Ge^+), es decir, con un hueco, que tendrá carga positiva. El cristal así impurificado se dice que es de tipo P porque el aceptador de electrones hace que se comporte como portador de cargas positivas.

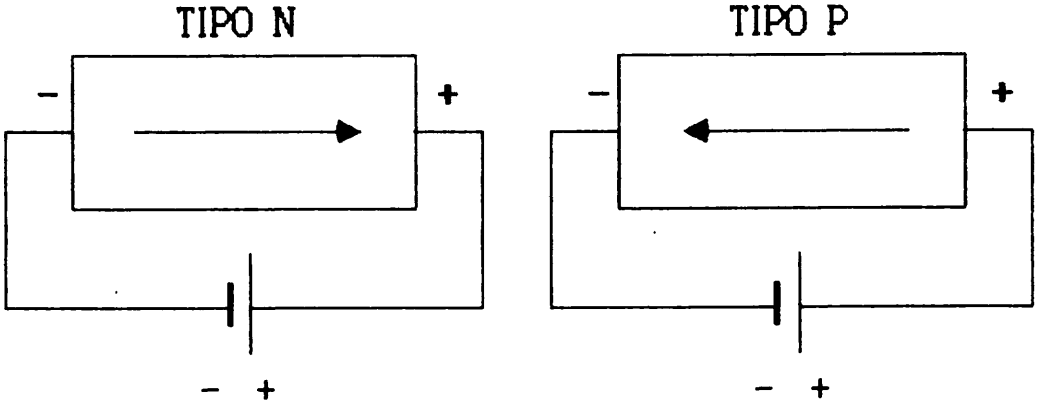


semiconductor de germanio impurificado con As (tipo N)

semiconductor de germanio impurificado con In (tipo P)

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

Si aplicamos una ddp a un cristal de tipo N, los electrones libres se dirigen hacia el polo positivo de la pila, y si la aplicamos a un cristal de tipo P, los huecos se dirigen hacia el polo negativo de la pila.



La flecha indica el electrón libre — La flecha indica el hueco

3.2.-La unión PN

La unión de un semiconductor de tipo P con un semiconductor de tipo N forma un diodo de cristal (unión PN).

Cuando se ponen en contacto los electrones libres del N tienden a difundirse por el semiconductor P, ocupando los huecos que éste tiene disponibles. Esto crea en el semiconductor P una fina capa sobrecargada de electrones (negativa), junto a una fina capa del semiconductor N deficiente en electrones y, por tanto, positiva. Estas dos capas forman una zona que impide la difusión de más cargas de un semiconductor al otro, por lo que recibe el nombre de barrera de potencial. Esta barrera de potencial es superable.

3.3.-La unión PN polarizada

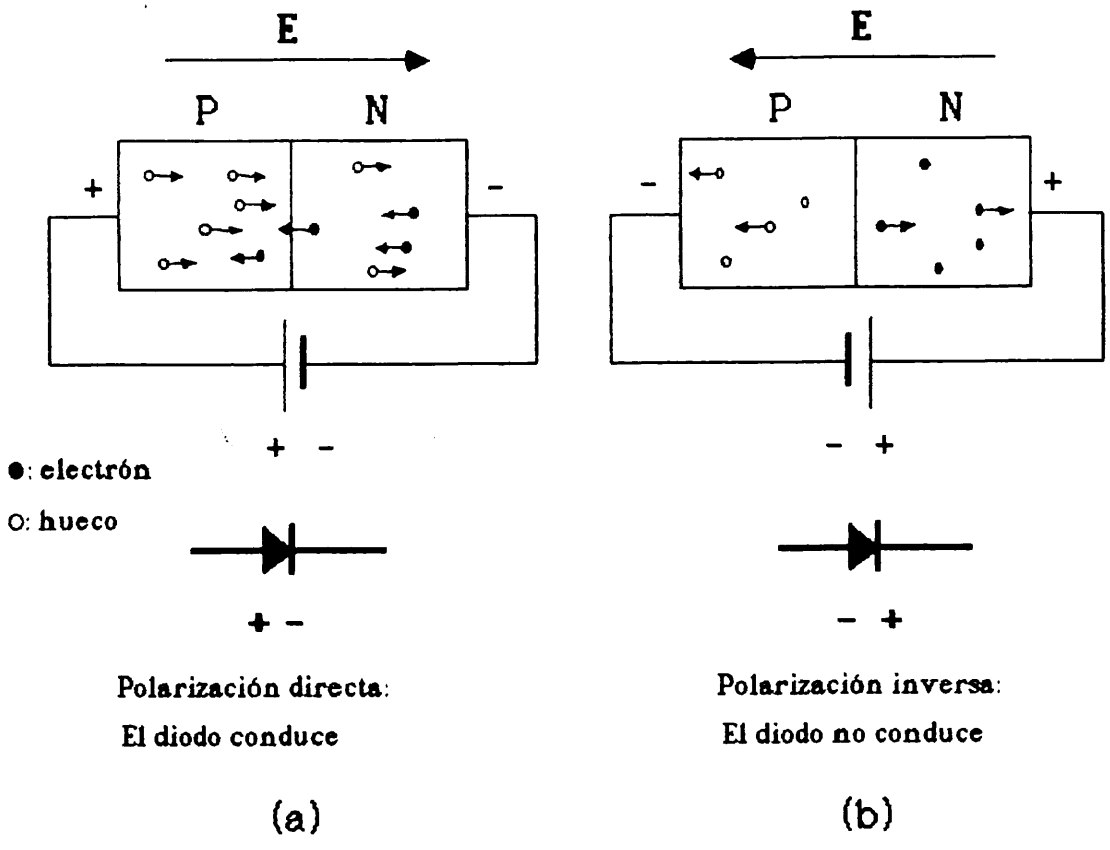
Fijémonos en las figuras siguientes. Al aplicar una d.d.p. entre los extremos del diodo, si la polaridad es la correspondiente a la figura (a), los electrones de la capa N y los huecos de la capa P son impulsados hacia el centro del cristal. La gran cantidad de portadores que se acumula en la zona

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

fronteriza origina un intenso intercambio de electrones y de huecos y, por tanto, circula una corriente intensa (Polarización directa).

En cambio, si la polaridad de la pila se invierte, figura (b), tanto los electrones como los huecos se alejarán de la frontera de separación (llamada capa de bloqueo), dando lugar a la producción de un campo eléctrico dentro del cristal que anulará el campo aplicado y circulará una corriente muy débil (Polarización inversa).

En consecuencia, si se aplica una ddp alterna entre P y N, el sistema sólo dejará pasar corriente en el caso en que la polarización de la corriente sea la de (a) y, por tanto, actuará de rectificador de la corriente alterna.



3.4.-Característica de un diodo

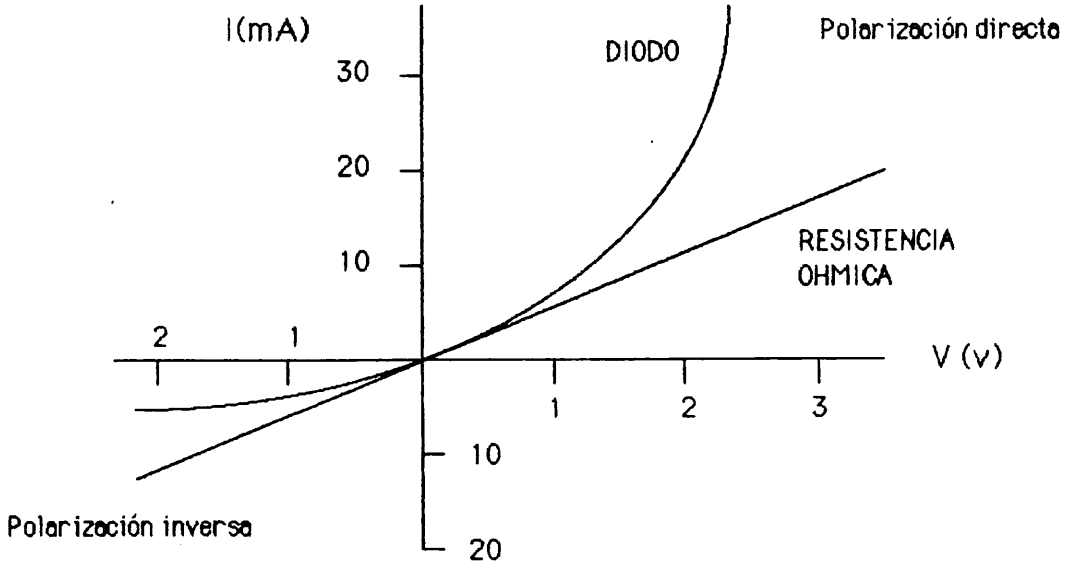
En la figura siguiente se muestra la curva característica de estos diodos con la de una resistencia óhmica para su comparación. En la resistencia se cumple la ley de Ohm, pero en el diodo no. La ecuación que

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

nos da la intensidad de corriente, I, en función del voltaje, V, es

$$I = I_0(e^{eV/kT} - 1)$$

donde I_0 es la intensidad de saturación, T la temperatura, e la carga del electrón y k la constante de Boltzmann.

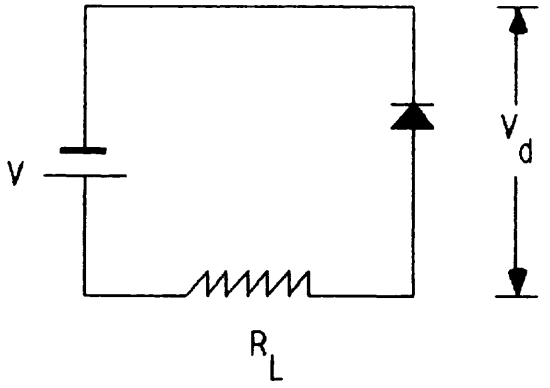


La gráfica de la intensidad en función de la tensión aplicada recibe el nombre de característica dinámica del circuito. La característica estática, que no es sino la curva intensidad-tensión del diodo, y la característica dinámica se diferencian en la caída de tensión en la resistencia de carga. La caída de tensión hace disminuir la tensión entre ánodo y cátodo correspondiente a una tensión de entrada dada.

Si consideramos un circuito equivalente Thevenin como el de la siguiente figura, la intensidad de la corriente que circula por el circuito está determinada por la ecuación de la tensión: $V = IR_L + V_d$, donde V_d es la tensión en el diodo. Despejando la intensidad I,

$$I = \frac{V - V_d}{R_L}$$

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

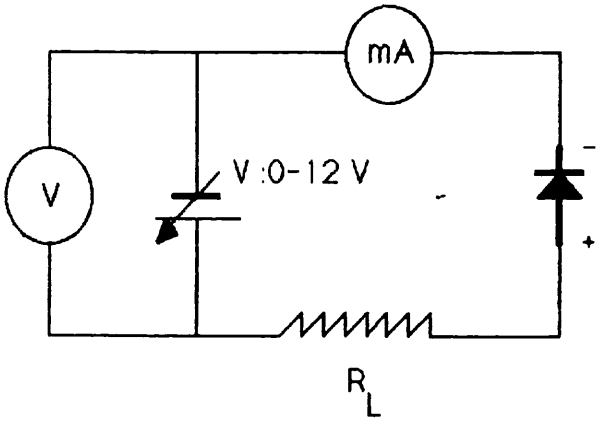


Para encontrar la intensidad hay que resolver el sistema de ecuaciones constituido por esta ecuación y la ecuación característica del diodo (gráfica intensidad-tensión, $I-V_d$). En realidad, la solución se obtiene gráficamente, puesto que la característica intensidad-tensión del diodo se determina de forma experimental. Partiendo de un valor V_1 de la tensión de entrada se representa gráficamente la ecuación anterior junto con la curva característica del diodo. La gráfica de la ecuación anterior es una recta de pendiente $-1/R_L$ que corta a los ejes coordenados en $V=V_1$ y en $I=V/R_L$. La intersección de esta llamada recta de carga con la característica del diodo da la intensidad de la corriente cuando la intensidad aplicada es V_1.

4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

4.1.-Polarización directa

Realizar el siguiente montaje:



A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

El diodo se coloca en serie con la resistencia y en polarización directa con la fuente. Mediante la fuente de alimentación se va variando el voltaje. Colocamos el miliamperímetro en serie y el voltímetro en paralelo en los bornes de salida de la fuente. Con la resistencia de carga de $R_L = 210\ \Omega$.

Se van tomando valores de V y de I (unas diez medidas) y para cada par de valores, V-I, la resistencia del circuito, R, y la del diodo, R_d, se verifica: $R = V/I$; $R_d = R - R_L$. La diferencia de potencial en el diodo, V_d, será I/R_d. Se representa V_d frente a I, con lo que obtendremos la curva característica del diodo para polarización directa (característica estática). Si lo que representamos es V frente a I obtenemos la característica dinámica para una resistencia de carga de 210 Ω.

Dibujar también las rectas de carga para varios voltajes de la fuente y obtener los correspondientes valores de la intensidad (gráficamente).

4.2.-Polarización inversa

Una vez hecho esto, y manteniendo el mismo montaje, excepto tres variantes: se invierte el sentido del diodo, se sustituye el miliamperímetro por un microamperímetro y se pone una resistencia de carga de 3'3 kΩ; se estudia el proceso de polarización inversa construyéndose también la curva característica (estática y dinámica)

5. CUESTIONES

(1) ¿Se verifica la ley de Ohm en el diodo?

(2) Explicar, cualitativamente, como varía la intensidad frente al voltaje, en el caso directo y en el inverso.

(3) Comparar las R_d del caso directo y del inverso, ¿qué aplicaciones se pueden seguir de esta diferencia?

(4) ¿Cómo identificar el ánodo de un diodo no marcado?

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

PRACTICA 12

CARACTERISTICAS DE UN TRANSISTOR DE UNION

1. OBJETIVO

Estudiar experimentalmente un transistor de unión mediante diversos cálculos: ganancia y efecto del voltaje del colector sobre la intensidad del colector.

2. MATERIAL

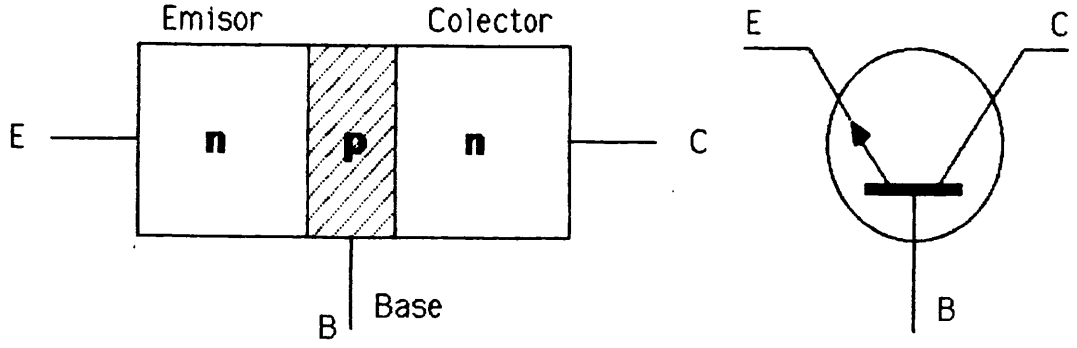
- Transistor pnp
- Dos baterías, B_1 y B_2, de 6 V cada una
- Dos reóstatos, R_1 y R_2, de 1 kΩ para actuar de potenciómetros
- Resistencia de 4'7 kΩ, R_3
- Miliamperímetro de corriente continua, escala 0 - 5 mA
- Microamperímetro de corriente continua, escala 0 - 100 μA
- Voltímetro de corriente continua, escala 0 - 15 V
- Dos interruptores
- Cables conectores
- Panel para conexiones

3. FUNDAMENTO

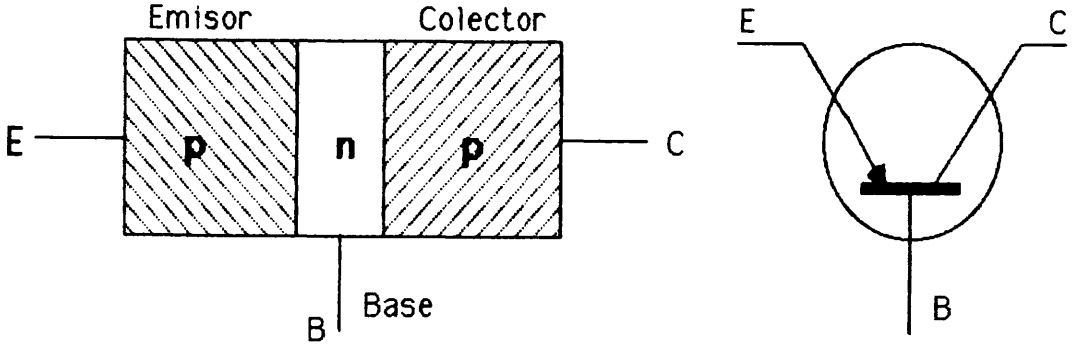
El transistor de unión está formado por la unión de tres elementos semiconductores, en contacto, en el orden npn o pnp. Los elementos de los

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

extremos, llamados emisor, E, y colector, C, están fuertemente "dopados", mientras que la región central llamada base, B, es muy delgada (0'01 mm) y está débilmente "dopada".



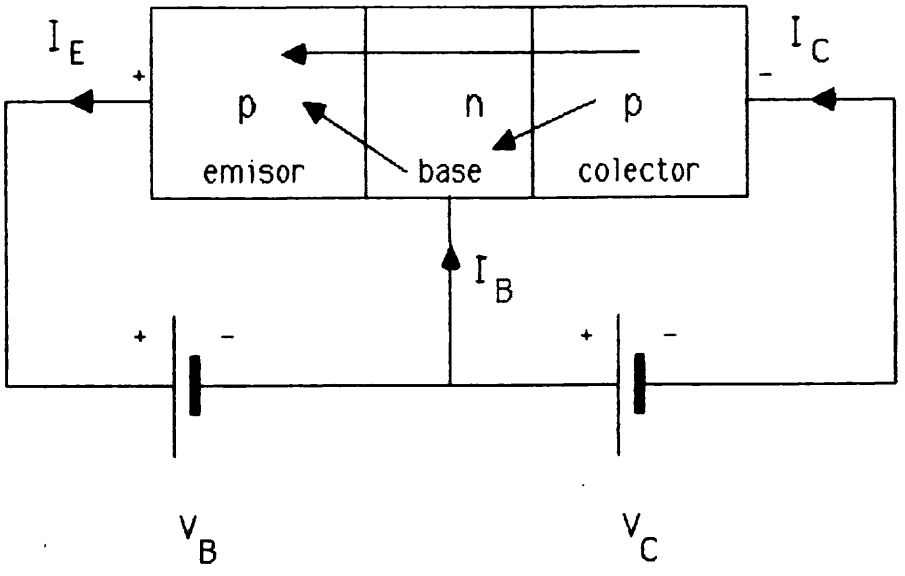
TRANSISTOR npn



TRANSISTOR pnp

El transistor posee dos uniones PN. Un dispositivo frecuente es el siguiente:

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9



La unión emisor-base está polarizada en sentido directo, tensión V_B. La unión colector-base está polarizada en sentido inverso, tensión V_C (transistores con base común).

Por cada 1000 electrones que parten del emisor, 980, por ejemplo, llegan al colector. ¿Cómo entonces se dice que el transistor amplifica la señal de entrada? La respuesta es que la resistencia que los electrones encuentran al ir de la base al colector es varios miles de veces mayor a la que existe entre el emisor y la base. De este modo, la misma corriente (prácticamente) al atravesar una mayor resistencia da lugar a una mayor ganancia de potencial. Un pequeño aumento V_E en el potencial del emisor da lugar a un incremento I_E y, en consecuencia, a un gran aumento I_C en el circuito del colector, lo que equivale a un gran aumento de la tensión V_C. Existe, por tanto, una amplificación de la tensión.

Los pocos electrones que no atraviesan la base pasan al circuito exterior originando la corriente I_B que es mucho menor que I_C o I_E. El factor

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

suele llamarse <u>ganancia en intensidad de base a colector</u>, mientras que

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

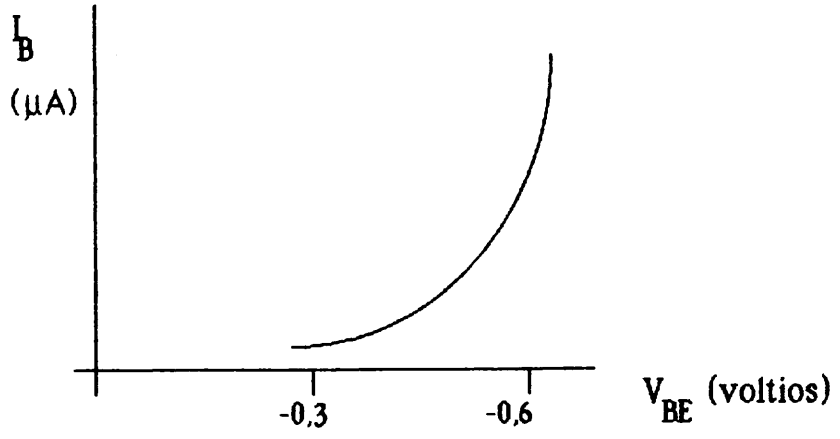
se llama ganancia de corriente emisor-colector (en la práctica vale 0'95-0'96). Teniendo en cuenta que $I_E = I_B + I_C$, resulta:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

entonces:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

Si se representa la intensidad de base I_B frente a V_{BE} se obtiene una gráfica de la forma:

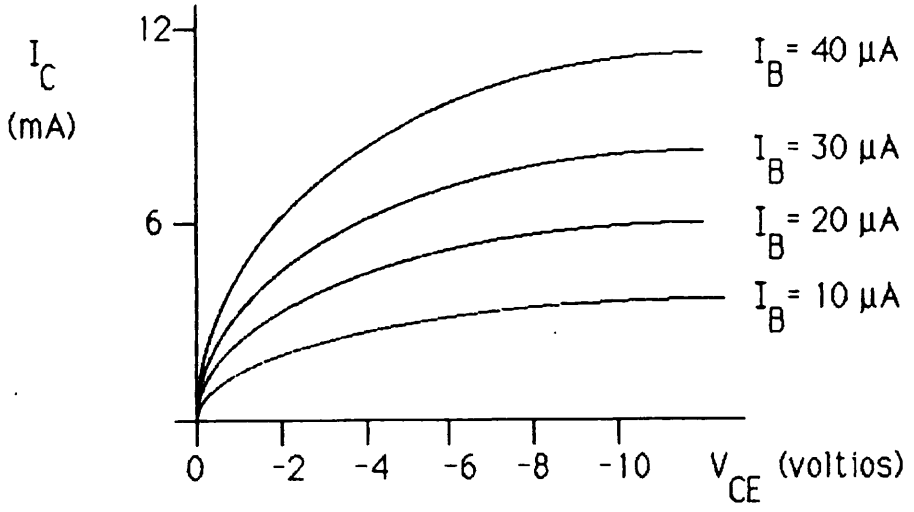


En esta figura, cuando el potencial de la base alcanza un valor negativo próximo a -0'5 V el flujo de corriente crece rápidamente.

Si lo que representamos es I_C frente a V_{CE}, para distintos valores de I_B, obtenemos una serie de curvas que tienen en común que a partir de un cierto valor de V_{CE}, la corriente del colector no depende grandemente de la d.d.p. colector-emisor, sino que viene controlada casi enteramente por la

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

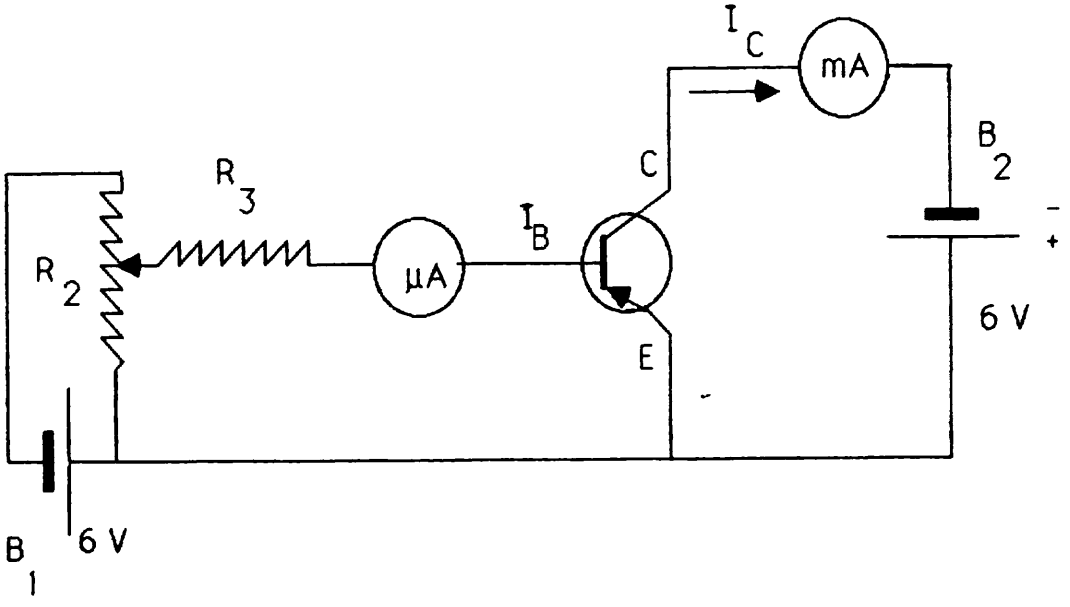
corriente I_B de la base.



4. DESARROLLO DE LA PRACTICA

4.1.-Medida de la ganancia en intensidad de base a colector, β, y la ganancia de corriente emisor-colector, α

Realizamos el siguiente montaje:



Tomamos distintos valores de las intensidades I_B e I_C, construyendo

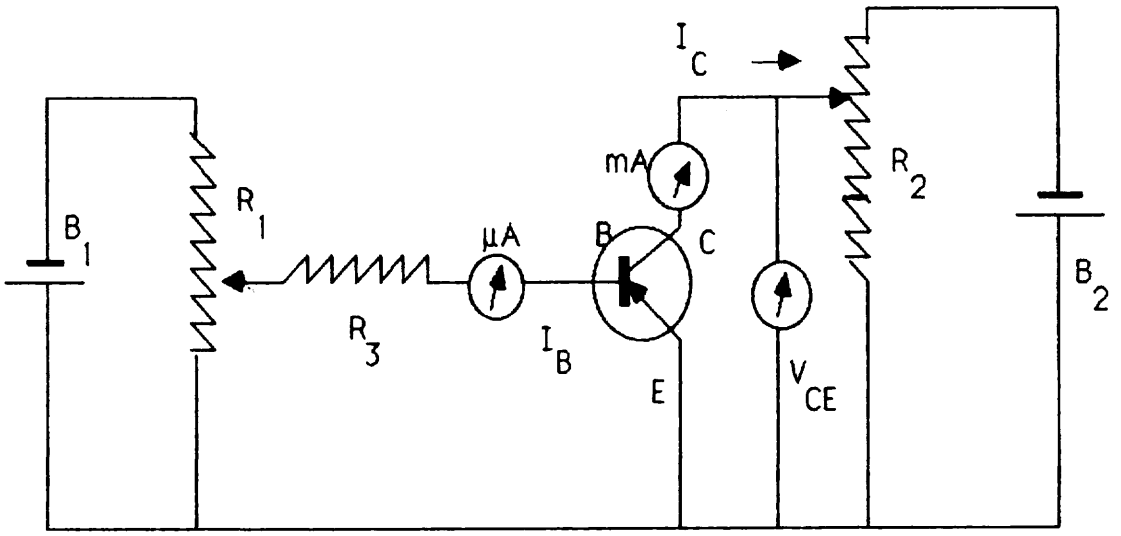
A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

una tabla. Luego, tomamos la diferencia entre pares consecutivos de I_B y de I_C obteniendo, respectivamente, distintos valores ΔI_B, ΔI_C. Calculamos los correspondientes valores de β y luego hallamos la media de estos valores. Una vez conocido β se calcula α mediante la expresión

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

4.2.-Efecto del voltaje del colector sobre la intensidad del colector

Realizamos el siguiente montaje:



Se pone un valor fijo de I_B mediante el potenciómetro R_1, por ejemplo de 10 μA, entonces vamos variando V_{CE} mediante el potenciómetro R_2 y tomamos los correspondientes valores de I_C medidos en el miliamperímetro, se pueden tomar unos diez valores. Variando I_B, por ejemplo tomando 20 μA, 30 μA, etc., volvemos a repetir la misma operación, tomando para cada caso V_{CE} e I_C. Se representan todas estas curvas en una gráfica I_C frente a V_{CE}.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

5. CUESTIONES

(1) ¿Qué ocurre en un transistor cuando efectuamos un pequeño aumento de la corriente de base?

(2) En un circuito con un transistor en el montaje de emisor común, la curva característica muestra que si V_C se incrementa de 2 V a 4 V, la corriente del colector crece en 0'1 mA. ¿Cuánto vale la resistencia de salida del transistor en ese intervalo?

(3) En un transistor pnp las corrientes de base y del colector poseen en dos situaciones distintas los siguientes valores

I_B (μA)	I_C (mA)
30	1'0
60	1'5

Determinar la ganancia en corriente de base a colector y la ganancia de corriente emisor-colector.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512. Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

BIBLIOGRAFIA

- FISICA GENERAL, F. Sears, M. Zemansky. Ed. Aguilar. Madrid, 1979.

- PRACTICAS DE FISICA GENERAL, Carlos Pastor Antón. E.U.I.T.O.P. Universidad Politécnica de Valencia. Ejemplar fotocopiado.

- PRACTICAS DE LABORATORIO DE FISICA GENERAL, M. R. Ortega. Ediciones Marzo 80. Barcelona, 1980.

- PRACTICAS DE FISICA, E. Bonet y otros. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 1987.

- ELEMENTOS DE ELECTRONICA/3, "Tecnología de los semiconductores", F.A. Wilson. Ediciones CEAC. Barcelona, 1982.

- FISICA PRACTICA BASICA, P. Soler, A. Negro. Ed. Alhambra. Madrid, 1973.

- PRACTICAS DE FISICA GENERAL, M. Pujal, D. Giménez, I. Castillejo. E.T.S.I.I. Universidad Politecnica de Barcelona.

A. Beléndez, J. G. Bernabeu, J. Vera, C. Pastor y A. Martín, "Prácticas de Física". Servicio de Publicaciones. SPUPV -88.512.
Universidad Politécnica de Valencia (1988). ISBN: 84-7721-065-9

UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA