

GUÍA DE TRABAJOS PRACTICOS DE FISICA 2º (OPTICA Y ELECTRICIDAD)

(3er curso de Ciencias Químicas)

La presente guía de trabajos prácticos ha sido preparada con el fin de facilitar a los alumnos la realización de sus prácticas de laboratorio; nos hemos extendido considerablemente en la explicación de las mismas porque muchas veces, por las exigencias del tiempo disponible durante el curso, los alumnos tendrán que efectuar una práctica antes de haber estudiado, en clase teórica, el fundamento de la misma.

Los alumnos utilizarán esta guía: a) estudiando la práctica correspondiente antes de acudir al laboratorio; b) siguiendo sus normas e instrucciones durante la ejecución de la misma. Confeccionarán un cuaderno de prácticas que no debe reducirse a una simple copia de las presentes explicaciones y en que anotarán la marcha seguida y los resultados obtenidos así como sus observaciones personales y cuantos datos de interés haya proporcionado la labor experimental. Si bien este cuaderno podrá confeccionarse en casa, los alumnos realizarán en el laboratorio las operaciones numéricas propias de cada práctica o bien trazarán las gráficas que corresponda, para poder someter los resultados a la aprobación del profesor antes de trasladar los a la libreta de prácticas. Los resultados numéricos finales no se expresarán nunca con más cifras que las propias de la precisión alcanzada en cada caso, la cual viene determinada por la de los datos empleados y medidas efectuadas.

TABLA I

Presión de vapor saturante del agua (en tor) a distintas temperaturas. (°C)

	0º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
0º	4,58	4,93	5,29	5,68	6,10	6,54	7,01	7,51	8,05	8,61
10º	9,21	9,84	10,52	11,23	11,99	12,79	13,64	14,53	15,48	16,48
20º	17,54	18,65	19,83	21,07	22,38	23,76	25,22	26,75	28,36	30,05
30º	31,83	33,71	35,67	37,74	39,91	42,19	44,58	47,08	49,71	52,46

TABLA II

Reducción de las lecturas barométricas a 0°C (escala de latón) (correcciones en mmHg; t = temperatura termómetro unido al barómetro).

t	730	740	750	760	770	t	730	740	750	760	770
8º	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	20º	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5
9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	21	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	22	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8
11	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	23	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9
12	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	24	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0
13	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	25	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1
14	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	26	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3
15	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	27	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4
16	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	28	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5
17	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	29	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6
18	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	30	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8
19	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	31	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9
20	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	32	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0

TABLA III

Longitudes de onda en $m\mu$

<u>Sodio</u>	<u>Mercurio</u>	<u>Cesio</u>	<u>Zinc</u>	<u>Litio</u>
497,9ve-az	435,8 az	455,5 az	468,0 az	670,8 r
498,3ve-az	491,6 ve-az	459,3 az	472,2 az	
568,3ve	546,1 ve	584,5 am	481,1 az	
568,8ve	577,0 am	601,1 r	636,2 r	
589,0am	579,1 am	621,3 r		
589,6am				
615,4r				
616,1r				

Colores: vi, violeta; az, azul; ve, verde; am, amarillo; r, rojo,

TABLA IV

Conductibilidad de una disolución normal de CLK a distintas temperaturas

t (°C)	=	0	8	12	16	20	24
σ' (mho/cm)	=	0,065541	0,07954	0,08689	0,09441	0,10207	0,10984

1.- PUNTE DE WHEASTONE DE CLAVIJAS

El esquema del puente de Wheastone es el de la fig. 1. Variando los valores de las resistencias se consigue que, al cerrar el interruptor T_1 y luego el T_2 , el galvanómetro no señale paso de corriente. Se dice, entonces, que el puente está equilibrado. En estas condiciones el potencial en C es el mismo que en D: $V_C = V_D$. La misma intensidad i pasará por R_1 y R_2 y la misma i' por R_3 y R_4 . Por la ley de Ohm:

$$V_A - V_C = R_1 i \quad \text{y como } V_C = V_D \quad \text{queda}$$

$$V_A - V_D = R_3 i' \quad R_1 i = R_3 i'$$

Análogamente:

$$V_C - V_B = R_2 i \quad \text{y siendo } V_C = V_D$$

$$\text{resulta } V_D - V_B = R_4 i' \quad R_2 i = R_4 i' \quad \text{queda}$$

Dividiendo miembro a miembro las dos expresiones finales se obtiene:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Así pues si se conocen tres resistencias se puede determinar la cuarta. Suponiendo que R_1 es la desconocida, resulta:

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} R_3$$

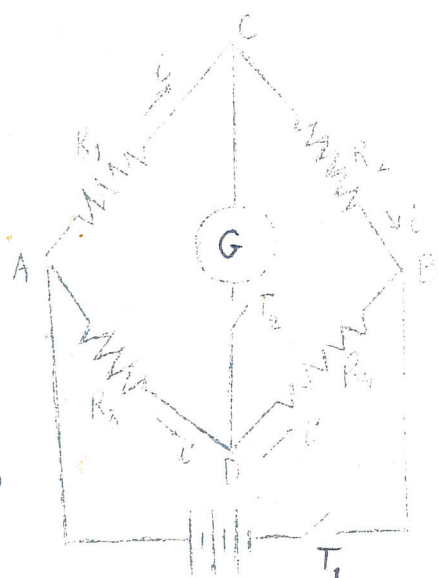


Fig 1

Para lograr la mayor precisión, conviene que las 4 resistencias sean del mismo orden. Generalmente se mantienen dos resistencias fijas (p.e. R_2 y R_4) y se varía solamente la tercera (R_3) hasta equilibrar el puente. Si se toma $R_2 = R_4$ entonces resulta $R_1 = R_3$, de manera

que el valor de la resistencia R_3 que logra el equilibrio nos da directamente el de la resistencia desconocida.

La práctica se realizará con un puente de clavijas (~~fig. 2~~) Téngase en cuenta que en las cajas de resistencias, la resistencia se introduce cuando se quita la correspondiente clavija. Efectuar lo siguiente:

- 1º.- Identificar cada elemento del aparato con el correspondiente del esquema. Reconocer en el aparato los distintos vértices A, B, C y D.
- 2º.- Determinar la resistencia máxima y mínima que se puede medir con el aparato de que se dispone.
- 3º.- Medir las resistencias (a) y (b) que se dan, tomando, si es posible $R_2 = R_4$ del mismo orden de la resistencia a medir.
- 4º.- Con las resistencias (a) y (b) comprobar las leyes del montaje en serie y del montaje en paralelo.
- 5º.- Medir la resistencia (a) cinco veces, para tomar como valor de la misma la media aritmética r_m de los valores hallados

$$r_m = \sum r_i / n$$

Calcular el error probable de este resultado por la fórmula de Bessel:

$$\Delta r = \pm 0,674 \sqrt{\frac{(r_m - r_i)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{en este caso } n=5)$$

El resultado final se expresa así

$$r = r_m \pm \Delta r \text{ ohm.}$$

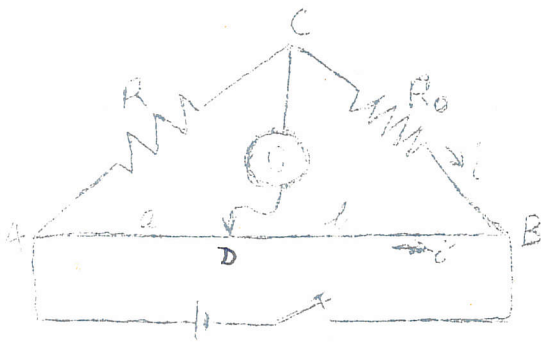
Advertencia:

Cerrar los interruptores sólo los instantes precisos para comprobar si el puente está equilibrado o no. Las clavijas que estén colocadas, deben quedar bien apretadas a fin de eliminar las resistencias de contacto, que falsearían las medidas. Para lograr el equilibrio, manteniendo las R_2 y R_4 fijas, hacer variar la R_3 empezando por los valores elevados hasta alcanzar ordenadamente los más pequeños.

=====

2.- MEDIDA DE UNA RESISTENCIA CON EL PUENTE DE HILO

El esquema es el siguiente:



Sea R_0 una resistencia conocida (resistencia patrón) y R la resistencia a medir. El contacto móvil D, que se puede desplazar a lo largo del hilo AB, determina dos resistencias a y b variables. Desplazando este contacto D se puede conseguir que no pase corriente por el galvanómetro al cerrar los interruptores. Logrado este equilibrio, los puntos C y D tendrán el mismo potencial $V_C = V_D$. No pasando corriente por G, la misma intensidad i pasará por R y R_0 , y la misma i' por a y b. Luego:

$$V_A - V_C = Ri$$

$$Ri = ai'$$

$$V_C - V_B = R_0 i$$

$$R_0 i = bi'$$

$$V_A - V_D = ai'$$

$$V_D - V_B = bi'$$

De donde

$$\frac{R}{R_0} = \frac{a}{b}$$

es decir $R = \frac{a}{b} R_0$

Puesto que la resistencia de un conductor homogéneo y uniforme es proporcional a la longitud, la razón

$\frac{a}{b}$ es igual a $\frac{AD}{DB}$ entre las longitudes respectivas;

por lo tanto: $R = \frac{AD}{DB} R_0$

Se demuestra que la máxima precisión se alcanza cuando el cursor D está, en el equilibrio, hacia la mitad del hilo

$$\left(\frac{AD}{DB}\right) \simeq 1)$$

Por tanto conviene emplear una R_0 cuyo valor sea lo más próximo posible al de la resistencia a medir.

- 1º.- Identificar cada elemento del aparato con el correspondiente del esquema. Reconocer en el aparato los distintos vértices A, B, C y D.
- 2º.- Determinar la resistencia máxima y la mínima que se puede medir con el aparato de que se dispone, teniendo en cuenta los posibles valores de R_0 .
- 3º.- Medir la resistencia (R), tomando una R_0 del mismo orden de la resistencia a medir. Hacer dos determinaciones invirtiendo la posición de R y R_0 a fin de compensar posibles irregularidades del hilo AB. Tomar como resultado final, la media de las dos determinaciones.
- 4º.- Determinar la resistividad de un hilo, recordando que:

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

Medidas R, l y s, se puede calcular el valor de ρ (expresado en $\mu\Omega\text{cm.}$). Al determinar R conviene efectuar también dos medidas permutando las resistencias R y R_0

Advertencias:

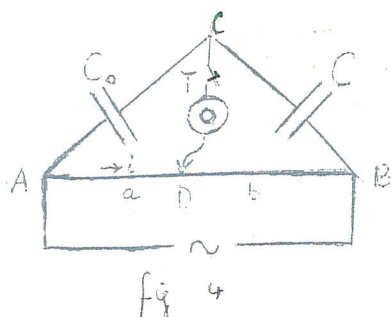
Cerrar los interruptores sólo los instantes precisos para comprobar si el puente está equilibrado o no.

Si existiese alrededor del punto D un intervalo en el que el galvanómetro no se desviase, tomar como posición verdadera de D la intermedia entre dos para las que el galvanómetro experimentase ya pequeñas (pero apreciables) desviaciones simétricas.

=====

3.- MEDIDA DE UNA CAPACIDAD CON EL PUENTE DE SAUTY

El esquema es el siguiente (fig. 4)



C es la capacidad a medir.

C_0 es una capacidad conocida (patrón)

AB es un hilo conductor

En este puente debe utilizarse corriente alterna (o pulsátil) ya que la corriente continua no puede pasar a través de los condensadores. En consecuencia, se substituye el galvanómetro por un teléfono para registrar esta corriente alterna.

Desplazando el contacto móvil D se consigue que, al apretar el interruptor T, no se oiga sonido alguno en el teléfono; se dice entonces que el puente está equilibrado, en cuyo caso los puntos C y D tienen el mismo potencial:

$$V_C = V_D.$$

En el equilibrio, ya que los condensadores C_0 y C están en serie, tendrán la misma carga Q y se podrá escribir:

$$V_A - V_C = \frac{Q}{C_0} \quad V_C - V_B = \frac{Q}{C}$$

Si representamos por i la intensidad que circula por el hilo AB, en el equilibrio, tendremos:

$$V_A - V_D = ai \quad V_D - V_B = bi$$

siendo a y b las resistencias de los segmentos de hilo AD y DB. Siendo $V_C = V_D$ resulta:

$$\frac{Q}{C_0} = ai \quad \frac{Q}{C} = bi$$

y dividiendo miembro a miembro:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{a}{b} \quad \text{ó sea:} \quad C = \frac{a}{b} C_0$$

Como en un hilo homogéneo y uniforme la resistencia es proporcional a la longitud, se tiene $a/b = AD/DB$, y por tanto:

$$C = \frac{AD}{DB} C_0$$

Se demuestra que la máxima precisión se alcanza cuando el equilibrio se logra con el cursor móvil cerca del punto medio del hilo AB ($AD/DB \approx 1$). Así pues conviene emplear un condensador patrón cuya capacidad C_0 sea lo más próxima posible a la del condensador a medir.

Como generador de corriente alterna se emplea un oscilador electrónico cuya salida se conecta a los puntos A y B.

- 1º.- Identificar los distintos elementos del aparato con los del esquema. Reconocer en el aparato la posición de los vértices A, B, C y D.
- 2º.- Determinar las capacidades máxima y mínima que se pueden medir.
- 3º.- Medir la capacidad de los condensadores (1) y (2) efectuando para cada uno de ellos dos determinaciones, invirtiendo la posición de C y C_0 .
- 4º.- Comprobar con estos condensadores las leyes del montaje en serie y en paralelo.

Advertencia:

Si no se logra la extinción de sonido, apreciar la posición para la que éste es mínimo. Por el contrario, si hay todo un intervalo de silencio, apreciar el punto medio del mismo.

=====

4.- MEDIDA DE LA CONDUCTIBILIDAD DE UN ELECTROLITO CON EL PUENTE DE KOHLRAUSCH.

La resistencia de una columna líquida viene dada por $R = \frac{l}{\sigma s}$. La resistividad equivale a la resistencia de una columna en la que $s = 1 \text{ cm}^2$ y $l = 1 \text{ cm}$. La conductibilidad específica es $\sigma = 1/R$.

Para medir σ hay que medir la R . Esto se hace con el puente de Kohlrausch. (Fig. 5)

Sea R_0 una resistencia patrón y R la resistencia de la columna líquida a medir. Cuando el puente está equilibrado se cumple:

$$\frac{R_0}{x} = \frac{R}{L-x} \quad \text{de donde} \quad R = R_0 \frac{L-x}{x}$$

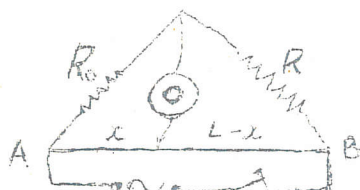


Fig. 5

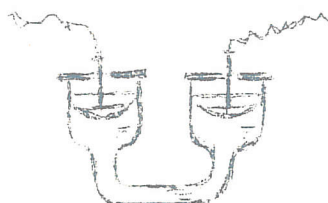


Fig. 6

Si se emplease una batería de tensión continua, tendrían lugar fenómenos de electrolisis que falsearían las medidas; para evitarlos se establece entre los puntos A y B una tensión alterna suministrada por un oscilador electrónico. El galvanómetro se substituye por un teléfono.

La disolución cuya resistencia se tiene que medir, se coloca en un recipiente de esta forma (fig. 6).

La resistencia que se mide es la de la columna líquida situada entre los electrodos de platino M y N.

Según el valor de σ se utilizan vasos de sección mayor o menor.

Una vez determinada la R , si se conoce el valor de s y de l , se calcula por

$$\sigma = \frac{l}{Rs}$$

Ya que resulta muy imprecisa la medida de s y de l , se acude a un método relativo. Con el mismo vaso y la misma posición de los electrodos, se mide la resistencia R' de una disolución de conductibilidad σ' conocida:

$$\sigma' = \frac{l}{R's}$$

Esta expresión nos permite calcular el valor de la relación $K = \frac{l}{s}$, que recibe el nombre de constante de la vasija. Se tiene:

$$K = \sigma' R' \quad \text{Por tanto} \quad \sigma = \frac{K}{R} \quad \text{O bien} \quad \sigma = \sigma' \frac{R'}{R}$$

Como disolución patrón usaremos una disolución normal de CLK cuyas conductibilidades figuran en la tabla IV. Por interpolación gráfica se determina la que corresponde a la temperatura en que se han hecho las medidas.

=====

5.- MEDIDA DE UNA RESISTENCIA CON UN AMPERIMETRO Y UN VOLTIMETRO

VARIACION DE LA RESISTENCIA CON LA INTENSIDAD.

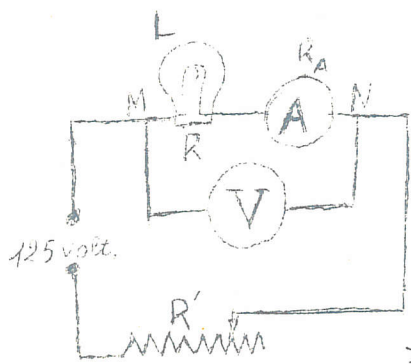
Una resistencia (la de una lámpara por ej.) se puede medir utilizando un amperímetro y un voltímetro y aplicando la ley de Ohm; el esquema es el siguiente (fig. 7).

Sea I el valor de la intensidad medida por el amperímetro A, y V el de la diferencia de potencial entre M y N medida por el voltímetro. Si R y R_A son respectivamente la resistencia de la lámpara y la del amperímetro, la ley de Ohm nos permite escribir:

$$R + R_A = \frac{V}{I}$$

de donde

$$R = \frac{V}{I} - R_A$$



7

La resistencia interna de un amperímetro es siempre pequeña; así pues, en general, tendremos $R \gg R_A$ y se podrá tomar sin error importante:

$$R \approx \frac{V}{I}$$

(Si el punto N estuviese entre el amperímetro y la lámpara, el voltímetro nos mediría rigurosamente la diferencia de potencial V entre los dos extremos de la lámpara, pero, en cambio, la I medida por el amperímetro sería la suma de la que pasa por I y por V ; en aquellos casos en que la resistencia del voltímetro (siempre muy elevada) es mucho mayor que la de la lámpara, la intensidad que pasará por el voltímetro será despreciable frente a la de la lámpara y se podrá tomar también: $R = V/I$).

Por medio del reostato R' se puede modificar la intensidad que pasa por la lámpara, con lo cual variará la temperatura de su filamento y, por tanto, su resistencia.

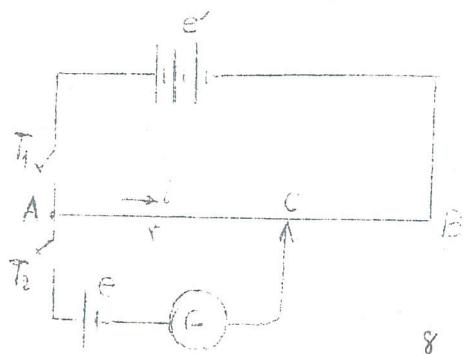
- 1º.- Lámpara de filamento metálico: Cada 10 volts, desde 30 hasta 100, se anotan los valores de V y de I y se calcula el valor de R . Se traza luego, la gráfica que represente la variación de R con I (Eje de abscisas: I ; eje de ordenadas: R).
- 2º.- Idem con una lámpara de filamento de carbón.
- 3º.- Comparar las dos gráficas obtenidas.
- 4º.- Determinar la potencia de dichas lámparas para $V = 100$ volts, teniendo en cuenta la caída de tensión a través del amperímetro.

Advertencias: La resistencia interna del amperímetro es $R_A = 1,2$. Efectuar el montaje, pero no conectar a la red hasta tener la aprobación del profesor. Cuidar de que por reostato R' no pase una intensidad superior a la que prudencialmente puede soportar.

= = = = =

6.- MEDIDA DE UNA F.E.M. POR EL METODO DE OPOSICION

Para medir la f.e.m. de un generador basta medir la diferencia de potencial entre sus bornes cuando está en circuito abierto. Esto se hace con el dispositivo siguiente (fig. 8)



Los dos generadores e y e' están instalados en oposición (es decir, sus polos positivos unidos ambos por el punto A). Si no existiese la f.e.m. e , la diferencia de potencial entre A y C crearía en el circuito inferior una corriente que iría de A a C. Por el contrario, la pila de f.e.m. e tiende a crear una corriente que, a través del galvanómetro, vaya de C a A. Por tanto, variando la posición del cursor C puede lograrse que, al cerrar los interruptores T_1 y T_2 , no pase corriente alguna

por el galvanómetro. En estas condiciones, la pila e está prácticamente en circuito abierto; luego: $e = V_A - V_C$.

Ahora bien, si representamos por i la corriente que la f.e.m. e' crea en el circuito superior y por r la resistencia del hilo entre A y C, tendremos: $V_A - V_C = ri$.

Así pues: $e = ri$

Substituyendo la pila e por otra de f.e.m. e_0 , el equilibrio se logra para otra posición del cursor C, a la que corresponde una r_0 . Se tendrá pues:

$$e_0 = r_0 i$$

Dividiendo miembro a miembro $\frac{e}{e_0} = \frac{r}{r_0}$ de donde $e = \frac{r}{r_0} e_0$

puediendo así determinar la f.e.m. e en función de la e_0 conocida.

En la práctica puede substituirse el hilo AB por dos cajas de resistencias iguales dispuestas del siguiente modo (fig. 9)

(Si el punto N estuviese entre el amperímetro y la lámpara, el voltímetro nos mediría rigurosamente la diferencia de potencial V entre los dos extremos de la lámpara, pero, en cambio, la I medida por el amperímetro sería la suma de la que pasa por L y por V ; en aquellos casos en que la resistencia del voltímetro (siempre muy elevada) es mucho mayor que la de la lámpara, la intensidad que pasará por el voltímetro será despreciable frente a la de la lámpara y se podrá tomar también: $R = V/I$).

Por medio del reostato R' se puede modificar la intensidad que pasa por la lámpara, con lo cual variará la temperatura de su filamento y, por tanto, su resistencia.

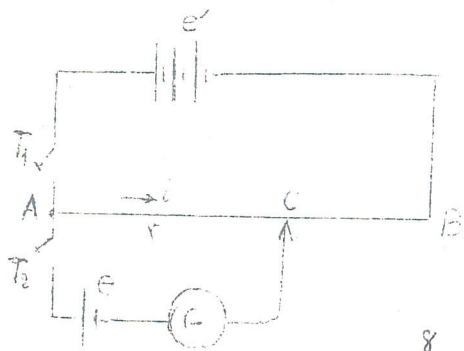
- 1º.- Lámpara de filamento metálico: Cada 10 volts, desde 30 hasta 100, se anotan los valores de V y de I y se calcula el valor de R . Se traza luego, la gráfica que represente la variación de R con I (Eje de abscisas: I ; eje de ordenadas: R).
- 2º.- Idem con una lámpara de filamento de carbón.
- 3º.- Comparar las dos gráficas obtenidas.
- 4º.- Determinar la potencia de dichas lámparas para $V = 100$ volts, teniendo en cuenta la caída de tensión a través del amperímetro.

Advertencias: La resistencia interna del amperímetro es $R_A = 1,2$. Efectuar el montaje, pero no conectar a la red hasta tener la aprobación del profesor. Cuidar de que por reostato R' no pase una intensidad superior a la que prudencialmente puede soportar.

= = = = =

6.- MEDIDA DE UNA F.E.M. POR EL METODO DE OPOSICION

Para medir la f.e.m. de un generador basta medir la diferencia de potencial entre sus bornes cuando está en circuito abierto. Esto se hace con el dispositivo siguiente (fig. 8)



Los dos generadores e y e' están instalados en oposición (es decir, sus polos positivos unidos ambos por el punto A). Si no existiese la f.e.m. e , la diferencia de potencial entre A y C crearía en el circuito inferior una corriente que iría de A a C. Por el contrario, la pila de f.e.m. e tiende a crear una corriente que, a través del galvanómetro, vaya de C a A. Por tanto, variando la posición del cursor C puede lograrse que, al cerrar los interruptores T_1 y T_2 , no pase corriente alguna

por el galvanómetro. En estas condiciones, la pila e está prácticamente en circuito abierto; luego: $e = V_A - V_C$.

Ahora bien, si representamos por i la corriente que la f.e.m. e' crea en el circuito superior y por r la resistencia del hilo entre A y C, tendremos: $V_A - V_C = ri$.

Así pues: $e = ri$

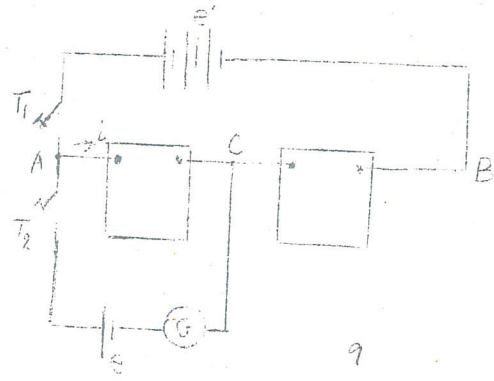
Substituyendo la pila e por otra de f.e.m. e_0 , el equilibrio se logra para otra posición del cursor C, a la que corresponde una r_0 . Se tendrá pues:

$$e_0 = r_0 i$$

Dividiendo miembro a miembro $\frac{e}{e_0} = \frac{r}{r_0}$ de donde $e = \frac{r}{r_0} e_0$

pudiendo así determinar la f.e.m. e en función de la e_0 conocida.

En la práctica puede substituirse el hilo AB por dos cajas de resistencias iguales dispuestas del siguiente modo (fig. 9)



Al principio se quitan todas las clavijas de una caja y se dejan las de la otra; luego se van sacando las de ésta, colocándolas en los orificios correspondientes de la otra hasta alcanzar el equilibrio. Esta operación equivale a desplazar el cursor C a lo largo del hilo, manteniendo siempre constante la resistencia total entre A y B, y con ella el valor de i .

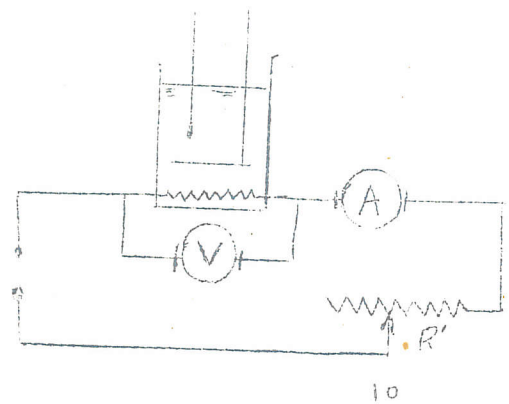
Como pila patrón, de f.e.m. e_0 , se emplea una pila Weston, cuya f.e.m. vale $e_0 = 1,0183$ volts (a 20° C)

Los interruptores T_1 y T_2 deben estar cerrados únicamente el tiempo necesario para comprobar si se ha logrado el equilibrio. Debe cerrarse primero el T_1 y luego el T_2 ; si se hace al revés, el galvanómetro experimenta siempre una sacudida, aún en el equilibrio.

Al trabajar con lascas de resistencias, procurar que las clavijas estén siempre bien apretadas.

No es preciso conocer el valor de e' . Basta que sea constante y que sea superior a e y a e_0 , para poder alcanzar el equilibrio.

7.- RENDIMIENTO DE UN CAZO ELECTRICO



Sea V la tensión medida por el voltímetro en los extremos de la resistencia del cazo, en I la intensidad medida por el amperímetro.

El calor que se habrá desarrollado en esta resistencia durante un tiempo t valdrá:

$$Q = 0,24.V.I.t \text{ calorías}$$

Por otra parte: la masa m de agua contenida en el cazo habrá experimentado un aumento de temperatura θ durante este tiempo; por tanto, habrá absorbido una cantidad de calor Q' dada por:

$$Q' = m.c. \theta \text{ calorías}$$

siendo c el calor específico (Para el agua podemos tomar $c=1$). El valor de m tiene que expresarse en gramos.

En general $Q' < Q$, ya que una parte del calor producido en el cazo no se aprovecha para calentar el agua, pues se emplea para calentar el mismo cazo, perdiéndose también una parte por radiación y aún por la misma vaporización del agua.

El rendimiento del cazo viene dado por:

$$R = \frac{Q'}{Q}$$

que se acostumbra a expresar en tanto por ciento.

Se llena el cazo con 400 gramos de agua, que se calienta hasta unos 70° C , midiendo el tiempo total transcurrido desde que se establece la corriente hasta que se alcanza la temperatura final. Hay que anotar la temperatura inicial.

El reostato R' sirve para mantener constantes las indicaciones de los aparatos de medida, eliminando así las fluctuaciones de la red. Trabajar con $V = 90$ volts.

Conviene agitar continuamente a fin de que la temperatura sea uniforme en toda la masa de agua.

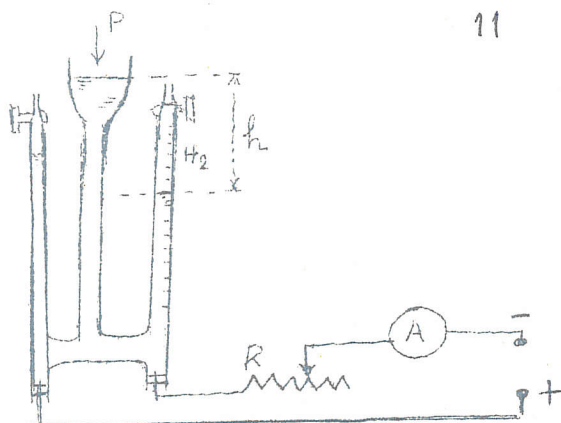
Al mismo tiempo se puede trazar la curva de calentamiento: se lee cada dos minutos la temperatura y luego se traza una gráfica

llevando al eje de abscisas los valores del tiempo t y al de ordenadas los de temperatura θ

Advertencia: No conectar a la red hasta obtener la aprobación del profesor.

=====

8.- COMPROBACION DE UN AMPERIMETRO POR MEDIO DEL VOLTAMETRO DE GAS



11

El amperímetro A a comprobar se instala según el esquema siguiente (fig. 11).

El voltámetro contiene agua destilada, acidulada con SO_4H_2 . El reostato R sirve para fijar la lectura del amperímetro en un valor determinado. Al circular la corriente i , en el polo negativo del voltámetro se desprende H_2 que se recoge en el tubo graduado, totalmente lleno de agua acidulada en el instante inicial.

Según las leyes de la electrolisis, un faraday (96.500 coulomb) deposita o libera un equivalente gramo de cualquier sustancia. Por tanto, un mol de hidrógeno vendrá liberado por 2×96.500 coulomb. Por otra parte, un mol de H_2 , en las condiciones normales de presión y temperatura, ocupa 22.400 cm^3 ; en consecuencia, si en el voltámetro se ha recogido un volumen de H_2 , que en condiciones normales vale V_0 , la carga que habrá pasado por él se podrá calcular por:

$$\frac{22.400}{2 \times 96.500} = \frac{V_0}{Q}$$

$$Q = \frac{965}{112} V_0 \quad (1)$$

y dividiendo esta Q por el tiempo τ que ha estado circulando, tendremos la intensidad i :

$$i = \frac{Q}{\tau} \quad (2)$$

Comparando este valor con el i' que señalaba el amperímetro A, se tendrá el error de éste: $\Delta i = i' - i$

El volumen directamente leído, V, debe reducirse a las condiciones normales:

Llamando P a la presión atmosférica, tendremos:

$$P + \frac{h \cdot d}{13,6} = p + T$$

siendo p la presión del H_2 dentro del tubo, T la tensión del vapor de agua saturante dentro del mismo (a la temperatura t en que se hace la determinación), h el desnivel de la columna líquida y d la densidad del agua acidulada. (La h debe medirse en mm. y luego se divide por 13,6 para reducirla a mm de Hg, en los que están medidas P y T).

Por tanto:

$$p = P - T + \frac{h \cdot d}{13,6} \quad (3)$$

Conocido el valor de p, se calcula el volumen V_0 en condiciones normales por

$$pV = p_0 V_0 (1 + \alpha t) \quad (4)$$

en donde p y V son los valores determinados, $p_0 = 760$ mm. de Hg,

$$\alpha = \frac{1}{273} = 0,003665 \text{ y } t \text{ la temperatura ambiente.}$$

El agua acidulada que se utiliza en esta práctica tiene una densidad $d = 1,14$. No olvidar de anotar el tiempo τ durante el que que está circulando la corriente. Recoger por lo menos 10 cm^3 de hidrógeno.

En resumen: hay que utilizar, primero, las fórmulas (3) y (4), y luego las (1) y (2).

Trabajar con $i' = 0,4 \text{ amp.}$

=====

9.- ESTUDIO DEL GALVANOMETRO DE CUADRO MOVIL. MEDIDA DE CAPACIDADES.

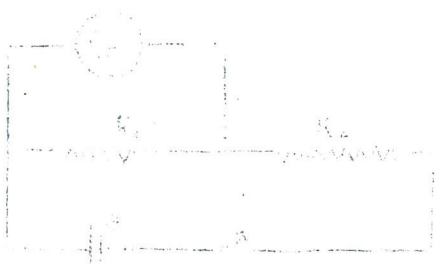


El galvanómetro utilizado en la presente práctica es del tipo de cuadro móvil (fig. 12). Está constituido por un "cuadro" C formado por varias espiras, suspendido en el entrehierro de un imán por un hilo de torsión H; en su posición de equilibrio, cuando no pasa corriente por las espiras, el cuadro se coloca paralelo al campo magnético del imán. Al hacer pasar una corriente por el cuadro, éste tiende a colocarse normal a las líneas de fuerza, buscando la posición de flujo máximo. Al girar el cuadro nace inmediatamente un par de torsión en el hilo, que se opone a dicho giro y que va aumentando hasta equilibrar el par electromagnético que actúa sobre el cuadro. Una vez logrado este equilibrio, el cuadro habrá girado, desde la posición de equili-

brio inicial, cierto ángulo α que, según se demuestra, es proporcional a la intensidad I que circula por las espiras

$$\alpha = k I$$

Esta constante k es la llamada constante ordinaria del galvanómetro; su inversa nos da la sensibilidad del mismo. Conocido su valor, podremos utilizar el galvanómetro para medir las intensidades I , por medida del ángulo α correspondiente. (Para medir el ángulo α se utiliza el método óptico: un rayo luminoso incide sobre un espejito E solidario del hilo de suspensión y luego es recogido sobre una escala graduada; los desplazamientos de la señal luminosa en esta escala nos darán los valores del ángulo girado por el espejo).



1º.- Determinación de k : Usaremos el esquema adjunto (fig. 13). Puesto que el galvanómetro es muy sensible, la diferencia de potencial entre los bornes del generador no se puede aplicar directamente a G ; aplicamos sólo a éste la parte que corresponde a la resistencia R_1 . Representando por R_g la resistencia interna del galvanómetro, se demuestra fácilmente que la intensidad que pasa por éste viene dada por:

Se va variando la R_1 , dejando todo lo demás fijo, y se van anotando las desviaciones α ; la fórmula (1) nos da las intensidades correspondientes a cada valor de R_1 . Los valores de α y de I así hallados nos permiten determinar k y trazar la gráfica (α, I) , que debe salir una línea recta. Para cada par de valores (α, I) se halla el correspondiente de k y luego se obtiene el valor medio).

$$I = \frac{e R_1}{R_2(R_1 + R_g) + R_1 R_g} \quad (1)$$

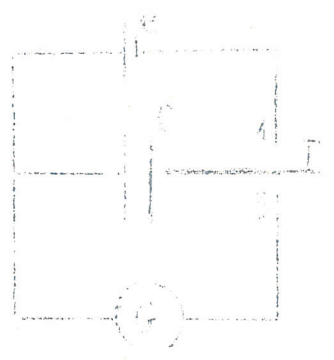
En nuestro caso se tiene: $e = 1,5 \text{ volt}$; $R_2 = 300 \text{ K}$; $R_g = 200 \text{ } \Omega$ y la R_1 se hace variar a partir de $50 \text{ } \Omega$.

2º.- Se demuestra, por otra parte, que al hacer pasar una corriente de muy corta duración por el galvanómetro, la desviación máxima que éste alcanza es proporcional a la carga eléctrica total que

ha circulado por él; un galvanómetro así empleado es un galvanómetro balístico:

$$\alpha = k'Q$$

Para determinar el valor de k' (constante balística) se puede usar el esquema siguiente (fig. 14)



El interruptor T tiene tres posiciones. En la 1 se carga el condensador C por medio de la pila e. En la 2 el condensador queda libre, y seguidamente en la 3 se descarga el condensador a través del galvanómetro. (Si es preciso, puede ponerse un shunt s para limitar la desviación del galvanómetro). Al situar el interruptor en la posición 3, se lee la máxima desviación α que se alcanza; la carga Q que ha circulado es

$$Q = C.e \text{ por lo que } \alpha = k'Ce$$

14 de donde $k' = \frac{\alpha}{C e}$

(Repetir dos o tres veces esta determinación y obtener el valor medio de k').

Valores empleados: $C = \mu F$ $e = 1,0183 \text{ volt (pila Weston)}$

3º.- Aplicación del galvanómetro balístico a la determinación de capacidades:

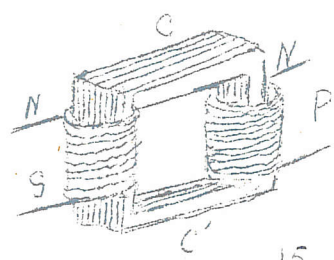
En el esquema anterior, primero se coloca en C un condensador de capacidad conocida C_1 ; con él la máxima desviación observada en α_1 . Luego se substituye por el de capacidad desconocida C_2 , que da en las mismas condiciones una desviación α_2 . Se tiene:

$$\alpha_1 = k' C_1 e \qquad \alpha_2 = k' C_2 e$$

Dividiendo miembro a miembro $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{C_1}{C_2}$ ó sea $C_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} C_1$

que nos permite calcular el valor de C_2 . En nuestro caso $C_1 = \mu F$. Efectuar varias veces la medida de C_2 y sacar el valor medio.
=====

10.- ESTUDIO DE UN TRANSFORMADOR.



Un transformador está formado por un núcleo cerrado, de hierro, (fig. 15) sobre el cual se han bobinado dos arrollamientos P y S. Si una corriente alterna circula por P se crea un flujo magnético variable en el circuito magnético y por lo tanto aparecerá una f.e.m. inducida en el arrollamiento S.

El arrollamiento P al que se aplica una tensión alterna, se llama primario, y el S en el que nace una f.e.m. por inducción, se llama secundario.

Sea V_1 la diferencia de potencial aplicada a los bornes del primario y V_2 la que aparece en los del secundario; se demuestra que estas dos tensiones están relacionadas por:

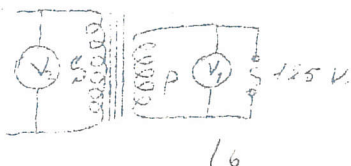
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

en donde n_1 y n_2 son los números de espiras del primario y del secundario respectivamente. Al cociente n_1/n_2 se le da el nombre de relación de transformación. Esta relación puede ser mayor o menor que 1; en el primer caso $V_1 > V_2$ y en el segundo $V_1 < V_2$ (transformadores reductor y elevador respectivamente).

Si cerramos el circuito del secundario (por medio de una resistencia por ejemplo), circulará por él una corriente de intensidad I_2 . Representaremos por I_1 la corriente del primario. Se demuestra también que cuando el transformador funciona a plena carga, estas dos intensidades están relacionadas por:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

que es la inversa de la relación de transformación.



Práctica.— 1º.— Hallar la relación de transformación. Fig. 16.

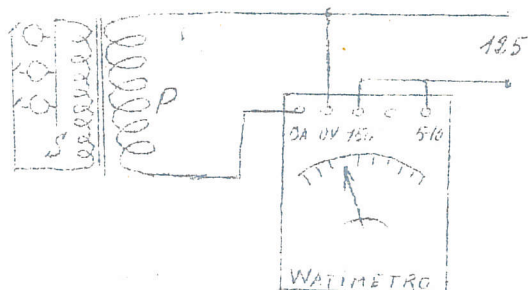
Se montan sendos voltímetros en el primario y en el secundario. Se conecta el primario a la red alterna de 125 volt. El cociente de las dos lecturas nos da la relación de transformación:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

2º.— Variación de la intensidad del primario en función de la del secundario (fig. 17).

La resistencia R está constituida por lámparas. Se van encendiendo lámparas y se anotan los valores de I_1 y de I_2 , con los que se traza el correspondiente gráfico. Hallar el valor del cociente I_1/I_2 al principio y al final.

3º.— Variación de V_2 en función de V_1 (fig. 18)



Instalar el reostato en el primario. Al hacer variar R , anotar los valores de V_1 y de V_2 . Trazar la gráfica. Comprobar para los valores extremos la relación de transformación.

4º.— Medir la potencia consumida por el transformador.

Para ello se instala en el primario un vatímetro. Este es un aparato que, en realidad, tiene incorporados un amperímetro y un voltímetro, por lo que mide el producto $V \cdot I$, es decir la potencia. Instalarlo según indica el esquema (distinguir entre el circuito de intensidad y el de tensión, es decir la parte que corresponde al amperímetro y la que corresponde al voltímetro).

La resistencia R en el secundario está constituida por el sistema de lámparas.

a) Medir la potencia consumida por el primario cuando todas las lámparas del secundario están apagadas.

b) Id. cuando todas están encendidas.

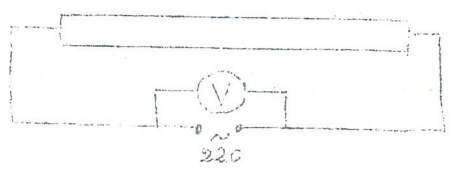
Nótese que cuando el secundario está en circuito abierto (lámparas apagadas) el transformador apenas consume energía.

=====

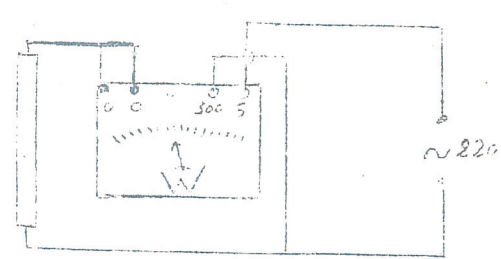
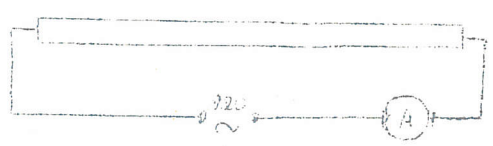
11.— DETERMINACION Y CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN TUBO FLUORESCENTE.

La potencia de un tubo fluorescente viene dada por
 $W = VI \cos \varphi$

1º.— Medir V e I con el voltímetro y el amperímetro respectivamente:



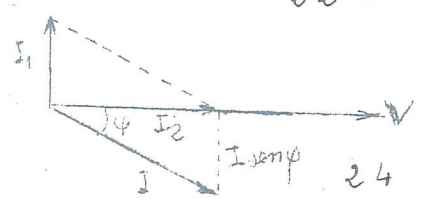
20



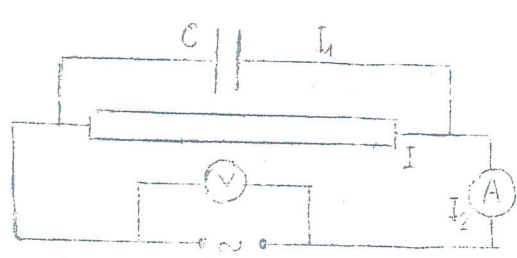
21



22



24



23

2º.- Medir W con el vatímetro

3º.- Determinar el valor de $\cos \psi = W/VI$. Trazar aproximadamente el diagrama vectorial teniendo en cuenta que la impedancia del tubo es inductiva: Fig 22

4º.- Calcular la capacidad de un condensador C en paralelo con el tubo para que se cumpla la condición de resonancia. Cuando ésta se cumple la representación vectorial es (fig. 24)

Para que la I_2 esté en fase con V (resonancia), la intensidad I_1 a través del condensador debe valer $I_1 = I \sin \psi$. Por otra parte $I_1 = VC\omega$; luego: $I \sin \psi = VC\omega$. De donde se calcula C.

5º.- Instalar en paralelo un condensador de capacidad lo más próxima posible a la calculada. La potencia total consumida W no ha variado pues el condensador no consume. Medir con el amperímetro la nueva intensidad I_2 . Observar que es menor que la I de antes y calcular el nuevo factor de potencia. Si resulta mayor que 0,9 ya se puede considerar aceptable. (Si el condensador instalado tuviese exactamente la capacidad calculada se obtendría un factor de potencia exactamente igual a la unidad).

6º.- Comprobar que añadiendo otro condensador (de 2 µF) en paralelo, con lo cual la capacidad total se hace mucho mayor que la calculada, la intensidad aumenta nuevamente. En este caso el factor de potencia ha vuelto a disminuir y el conjunto se comporta como una impedancia capacitiva. La

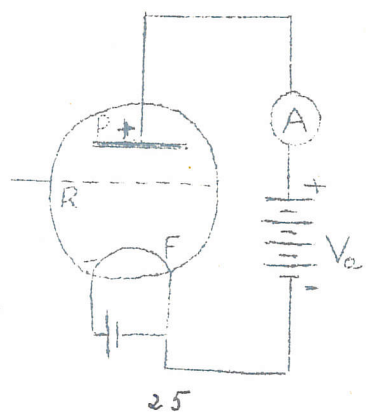
intensidad total es, pues, mínima cuando hay resonancia y entonces el factor de potencia vale la unidad.

=====

12.- CARACTERISTICAS Y COEFICIENTE DE UN TRIODO

Un triodo (fig. 25) está constituido por: una placa P, una rejilla R y un filamento F, colocados en el interior de un recinto en el que se ha practicado el vacío más elevado posible. Haciendo pasar una corriente eléctrica por el filamento éste se pone incandescente y emite electrones (emisión termoiónica). Si damos a la placa P una tensión positiva V_a con respecto al filamento F, los electrones emitidos serán atraídos por la placa, originándose así la corriente I_a por el circuito de placa (corriente anódica), que podemos medir con el miliamperímetro A.

Al aumentar V_a aumenta, en general, I_a pues los electrones son atraídos más fuertemente hacia la placa P y son más los que consiguen llegar a ella. (La principal dificultad que encuentra un electrón para llegar a P es la repulsión que sobre él actúa procedente de todos los demás anteriormente emitidos y situados entre F y P (carga de espacio), en virtud de la cual se ve rechazado hacia el filamento F del que ha sido emitido. Al aumentar V_a contrarrestamos más eficazmente la influencia de esta carga de espacio y son más los electrones que consiguen llegar a P).



Hasta ahora no hemos empleado la rejilla R, por lo que la válvula actuaba en realidad como un diodo. Si damos a esta rejilla una tensión V_r positiva con respecto a filamento, ayudaremos con ello a los electrones emitidos por F a vencer la repulsión de la carga de espacio y, en consecuencia, aumentará la I_a (La rejilla está formada por hilo delgado, por lo que son pocos los electrones captados por ella y sustraídos así a la corriente anódica I_a). Inversamente: si empleamos una V_r negativa disminuirá la corriente I_a .

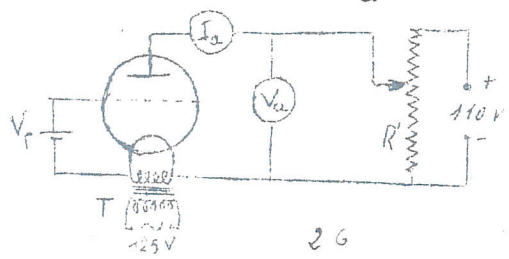
La intensidad I_a es, pues, función de las dos variables V_a y V_r (además de la temperatura del filamento). Según esto se definen los siguientes coeficientes para representar el comportamiento del triodo:

Resistencia interna: $R = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} \quad V_r = \text{Cte}$

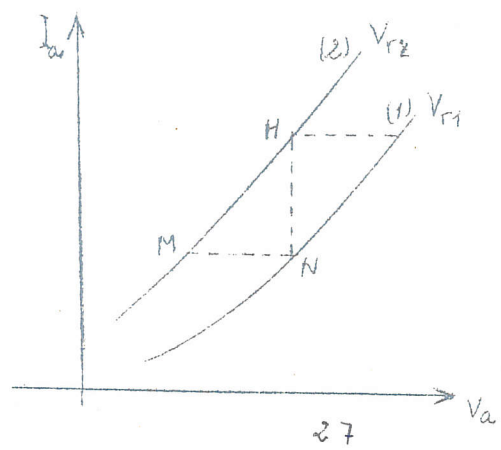
Conductancia mutua $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_r} \quad V_a = \text{Cte}$

Factor de amplificación: $K = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_r}$ en donde ΔV_a y ΔV_r

son aumentos tales de V_a y V_r que cada uno produce por sí sólo el mismo aumento de I_a .



Para determinar el valor de estos coeficientes se trazan las curvas características, empleando el esquema adjunto (fig. 26). R' es un potenciómetro con el que podemos variar el valor de la tensión V_a aplicada al triodo. El filamento F se alimenta con el pequeño transformador T que da la tensión apropiada (2 volt) al conectarlo a la red alterna de 125 volt.



En primer lugar se fija el potencial de rejilla V_{r1} , y se hace variar el V_a anotando los valores correspondientes de V_a y I_a , con los que se traza la curva (1) (fig. 27).

Luego se da la rejilla otro potencial V_{r2} y se repite el mismo proceso obteniéndose la curva (2). Y así sucesivamente.

Todas las curvas obtenidas tienen una parte recta sensiblemente paralela. Una vez trazadas, los coeficientes se determinan gráficamente del siguiente modo:

$$R = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} \quad V_r = \text{Cte} = \frac{MN}{HN} \text{ ohms (la } I_a \text{ en amp. y } V_a \text{ en volt)}$$

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_r} \quad V_a = \text{Cte} = \frac{HN}{V_{r2} - V_{r1}} \text{ mhos (ó mA/volt; ésta es una unidad diferente del mho).}$$

$$K = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_r} = \frac{MN}{V_{r2} - V_{r1}}$$

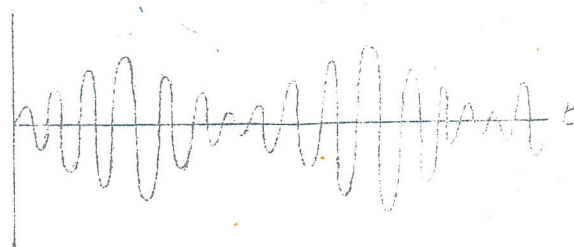
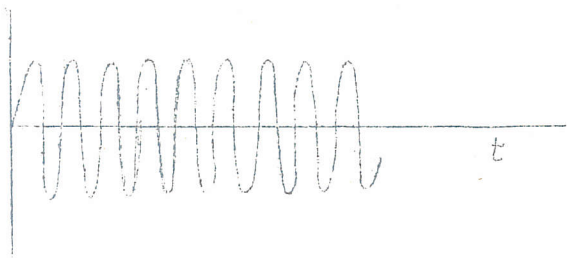
Trazar cuatro curvas para $V_{r1} = -1,5$ volt, $V_{r2} = 0$ volt, $V_{r3} = 1,5$ volt y $V_{r4} = 4,5$ volt. Estas tensiones se dan a la rejilla por medio de las correspondientes pilas. Hacer variar V_a desde 0 hasta 110 volt, de 10 en 10 volt.

Comprobar que los valores hallados satisfacen a la relación $K = RS$ (relación de Barkhausen).

13.- CIRCUITO RADIORRECEPTOR CON DIODO DE GERMANIO.

Las emisoras radioelectricas transmiten una onda electromagnética de frecuencia elevada, (fig. 28) llamada onda portadora. El valor de esta frecuencia caracteriza a la emisora.

Esta onda está modulada por la información o señal audible (música, palabra, etc.) de baja frecuencia que se desea transmitir. Se entiende por modulación a la modificación de alguna característica (generalmente la amplitud) de la onda portadora, de acuerdo con la información a transmitir. La modulación en amplitud consiste, pues, en la variación de la amplitud de la onda portadora a lo largo de la misma, según la señal recogida por el micrófono (fig. 29).

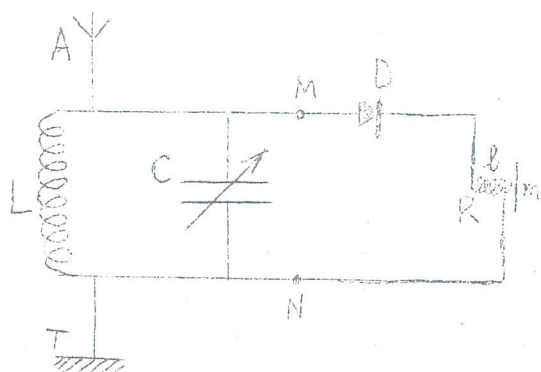


Para hacer audible una radioemisión es necesario seleccionar la emisora elegida (sintonización) y extraer de la onda portadora modulada la información que la modula (detección o demodulación).

Un diodo de germanio o de silicio es un dipolo semiconductor constituido por un cristal de germanio (o de silicio) sobre el que se apoya una punta metálica (fig. 30); tiene la propiedad de ofrecer distinta conductibilidad a los electrones según el sentido en que lo atraviesan. Esta propiedad unidireccional de los diodos puede aprovecharse para detectar.



La presente práctica consiste en montar un circuito radio-receptor según el esquema siguiente (fig. 31):



Las ondas captadas por la antena A originan en ésta corrientes eléctricas que son alternas y de frecuencia igual a la de la onda portadora. Estas corrientes para pasar a tierra T pueden hacerlo a través del circuito resonante constituido por la autoinducción L y la capacidad C. Variando la capacidad C pueden lograrse que la frecuencia propia de este circuito (dada por la fórmula de Thomson

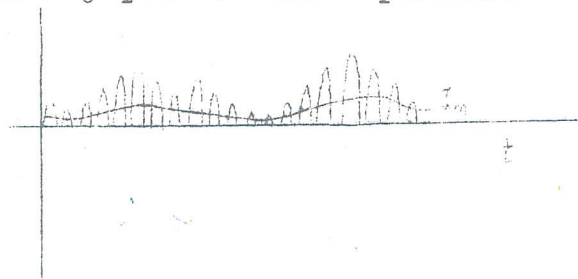
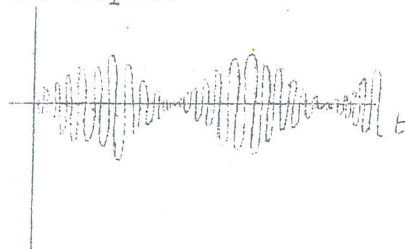
$$T = 2\pi \sqrt{LC} \quad \text{ó sea} \quad V = \frac{1}{2\pi} 1/\sqrt{LC}$$

coincida con la de las corrientes inducidas en la antena, es decir con la de la onda portadora. Cuando esto sucede, el circuito LC ofrece una impedancia (resistencia) prácticamente infinita al paso de tales corrientes, las cuales seguirán el camino MDRN para pasar a T, a pesar de ofrecer este camino una impedancia (resistencia) también bastante elevada. Naturalmente esto se cumple para la onda portadora de cierta emisora mientras que para las otras emisoras, que emiten con frecuencias distintas, las corrientes inducidas en la antena no tienen la misma frecuencia que el circuito LC (no están en resonancia con él) y atraviesan sin dificultad este circuito para pasar a T, en vez de hacerlo por MDRN que les ofrece ahora una impedancia mayor que el circuito LC.

En resumen, fijado el valor de condensador variable C, por la parte MDRN sólo pasan las corrientes inducidas originadas por las ondas de cierta emisora y no las de las otras. Con esto hemos logrado separar la onda de dicha emisora de las otras que simultáneamente captan la antena. En esto consiste la sintonización.

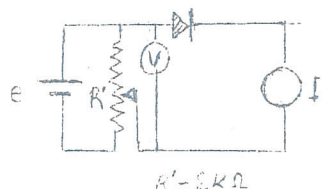
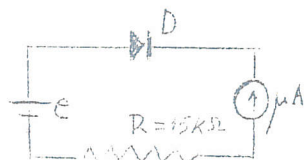
La corriente I que pasa por MDRN es alterna de elevadísima

frecuencia (la de la onda portadora) (fig. 32). El auricular telefónico R, constituido por una bobina b frente a la cual hay una membrana magnética m que es atraída con una fuerza variable con la intensidad que pasa por b, no puede funcionar con frecuencias tan elevadas, por la inercia de la membrana. La membrana m no puede seguir las rápidas variaciones de la intensidad I y por lo tanto permanece en reposo



Pero si introducimos en el circuito un artificio D (en este caso un diodo de germanio) que no deje pasar la corriente más que en un solo sentido, desaparecerá, por ejemplo, la parte negativa de la intensidad (fig. 33) y la intensidad resultante tendrá cierto valor medio I_m que viene determinado por la amplitud de la onda portadora y que por lo tanto irá variando de acuerdo con la modulación. Como ésta es de baja frecuencia, la membrana vibrará según este valor medio de la corriente que pasa por b (o lo que es lo mismo, de la fuerza atractiva correspondiente), es decir vibrará al unísono con la frecuencia de la modulación y por consiguiente reproducirá las vibraciones que recogió el micrófono. En esto consiste la detección.

Práctica: 1º.- a) Comprobar el funcionamiento de un diodo: sólo pasa corriente en un sentido. Emplear el esquema adjunto (fig. 34), invirtiendo la polaridad de la pila y observando en cada caso las indicaciones del aparato de medida.



b) Trazar su curva característica: representar gráficamente los valores I del microamperímetro en función de los valores V del milivoltímetro (fig. 35).

2º.- Montar el esquema del radio-receptor arriba indicado (fig. 31), hasta recibir una emisión.

3º.- Determinar que ocurriría si se invirtiera la polaridad del diodo D en el esquema.

=====

14.- CARACTERISTICA DE UNA CELULA FOTOELECTRICA Y VELOCIDAD DE LOS ELECTRONES EMITIDOS.

El efecto fotoeléctrico consiste en el desprendimiento de electrones de una superficie metálica al ser iluminada por la luz. El número de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la luz, por lo que la corriente eléctrica así originada puede emplearse para medir esta intensidad.

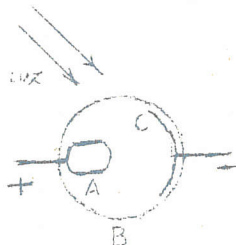
Estudiaremos una célula fotoeléctrica del tipo denominado emisiva, de vacío, que está constituida por (fig. 36):

Una superficie metálica C (cátodo) de la que se desprenden los electrones cuando incide la luz sobre ella.

Un filamento receptor A (ánodo) que recoge tales electrones y los manda al circuito exterior.

Ambos elementos están en el interior de un recipiente de vidrio B en el que se han practicado el alto vacío.

Para que el filamento A recoja la mayor parte de los electro

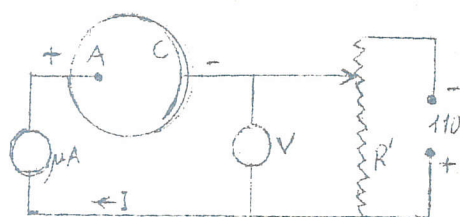


nes emitidos, es preciso darle un potencial positivo con respecto al cátodo C; de este modo los electrones son atraídos hacia el ánodo A, mientras que si no existiese esta diferencia de potencial serían muy pocos los electrones que llegarían al ánodo. Así pues las células emisoras tienen que trabajar con un potencial auxiliar.

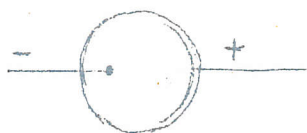
Representaremos por V la diferencia de potencial aplicada a la célula y por I la intensidad de la corriente que ésta origina al incidir sobre ella cierta radiación luminosa. Al ir aumentando el valor de V (a partir de $V=0$ volt), va aumentando también el de I pues son cada vez más los electrones que llegan al ánodo A, hasta alcanzar cierto valor I_0 (corriente de saturación) a partir del cual la corriente no aumenta más pues el filamento A recoge ya todos los electrones desprendidos, por la luz, del cátodo C. Este valor I_0 es el proporcional a la intensidad de la luz incidente, por lo que conviene que la célula trabaje en estas condiciones.

Se llama curva característica de una célula a la curva que

relaciona los valores de V con los correspondientes de I . Para trazarla usaremos el esquema adjunto (fig. 37).



R' es un potenciómetro con el que se puede variar la tensión V aplicada a la célula. El microamperímetro μA mide la intensidad I de la corriente que da la célula y el voltímetro V da el valor de la diferencia de potencial V a ella aplicada. (Téngase en cuenta que la caída de tensión a través del microamperímetro es completamente despreciable).



Práctica: 1ª.- Iluminar la célula y hacer variar V de 10 en 10 volt, hasta 100 volt, anotando los correspondientes valores de I .

La representación gráfica de estos valores es la característica de la célula. Se puede comprobar que, dejando la V fija, si se acerca o aleja el foco luminoso, la I aumenta o disminuye respectivamente, por lo que puede usarse el valor de I para medir la intensidad de la luz incidente.

2ª.- Medida de la velocidad de los electrones emitidos: Substituir el microamperímetro μA por un galvanómetro de espejo, muy sensible, y sin aplicar tensión alguna, iluminar intensamente la célula; en estas condiciones el galvanómetro acusa cierta corriente, pues algunos electrones han sido emitidos con velocidad suficiente para llegar al filamento receptor.

Conectar a los extremos del potenciómetro una pila de 4'5 volt (en vez de conectar la tensión de la red), con la polaridad invertida con respecto al caso anterior (fig. 38). Partiendo de $V=0$ volt, se va aumentando esta tensión antagonista, con lo cual I va disminuyendo ya que son cada vez menos los electrones que tienen velocidad suficiente para llegar al filamento. Para cierto valor de la diferencia de potencial se tiene $I=0$, cuando dejan de llegar al filamento incluso los electrones que habían sido emitidos con la mayor velocidad v . Si V es la diferencia de potencial que anula a I , tendremos:

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V \quad (1)$$

en donde m y e son la masa y la carga del electrón respectivamente. Calcúlese, por medio de esta fórmula, el valor de v .

Una vez logrado que $I=0$, si se acerca o aleja el foco luminoso, continua siendo $I=0$. Esto prueba que la velocidad de los electrones emitidos (no el número total de ellos) es independiente de la intensidad de la luz incidente. También puede procederse así:

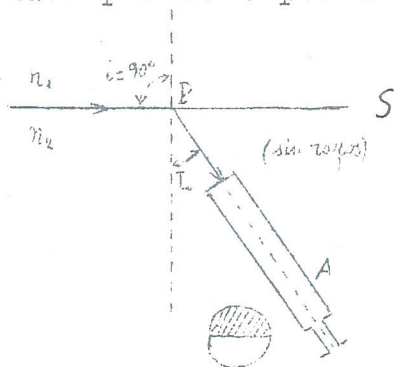
se repite el proceso anterior con distintas posiciones del foco luminoso; para todas ellas la tensión V que hace $I=0$ es prácticamente la misma. Por lo tanto el valor de v , calculado por (1), también lo será.

Nota: $\frac{e}{m} = 1,759 \times 10^7$ u.e.m. (Al aplicar la fórmula (1)

hay que expresar el valor de V en u.e.m.; 1 volt = 10^8 u.e.m.)
 = = = = =

15.- MEDIDA DE INDICES DE REFRACCION CON EL REFRACTOMETRO DE ABBE

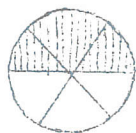
Consideremos dos medios de índices de refracción n_1 y n_2 separados por la superficie S ; supongamos que $n_2 > n_1$. Si hacemos llegar al punto P un rayo incidente rasante, tendremos $i=90^\circ$, y el correspondiente ángulo de refracción L vendrá dado por:



$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin L} = \frac{n_2}{n_1} \text{ ó sea } \sin L = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Este ángulo L es el llamado ángulo límite. Si hacemos llegar al punto P rayos luminosos con todas las inclinaciones desde $i=0^\circ$ hasta $i=90^\circ$, los rayos emergentes estarán todos contenidos dentro del ángulo L de la figura. Recibiendo estos rayos con un anteojo A , el campo de éste aparecerá dividido en dos partes: una iluminada y otra más oscura, correspondiente ésta a ángulos superiores a L para los que no hay rayos.

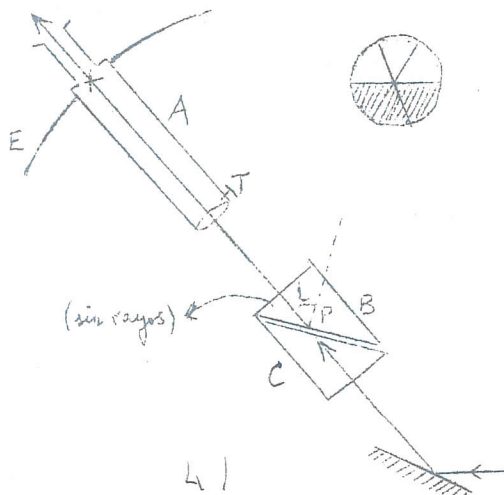
El anteojo A va provisto de un retículo y puede girar alrededor del punto P . Colocando el anteojo de manera que la línea de separación de las dos mitades del campo pase por el cruce del retículo (fig. 40), su misma inclinación nos dará el valor del ángulo L . Conociendo además uno de los índices, la fórmula (1) permite calcular el otro.



40

Este es el fundamento del refractómetro de Abbe representado en la figura adjunta (fig. 41). Entre los dos prismas C y B se coloca el líquido cuyo índice n se tiene que medir. El índice de refracción del vidrio del prisma B lo representaremos por N ; este índice N es siempre muy elevado ($N \approx 1,7$), de modo que para la mayor parte de los líquidos se tiene $n < N$. En estas condiciones, el valor del ángulo límite en B viene dado, según (1), por:

$$\sin L = \frac{n}{N} \quad (2)$$



41

Al observar por el anteojo se aprecia el campo dividido en dos mitades, una iluminada y otra oscura. Colocado el anteojo de modo que la línea de separación de las dos mitades del campo pase por el cruce del retículo, en la escala E puede leerse el valor de L . Y conociendo N , que es una constante del aparato, la fórmula (2) nos da n . El constructor ya ha tenido en cuenta este cálculo al grabar la escala E , por lo que se lee directamente en ella el valor de n .

La hipotenusa del prisma inferior C está deslustrada a fin de que en ella la refracción de la luz sea irregular y así lleguen a la hipotenusa del prisma B , después de haber atravesado la delgada capa de líquido problema, rayos luminosos en todas direcciones,

incluso rasantes a su superficie, que son los que determinan el ángulo límite L.

Observaciones:

1ª.- Propiamente habría que hacer la medida de n con luz monocromática ya que para cada sustancia el valor de n depende del color (longitud de onda) de la luz. No obstante para poder trabajar con luz blanca, el aparato va provisto de un sistema compensador, accionado por el tornillo T, con el que puede conseguirse una nítida separación de las dos mitades del campo al emplear luz blanca y así puede determinarse el valor de n , que se obtiene referido, por construcción del aparato, a la luz amarilla del sodio. (La graduación que acompaña a este tornillo T permite calcular, además, la dispersión del líquido problema, es decir la variación de su índice de refracción con la longitud de onda de la luz, debiéndose emplear para ello ciertas tablas y fórmulas de indica el constructor).

2ª.- Los prismas B y C van recubiertos por una envoltura metálica por la que puede establecerse una circulación de agua a una determinada temperatura, para medir el índice n a la temperatura que interese.

Práctica a realizar:

Medir el índice de refracción de una disolución de sulfato de cobre, de concentración 10 %. Diluir luego a las concentraciones del 5 % y 2,5 % y determinar en cada caso el valor de n . Hallar asimismo el índice de refracción del agua ($c = 0$). Efectuar cada vez cuatro lecturas y hallar el valor medio.

Trazar la gráfica de variación de n en función de c .

Notas: Para realizar estas medidas, proceder así: Separar primero los dos prismas B y C y colocar entre ellos unas gotas del líquido a medir, volviéndolos a juntar luego. Con el espejo del aparato se dirige la luz hacia el interior de los prismas. Con el ocular se enfocan exactamente los hilos del retículo y girando el tornillo T se procura que la separación de las dos mitades del campo sea bien nítida. Por medio del tornillo que está junto a la escala graduada se mueven lentamente los prismas B y C (en vez del anteojo) hasta que dicha línea pase por el cruce del retículo. Logrado esto ya se puede leer el valor de n .

Disponer la lupa que acompaña la escala graduada de modo que se pueda hacer cómodamente la lectura; nótese que el índice o señal para efectuar esta lectura está situado a la derecha del campo de visión y alcanza justamente la escala graduada.

En esta escala graduada están representados los valores del índice de refracción hasta la tercera cifra decimal. La cuarta puede apreciarse a ojo interpolando entre dos divisiones consecutivas.

=====

16.- DETERMINACION COLORIMETRICA DE UNA CONCENTRACION

La ley de Lambert - Beer nos dice que la intensidad de la luz transmitida a través de una disolución viene dada por:

$$I_t = I_0 e^{-\epsilon l c}$$

en donde I_t es la intensidad de la luz transmitida, I_0 la de la incidente, l el espesor atravesado de disolución, c su concentración y ϵ es el coeficiente de extinción, característico de la sustancia y en general variable de un color a otro por lo que es el que determina la coloración de la luz transmitida.

El colorímetro de Duboso (Fig. 42) consta de dos vasos cilíndricos verticales C y C' que contienen el líquido a examinar y el de comparación. Un espejo E manda la luz hacia arriba y mediante un sistema de prismas de reflexión total PP' el observador ve simultánea-

mente dos campos yuxtapuestos iluminados, uno por la luz que atraviesa C y el otro por la luz que atraviesa C'.

Dos cilindros de vidrio V y V' permiten regular el espesor de líquido en cada vaso. Se desplazan hasta ver ambos campos igualmente iluminados y se anotan los espesores de líquido.

En nuestro caso tenemos una disolución de SO_4Cu de concentración desconocida y otro solución de la misma sal cuya concentración es del 10%. Colocadas estas disoluciones en los cilindros C y C' y establecida la igualdad de iluminación en las dos mitades del campo, tendremos:

$$I_t = I_0 e^{-\epsilon l c} \quad I'_t = I_0 e^{-\epsilon l' c'}$$

y como hemos hecho $I_t = I'_t$ resulta:

$$I_0 e^{-\epsilon l c} = I_0 e^{-\epsilon l' c'}$$

ó sea $l c = l' c'$

de donde $c = \frac{l'}{l} c'$

que nos permite calcular la concentración c desconocida conociendo la otra c'.

El método colorimétrico que acabamos de exponer no puede dar resultados exactos en aquellos casos en que al variar la concentración del líquido problema y por tanto el espesor de la capa líquida en el colorímetro, varía no sólo la intensidad del color sino también el matiz de éste (caso de una sal que se disocia parcialmente dando iones de color distinto al de las moléculas), ni cuando en la disolución problema existen otras sustancias también coloreadas junto a la que se desea dosificar, pues en todos estos casos las dos mitades del campo aparecerían con coloración distinta y no se podría apreciar la igualdad de intensidad. En estos casos hay que trabajar con luz de un color determinado para comparar entre sí la disolución patrón y la problema y los aparatos así dispuestos reciben el nombre de espectro-colorímetros

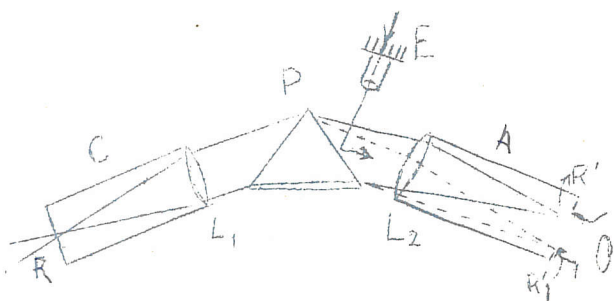
=====

17.- CALIBRADO DE UN ESPECTROSCOPIO

Un espectroscopio está constituido esencialmente por un colimador C, un sistema dispersor P (prisma o red de difracción) y un

anteojo A. Los rayos de luz que penetran por la rendija R del colimador, situada en el foco de la lente L, forman a la salida de esta lente un haz de rayos paralelos, que es desviado por el prisma P. El valor de esta desviación depende de la longitud de onda λ (es decir, del color) de la luz, por lo que a la salida del prisma tendremos, con dirección diferentes, tantos haces de rayos paralelos como longitudes de onda existan en la luz incidente. Cada uno de estos haces forma, después de atravesar la lente L_2 del anteojo, la correspondiente imagen R' de la rendija. Así pues, al ob-

servar a través del ocular O, veremos tantas imágenes de la rendija como longitudes de onda existan en la luz que penetra por R, procedente del foco luminoso F. El conjunto de todas estas imágenes R' ,



$R_1, \dots$, constituye el espectro de la luz examinada, y cada una de ellas recibe el nombre de línea o raya espectral.

A fin de poder indicar la posición de estas líneas espectrales, se forma, por reflexión sobre la cara de salida del prisma, la imagen de una escala graduada E en el campo de visión del anteojo.

Ya que cada longitud de onda origina una línea espectral perfectamente determinada, interesa poder deducir de la posición de cada línea el correspondiente valor de λ , pues de este modo quedará conocida la composición de la luz empleada y con ella la del foco F , dado que, como es bien sabido, cada elemento emite unas longitudes de onda que le son características. Este es el fundamento del análisis espectral.

La determinación de λ a partir de la posición de la raya espectral efectúa por medio de la curva de calibración del espectroscopio. Esta curva de calibración se obtiene con ayuda de rayas de longitud de onda conocida, para las que se lee su posición en la escala graduada y luego se representan gráficamente estos valores en función de las correspondientes longitudes de onda (que figuran en las tablas espectrales)(3)

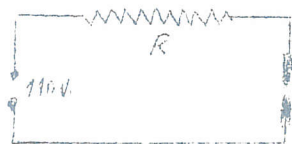
Trazado de la curva de calibración:

El espectroscopio utilizado tiene dos prismas, con los que se aumenta notablemente el poder separador del mismo. Emplear en primer lugar la lámpara de Na. Procurar que la rendija sea lo más estrecha posible y que las líneas espectrales estén bien enfocadas por el ocular. Una vez logrado esto, iluminar la escala E y obtener su imagen nítida accionando su dispositivo de enfoque. Centrar la posición de la escala, situando la primera raya roja del Na en la división 220. Leer las posiciones de las otras líneas del Na y anotar los valores de λ dados por las tablas.

Hacer análogas lecturas para las otras lámparas, de Hg. Cs y Zn.

Observar también las rayas del Li, por excitación a la llama.

Conviene representar gráficamente, desde un principio, los valores hallados, pues la curva provisional obtenida ayudará a identificar las sucesivas rayas espectrales observadas. Una vez obtenidos todos los valores trazar la curva definitiva.



Obsérvese el espectro de arco del Fe, empleando el esquema adjunto (Fig. 44). Para establecer el arco se ponen en contacto los electrodos y luego se separan. Nótese la gran cantidad de rayas de este espectro. Observar el espectro continuo dado por una lámpara de incandescencia. Interponiendo luego el cuerpo absorbente A entre esta lámpara y la rendija, se obtiene el espectro de absorción de A .

Determinar, con la curva de calibración obtenida, las longitudes de onda aproximadas de las zonas o bandas de absorción.

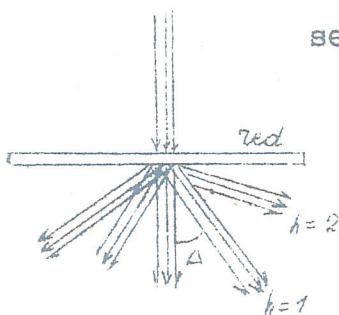
Nota: Para trazar la curva de calibración adoptar las mayores unidades posibles sobre los dos ejes de coordenadas; poner en abscisas las divisiones de la escala y en ordenadas las longitudes de onda.

18.- DETERMINACION DE LONGITUDES DE ONDA CON LA RED DE DIFRACCION. IDENTIFICACION DEL GAS CONTENIDO EN UNA LAMPARA.

Una red de difracción está constituida por una lámina de vidrio en la que se han practicado muchísimos trazos iguales, paralelos y equidistantes, en número muy elevado por unidad de longitud (del orden de 500 trazos por milímetro). Cuando un haz de luz paralela llega a una red de difracción, a la salida de la misma no solo

se encuentra luz en la misma dirección incidente sino también en otras direcciones que forman ángulos perfectamente determinados con la de la luz incidente. (Fig. 45). En el caso de incidencia normal sobre la red, estas direcciones en las que también se propaga la luz vienen dadas por la siguiente fórmula:

$$\text{sen } \Delta = h \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$



en donde λ es la longitud de onda de la luz empleada y d es la constante de la red, es decir la distancia entre dos trazos consecutivos. Al ir dando a la constante h los sucesivos valores enteros ($h = 1, 2, 3, \dots$) la fórmula (1) nos da los distintos valores del ángulo Δ según los que, se propaga también luz a la salida de la red.

Midiendo los ángulos Δ con un goniómetro y conociendo el valor de d , se puede determinar el de la longitud de onda λ .

Si empleamos un colimador C de rendija R (Fig. 46) para obtener el haz de luz paralela, y un anteojo A para observar la radiación transmitida, encontraremos, al desplazar el anteojo tantas imágenes R' de la rendija como direcciones emergentes dadas por la fórmula (1). Son respectivamente las imágenes de orden 1, 2, 3, etc.

Sucede además que el valor de Δ depende de la longitud de onda (color) λ de la luz (fórmula (1)). Así pues, si la luz no es monocromática dentro de cada orden de difracción encontraremos tantas imágenes de la rendija como longitudes de onda existan en la luz empleada. El conjunto de las imágenes de primer orden ($h = 1$) constituyen el espectro de primer

orden; el conjunto de las de segundo orden ($h = 2$), el de segundo orden, y así sucesivamente.

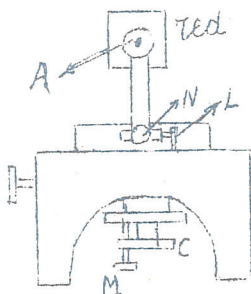
Se demuestra también que, para cierta posición de la red que no es la de incidencia normal, la desviación Δ es mínima: Δ_m . En estas condiciones, la longitud de onda viene dada por:

$$\lambda = \frac{2d}{h} \text{sen } \frac{\Delta_m}{2} \quad (2)$$

Práctica:

Trabajando en la mínima desviación, determinar el valor de las longitudes de onda de las principales rayas observadas.

Medir algunas en el espectro de primer orden y otras en el de segundo orden. Con el goniómetro se determina Δ_m y luego se aplica (2).



Medida de Δ_m : Se coloca la red sensiblemente normal a la radiación incidente y luego, dejando fijo el tornillo M y aflojando el N, se mueve el anteojo A hasta observar la raya deseada. Se fija el tornillo N y se suelta el M, con lo cual se puede mover la red por medio del disco C hasta colocar la raya observada en su mínima desviación; logrado esto se vuelve a fijar el tornillo M.

Se desplaza el anteojo hasta que la raya a medir esté cerca del hilo vertical del retículo y, fijando N, se espera con el tornillo L de movimiento lento hasta que dicha raya coincida exactamente

con el hilo vertical. Se hace la lectura en uno de los nonius del aparato, hallándose cierto valor l .

Como las imágenes de difracción son simétricas con respecto a la dirección de la luz incidente, se vuelve a repetir la operación anterior por el lado contrario al de antes, efectuándose al final la lectura correspondiente con el mismo nonius de antes; sea l' el valor obtenido.

La diferencia de las dos lecturas nos da el ángulo total girado por el anteojo, es decir el doble del ángulo de mínima desviación para la raya observada:

$$\Delta_m = \frac{l' - l}{2}$$

Conocido, de esta manera, el valor de Δ_m , la fórmula (2) permite calcular el de λ .

Una vez determinados los valores de λ para las principales rayas, se acude a unas tablas de longitudes de onda para identificar el gas contenido en la lámpara.

Observaciones:

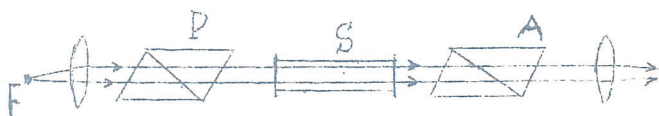
1ª En nuestro caso $d = \frac{1}{5715}$ cm. Empleando este valor, los de λ calculados por (2) resultan también expresados en cm. Expresar los luego en Å.

2ª Hacer las lecturas en el círculo graduado apreciando, con el nonius, hasta el minuto de arco.

=====

19.- DETERMINACION POLARIMETRICA DE LA CONCENTRACION DE GLUCOSA EN UNA DISOLUCION.

Este método se basa en el fenómeno de la polarización rotatoria, fenómeno que consiste en la propiedad de ciertas sustancias de hacer girar el plano de polarización de la luz que las atraviesa. En el caso de disoluciones el ángulo girado es proporcional a la concentración, lo cual hace posible una medida de ésta. El aparato que para ello se emplea es el polarímetro, (Fig. 48), que consiste esencialmente en dos nicols entre los que se coloca la disolu-



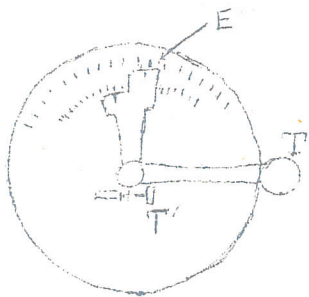
ción S a estudiar. De los dos nicols, uno es fijo (polarizador P) y el otro giratorio (analizador A); con éste se miden los ángulos girados por el plano de polarización de la luz. En general el analizador lleva dos escalas graduadas: una en grados sexagesimales y otra en grados sacari-

métricos.

Existen dos tipos muy importantes de polarímetros: el de Laurent y el de Soleil. Ambos pueden usarse indistintamente. En nuestro caso (determinación de la concentración de glucosa en una disolución) usaremos el de Laurent, según las normas siguientes:

1ª Llenar el tubo polarimétrico (longitud 20 cm.), evitando las burbujas de aire en el interior del mismo.

2ª Empleando luz amarilla de sodio y sin colocar aún el tubo polarimétrico, enfocar con el ocular la línea de separación de las dos partes del campo hasta que se vea perfectamente nítida. Situar luego el analizador en el cero de su escala sexagesimal E , por medio del tornillo T y lograr la igualdad de iluminación en las dos zonas del campo accionando el tornillo T' . Fg 49



3º Intercalar el tubo polarimétrico y volver a enfocar, si es preciso, la línea de separación de las dos partes del campo. Girar el analizador (por T) hasta restablecer la igualdad de iluminación. Leer en la escala E el ángulo α girado.

Sabiendo que el poder rotatorio es específico $[\alpha]$ de una disolución de glucosa vale

$$[\alpha] = 51^{\circ},4 \text{ por dm y por gr/cm}^3$$

determinar la concentración c de glucosa en la disolución dada, por medio de la fórmula:

$$\alpha = [\alpha] l \cdot c$$

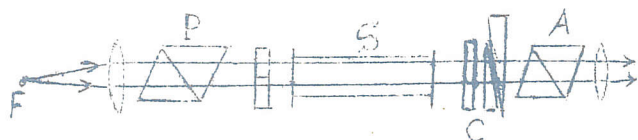
$$c = \frac{\alpha}{[\alpha] \cdot l} \text{ gr/cm}^3 \quad \text{ó bien} \quad c = \frac{100\alpha}{[\alpha]l} \%$$

siendo $l = 2 \text{ dm}$.

(Repetir dos o tres veces la lectura del ángulo α)
 = = = = =

20.- DETERMINACION POLARIMETRICA DE LA CONCENTRACION DE SACAROSA EN UN PRODUCTO DADO (SOLIDO O LIQUIDO).

Emplearemos un polarímetro de Soleil (Fig. 50) que consiste esencialmente en dos nicoles entre los que se coloca la sustancia S



a estudiar. De los dos nicoles uno es fijo (polarizador P) y el otro móvil (analizador A); con éste se miden los ángulos girados por el plano de polarización de la luz. Además el analizador va provisto del compensador de Soleil C. El círculo graduado del analizador tiene dos escalas graduadas: una en grados sexagesimales de ángulo y otra en grados sacarimétricos.

La escala del compensador C está graduada en grados sacarimétricos.

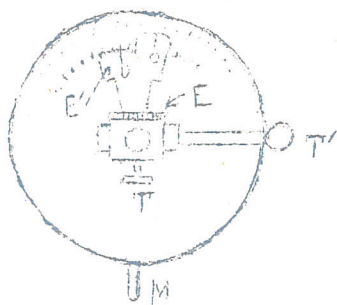
En el aparato de que se dispone la escala sacarimétrica es la llamada "escala francesa". Por ésto hay que proceder del siguiente modo:

a) Caso de un producto sólido

1º Disolver 16,29 g. del producto a estudiar en agua destilada, hasta 100 cm³ de disolución. Filtrar la disolución.

2º Llenar el tubo polarimétrico (de longitud 20 cm.), evitando las burbujas de aire en el interior del mismo.

3º Empleando luz blanca y sin colocar aún el tubo en el polarímetro, enfocar con el ocular la línea de separación de las dos mitades del campo hasta que se vea perfectamente nítida. Situar luego el compensador C y el analizador A en el cero de sus respectivas escalas (escalas E y E') mediante los tornillos T y T', y lograr la misma coloración rojo-violácea en las dos partes del campo moviendo la palanca inferior M.



4º Intercalar el tubo polarimétrico y volver a enfocar, si es preciso, la línea de separación de las dos mitades del campo. Accionar el compensador de Soleil (por medio del tornillo T) hasta restablecer la igualdad de coloración. La lectura en la escala E de este compensador nos da directamente la concentración c (en %) de sacarosa en el producto sólido inicial (no en la disolución utilizada para la medida).

5º Hacer la misma medida utilizando la escala sacarimétrica E' del círculo graduado del analizador, y no la del compensador. Para ello, una vez introducido el tubo polarimétrico, no se procede como en el apartado 4º, sino que se conserva la escala E en el cero y se hace girar el analizador (por medio de T') hasta restablecer la igualdad de coloración. La lectura en la escala E' nos da el valor de la concentración c (en %) buscada, que tiene que coincidir con el hallado anteriormente.

b) Caso de una disolución:

Para determinar la concentración de sacarosa en una disolución, se llena directamente el tubo polarimétrico (de 20 cm. de longitud) con la disolución dada. Luego se procede como en el caso anterior y, al final, se multiplica la lectura efectuada en la escala sacarimétrica (E o E') por el coeficiente 0,1629. El producto es la concentración c de sacarosa en la disolución, expresada en tanto por ciento, es decir en gramos de sacarosa por 100 cm³ de disolución. Efectuar el cálculo para la disolución empleada anteriormente, a partir de las lecturas ya realizadas.

=====