

GUIA DE LOS TRABAJOS PRACTICOS DE MECANICA Y TERMOLOGIA.

ADVERTENCIAS PRELIMINARES. Los alumnos deben dedicar la máxima atención a los trabajos prácticos para obtener de los mismos el mayor provecho. No empezarán una práctica determinada sin conocer el fundamento teórico de la misma. Además, leerán el correspondiente apartado de la presente guía, íntegramente, antes de entrar en el Laboratorio. Con cuidado y sin prisas, trabajarán de acuerdo con las instrucciones contenidas en esta guía. Repetirán las medidas varias veces, siempre que sea posible y anotarán los resultados, con orden, en las hojas de prácticas, que llenarán en el mismo Laboratorio y en las que, además, consignarán aquellos detalles de los experimentos que puedan serles de utilidad si otro día tienen que repetir la práctica o han de realizar otro experimento análogo. Las hojas de prácticas no deben ser simple copia de las presentes instrucciones, sino el complemento de las mismas sugerido al alumno por su propia experiencia. Los cálculos que pueda exigir la práctica en ejecución se realizarán en el mismo Laboratorio y se procurará interpretar físicamente los resultados para adquirir el debido criterio que permita distinguir los que son buenos de los que son erróneos. No deben expresarse los resultados numéricos con más cifras que las requeridas por la precisión con que se hayan obtenido los datos que sirven de base a aquellos.

LISTA DE PRACTICAS.

Esferómetro.....	pág. 3
Curva de sensibilidad de la balanza.....	" 4
Comprobación de una caja de pesas.....	" 4
Densidad de un sólido por el método del frasco.....	" 5
Balanza de Mohr.....	" 6
Péndulo bifilar.....	" 7
Módulo de rigidez de un hilo.....	" 8
Histéresis elástica de un hilo.....	" 9
Determinación del módulo de Young de un alambre.....	" 10
Tensión superficial del agua.....	" 10
Viscosímetro de Engler.....	" 11
Viscosímetro de Searle.....	" 12
Viscosímetro de Stokes.....	" 13
Termómetro de aire.....	" 13
Equivalente mecánico de la caloría.....	" 14
Densidad de un vapor por el método de Meyer.....	" 15
Calor específico de un sólido por el método de las mezclas	" 15
Calor específico de un líquido por el método del enfria-	
miento.....	" 16
Determinación de C_p/C_v . Método de Clement-Desormes.....	" 17
Puntos de fusión con el aparato de Thiele.....	" 17
Calor de fusión del hielo.....	" 18
Calor de vaporización del agua.....	" 18
Crioscopia.....	" 19
Humedad atmosférica.....	" 20

TABLA I

Densidad del agua a distintas temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)

0°	0,9999	g/cm^3	15°	0,9991	g/cm^3
4°	1,0000	"	20°	0,9982	"
10°	0,9997	"	25°	0,9971	"
			30°	0,9957	"

TABLA II

Presión de vapor saturante del agua (en tor) a distintas temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)

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

TABLA III

Temperatura de ebullición del agua ($^{\circ}\text{C}$) a distintas presiones (en tor)

	0°	2	4	6	8
730	98,88	98,95	99,03	99,10	99,18
740	99,26	99,33	99,41	99,48	99,56
750	99,63	99,70	99,78	99,85	99,93
760	100,00	100,07	100,15	100,22	100,29

TABLA IV

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

t	730	740	750	760	770	t	730	740	750	760	770
8°	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	20°	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

NOTA: 1 tor = 1 mmHg reducido a 0° y a la gravedad normal de 980,7 cm/seg^2 . - Valor de la aceleración de la gravedad en Barcelona, 980,2 cm/seg^2 .

INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DE UNA BALANZA

El alumno tendrá siempre presentes las reglas que siguen:

- 1ª Al disparar y al sujetar la balanza es preciso operar con suavidad. Conviene efectuar la sujeción cuando el fiel pasa aproximadamente por la división central.
- 2ª Nunca se pondrán o se quitarán pesas de los platillos con la balanza disparada.
- 3ª Las puertecillas de la balanza estarán cerradas cuando la balanza oscila.
- 4ª Las pesas deben manejarse siempre con las pinzas.
- 5ª Al realizar una pesada han de ensayarse las pesas por orden riguroso, de mayor a menor masa.

DETERMINACION DE LA POSICION DE EQUILIBRIO O "CERO" DE LA BALANZA. Se numeran mentalmente, de 0 a 20, las divisiones de la escala que recorre el fiel, de manera que el 10 corresponda a la división central. Dejando oscilar la balanza, y esperando a que ésta realice 2 ó 3 oscilaciones, se hacen entonces tres lecturas consecutivas de las posiciones que adopta el fiel al oscilar; sean éstas a , b , c . La posición de equilibrio, que suele denominarse abreviadamente "cero", viene dada por

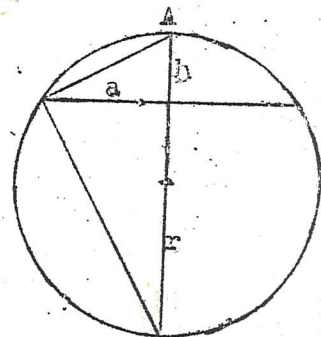
$$\frac{1}{2} \left(\frac{a + c}{2} + b \right)$$

PESADA DE UN CUERPO. Si la balanza tuviese los dos brazos exactamente iguales en longitud, para pesar un cuerpo bastaría colocarlo en uno de los platillos poniendo en el otro las pesas necesarias para lograr el equilibrio correspondiente a su peso. Pero aquella condición nunca se cumple rigurosamente. Para eliminar el correspondiente error, se realizan las pesadas de acuerdo con el método que se describe a continuación:

Procedimiento de carga constante o de sustitución. En uno de los platillos se coloca, como tara, la pesa de la caja inmediatamente superior a la masa del cuerpo. Este se pone en el otro platillo, junto con las pesas m_1 que sean necesarias para equilibrar la tara. Sin tocar la pesa solitaria, se quitan todas las demás pesas, así como el cuerpo, y se vuelve a equilibrar la misma tara poniendo pesas m_2 en el otro platillo. Evidentemente, la masa del cuerpo vale $m = m_2 - m_1$

ESFEROMETRO

Sea r el radio desconocido de la esfera. Se gira el tornillo del esferómetro, hasta lograr que su punta A se apoye sobre la esfera, y se efectúa la lectura en el tornillo. Se coloca luego el esferómetro sobre una lámina bien plana, se baja la punta del tornillo hasta tocar la lámina y se lee de nuevo. La diferencia entre ambas lecturas da la flecha h . Por otro lado, los tres pies del esferómetro determinan un triángulo equilátero de lado conocido d , a partir del cual es fácil calcular el radio a de la correspondiente circunferencia circunscrita que pasa por los tres pies del instrumento. Se tiene $a = d/\sqrt{3}$. Además, es fácil ver que $(2r - h) / a = a / h$. Por tanto, resulta



$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h}, \text{ o sea } r = \frac{d^2 + 3h^2}{6h}$$

Aplicando esta última fórmula obtendremos el radio r de la esfera.

CURVA DE SENSIBILIDAD DE UNA BALANZA.

Léanse las "Instrucciones para el manejo de una balanza" que figuran en la pág. 3.

Con ambos platillos descargados, se determina la posición de equilibrio, o cero. Se aplica ahora a uno de los brazos, mediante el reiter, una sobrecarga de un miligramo y se determina la nueva posición de equilibrio. La diferencia entre ésta y la obtenida primeramente nos da la sensibilidad de la balanza correspondiente a una carga nula. Se repiten ambas operaciones y se toma la media de los resultados como verdadero valor de dicha sensibilidad.

Se coloca luego, en cada uno de los platillos, una misma carga de 5 g; se determina el cero; se aplica una sobrecarga de 1 mg y se deduce nuevamente el cero. La diferencia entre ambos ceros nos dará la sensibilidad para una carga de 5 g. Como antes, se repiten ambas operaciones para tomar la media.

Se efectúan sucesivas determinaciones de la sensibilidad para cargas de 10, 20, y 50 gramos en los platillos.

Represéntense gráficamente los resultados, tomando como abscisas las cargas y como ordenadas las sensibilidades, y se tendrá la curva de variación de la sensibilidad con la carga.

COMPROBACION DE UNA CAJA DE PESAS.

Léanse las "Instrucciones para el manejo de una balanza" que figuran en la pag. 3.

La pesa cuya masa debiera ser A, así como su masa verdadera, la representaremos por (A). Si hay varias pesas cuyas masas debieran ser iguales, las distinguiremos entre sí, mediante acentos.

La colección de pesas de la caja que se va a comprobar puede ser de uno de los dos tipos siguientes:

Tipo 1º: (1), (1'), (1''), (2), (5), (10), (20); (20'),

Tipo 2º: (1), (2), (2'), (5), (10), (20), (20'),

Si se debe comprobar una caja del 2º tipo, se debe disponer de otra pesa de un gramo que designaremos por (1'), de acuerdo con las normas dadas.

Se pone la pesa (1) en el platillo de la izquierda, y se coloca la (1') en el de la derecha. Sea m la masa en miligramos que, aplicada con el reiter al platillo de la derecha, permite equilibrar a la pesa (1). (Véase, "Determinación de la posición de equilibrio de la balanza", pag. 3). Es de notar que, cuando el reiter debe colocarse en el brazo izquierdo m toma valores negativos. Tendremos:

$$(1) = (1') \div m.$$

Se invierte la colocación de las pesas en los platillos, y sea n la masa en miligramos, que se debe aplicar en el platillo de la izquierda de modo que se tenga: $(1) = (1') \div n$.

Sumando las igualdades correspondientes a ambas operaciones (que constituyen una "doble pesada"), obtenemos:

$$(1) = (1') \div a \quad [1] \quad \text{siendo } a = \frac{1}{2} (m \div n).$$

A continuación y realizando la doble pesada correspondiente para cada una de ellas, se obtienen las relaciones

$$\left. \begin{aligned} (1'') &= (1) \div b \\ (2) &= (1'') \div (1') \div c \\ (5) &= (2) \div (1) \div (1') \div (1'') \div d \end{aligned} \right\} \text{ o las } \left. \begin{aligned} (2) &= (1) \div (1') \div b \\ (2') &= (2) \div c \\ (5) &= (2') \div (2) \div (1) \div d \end{aligned} \right\} [2]$$

según se trate de comprobar una caja del tipo 1º o del tipo 2º, respectivamente.

Las relaciones [2] junto con la [1], constituyen un sistema del que, por sustituciones en los segundos miembros, se obtienen las expresiones de la pesa (5) y de cada una de las inferiores a ésta (serán de los gramos), en función de la pesa (1') y de los valores a, b, c y d, resultando por ejemplo, $(5) = 5(1') \div 3a \div 2b \div c \div d$.

cada pesa superior a la (5)(serie de los decagramos), obteniéndose el sistema

$$\left. \begin{aligned} (10) &= \Sigma(5) \div e \\ (20) &= (10) \div \Sigma(5) \div f \\ (20') &= (20) \div g \end{aligned} \right\} [3]$$

.....

en el que $\Sigma(5)$ representa $(5) \div (2) \div (1) \div (1') \div (1'') \div (5) \div (2) \div (2'') \div (1)$, según se trate de una caja del tipo 1º o del tipo 2º, respectivamente.

Por sustituciones en los segundos miembros de [3] se obtiene el sistema

$$\left. \begin{aligned} (10) &= \Sigma(5) \div e \\ (20) &= 2 \Sigma(5) \div e \div f \\ (20') &= 2 \Sigma(5) \div e \div f \div g \end{aligned} \right\} [4]$$

.....

que nos da cada una de las pesas de la serie de los decagramos expresada en función de [5] y del que se obtienen las expresiones de estas pesas; en función de (1'), teniendo en cuenta que para ambos tipos de cajas, es

$$\Sigma(5) = 10 (1') \div 6a \div 4b \div 2c \div d. \quad [5]$$

- Finalmente, añadiendo a [4] la identidad $\Sigma(5) = \Sigma(5)$ y sumando ordenadamente se obtienen una igualdad, cuyo primer miembro es la suma total S de las pesas de la caja y en cuyo segundo miembro solo aparece $\Sigma(5)$ y los valores e, f, g... Si se admite que S tiene el valor correcto, de esta igualdad se puede despejar el valor $\Sigma(5)$, cuya sustitución en [4] nos dará los valores correctos de las pesas de la serie de los decagramos y cuya sustitución en [5] nos dará el valor correcto de (1) y, por tanto, el de las pesas de la serie de los gramos.

DENSIDAD DE UN SOLIDO POR EL METODO DEL FRASCO.

Se limpia el picnómetro, y se llena con agua destilada algo caliente. Se coloca debajo de una campana en la que se practica el vacío; el agua hervirá y expulsará las burbujas de aire que tiene en disolución. Se añade agua, de modo que el picnómetro quede totalmente lleno de líquido, y se introduce el tapón rápidamente, con lo cual el agua llena por completo el capilar. Se coloca el frasco, junto con un termómetro, en un baño de agua a la temperatura del ambiente. Si es preciso, se añade agua en el momento oportuno, para evitar que el menisco penetre en el capilar. Transcurrido un intervalo de tiempo suficiente para que el agua del picnómetro adquiera la temperatura t del baño, se anota ésta y, absorbiendo el líquido sobrante con un papel de filtro, se consigue el enrase hasta la señal que presenta el capilar. Se seca con cuidado el exterior del frasco, se coloca éste en uno de

7- 102

los platillos de una balanza. En el mismo platillo, y fuer a del frasco, se pone el cuerpo cuya densidad se va a determinar. En el otro platillo se coloca, como tara, la pesa mayor de la caja. Se añaden pesas m_1 en el platillo del cuerpo hasta lograr el equilibrio. Determinando el "cero", o posición de equilibrio de la balanza (con arreglo a las instrucciones incluidas en la pág. 3) tendremos:

$$\text{tara} = \text{frasco} + \text{agua} + \text{cuerpo} + m_1$$

Se retiran las pesas y el cuerpo del platillo del frasco y se restablece el equilibrio, con pesas m_2 , para la misma posición de cero de antes. Si esto no puede conseguirse mediante las pesas de la caja, se deducen los ceros correspondientes a las pesas entre las cuales queda comprendido el equilibrio y, por interpolación, se calcula el valor de m_2 que daría el mismo cero de antes. Se tiene, pues:

$$\text{tara} = \text{frasco} + \text{agua} + m_2$$

Se quita el picnómetro de la balanza, se sumerge el cuerpo en el líquido del frasco, se eliminan las burbujas practicando el vacío, y se repite el enrase dentro del baño a la temperatura t . Se coloca de nuevo el frasco en el mismo platillo y se equilibra contra la misma tara y en idéntica posición de cero, haciendo uso de la interpolación, si resulta preciso. Tendremos:

$$\text{tara} = \text{frasco} + \text{cuerpo y agua} + m_3.$$

Es fácil ver que la densidad x del cuerpo, a la temperatura de enrase t , viene dada, aproximadamente, por

$$x = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \quad (1)$$

Correcciones. Influyen en el resultado obtenido: 1º, el empuje de Arquímedes ejercido por el aire sobre el cuerpo y sobre el frasco; 2º, la variación de la densidad del aire con la temperatura. El empuje es igual al volumen del aire multiplicado por la densidad del mismo; ésta, a su vez, depende de la presión atmosférica, de la temperatura ambiente y de la humedad. Teniendo en cuenta que la densidad del aire seco, en condiciones normales, vale 0,001293 g/cm³, y que la densidad del vapor de agua relativa al aire seco es 5/8, se tiene que la densidad del aire en las condiciones del experimento se expresa por

$$\rho_a = 0,001293 \frac{p - e + \frac{5}{8}e}{760} \cdot \frac{1}{1 + \frac{t}{273}}$$

en donde p es la presión atmosférica; e , la presión parcial correspondiente al vapor de agua contenido en el aire; y t , la temperatura ambiente.

Como en (1) figura el cociente entre las masas de las pesas y el empuje sobre éstas es proporcional a dichas masas; éste último no influye en el resultado.

Si ρ es la densidad del agua a la temperatura de enrase, que coincide aproximadamente con la del ambiente, se deduce fácilmente que:

$$x - \rho_a = (\rho - \rho_a) \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_2}$$

Razónese si, dada la precisión con que se opera, son inútiles o no tales correcciones.

BALANZA DE MOHR

La balanza de Mohr-Westphal se compone de una palanca de brazos desiguales. El brazo corto lleva un contrapeso y termina en una punta; el largo está dividido en 10 partes iguales y en su extremo está suspendido un inmersor, mediante un hilo metálico inatacable. En el interior del inmersor hay un termómetro, cuyo mercurio funciona como lastre, que señala la temperatura del líquido. La balanza va acompañada de unas pesas, p , p' , p'' , etc. (que han de manejarse siempre con las pinzas) en forma de reiter, cuyos extremos permiten colgar unas pesas de otras. Siempre hay dos ejemplares de la pesa mayor, p .

Estando el inmersor en el aire, se nivela la balanza; es decir, se hace que la punta del brazo corto quede enfrentada con otra fija que lleva el soporte. Para ello, se mueve el contrapeso del brazo corto, o se actúa sobre el tornillo de la base.

Fijando el soporte de la palanca a una altura conveniente, se sumerge completamente el inmersor en agua destilada. Para conseguir de nuevo la nivelación, será preciso colocar la pesa mayor p en la división 10, o en un gancho que pende de dicha división. Por tanto, la pesa p tiene una masa igual a la del agua destilada que desaloja el inmersor y no es necesario conocer su valor en gramos. La pesa p representa la densidad 1 si está colocada en 10; representaría la densidad 0,1 colocada en la división 1; la densidad 0,2, colocada en 2; etc. La masa p' es igual a la décima parte de la de p y, por lo tanto, representa densidades diez veces más pequeñas que las de p . La masa p'' es diez veces menor que la de p' ; etc.

Comprobación de las pesas. Se comprueba la pesa p , viendo si restablece el equilibrio al introducir el inmersor en agua, como se ha dicho antes. La pesa p' , se comprueba colocándola en 10 y viendo si, poniendo p en 9, se produce equilibrio. La p'' se comprueba aplicando p y p' en 9 y p'' en 10; etc.

Determinación de la densidad de un líquido. Se seca el inmersor, se lava la cubeta, primero con agua y luego, un par de veces, con el líquido problema (para que éste no quede diluido). Sumergiendo el inmersor, se restablece el equilibrio colocando las pesas necesarias; para ello, se empieza ensayando la pesa p colocada en 10; si resultase insuficiente, se ensaya la otra pesa p , a partir de 10, y se deja p en la división que resulte más aproximada por defecto. Se ensayan ahora, una a una, por orden decreciente de masas y de divisiones, las otras pesas, hasta lograr el equilibrio.

Variación de la densidad con la concentración. Sea V el volumen de una disolución, de concentración c_1 , cuya densidad d_1 se ha determinado por el procedimiento anterior. Reemplazando por 20 cm³ de agua destilada un volumen igual de dicha disolución, y agitando luego, obtendremos una disolución de concentración $c_2 = c_1(V-20)/V$, cuya densidad será, en general, diferente de la de antes. Repitiendo la dilución varias veces podremos dibujar una gráfica tomando en abscisas las concentraciones y en ordenadas las densidades correspondientes.

PENDULO BIFILAR

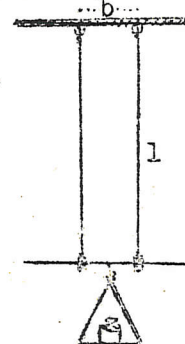
La práctica consiste en estudiar la variación que experimenta el período de oscilación T del péndulo cuando se modifican el peso tensor mg , la longitud l de los hilos de suspensión, o la distancia b que separa ambos hilos. El período de oscilación T del péndulo bifilar está expresado por
$$T = \frac{2\pi}{b} \sqrt{\frac{I}{mg}}$$
, siendo I el momento de inercia del sistema respecto al eje de giro.

Los hilos han de ser paralelos y de igual longitud. Las oscilaciones del péndulo se originarán mediante un movimiento inicial de torsión de unos 45°. En cada operación se medirá el tiempo empleado por el péndulo en realizar un número grande de oscilaciones, a fin de que el error relativo resulte pequeño.

a) Sin colocar pesas en el platillo, se determina el período. Colocando sucesivamente en el platillo pesas de 25, 50, 100, 200, 300 y 500 gramos, se deduce, para cada uno de estos pesos, el período correspondiente. Tomando como abscisas los pesos aplicados y como ordenadas los períodos, se dibuja una gráfica. Se tendrá en cuenta el peso del platillo.

b) Para un peso tensor dado, del cual se tomará nota, se miden los diferentes períodos que se obtienen al modificar la longitud de ambos hilos de suspensión. Para ello, arróllase el hilo girando la varilla superior, de modo que la longitud de suspensión resulte ser de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 cm. Con los resultados dibújese la gráfica correspondiente.

c) Manteniendo constantes el peso tensor y la longitud de suspensión, cuyos valores se anotarán, ~~estúdiese cómo varía el período al modificar la distancia b que separa los hilos verticales, cuidando de que éstos se mantengan paralelos y tengan~~

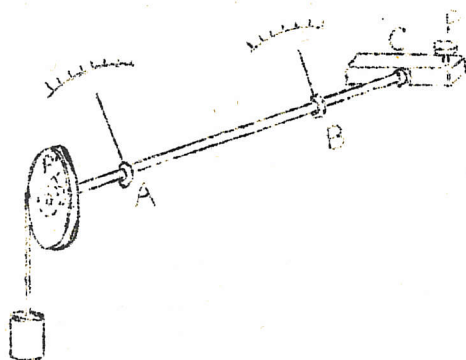


idéntica longitud. Se hará $b = 2, 8, 9, 12, 15$ y 18 cm (por ejemplo), y se dibujará la gráfica correspondiente.

MODULO DE RIGIDEZ DE UN HILO.

En la torsión de una barra o un hilo metálico de sección circular, el momento del par elástico recuperador, que actúa entre dos de sus secciones, vale $M = C\theta$, en donde θ es el ángulo de torsión, que una de las secciones ha girado respecto de la otra, y C es una constante. Si l es la longitud de la barra entre las dos secciones, θ designa el radio y G el módulo de rigidez de la substancia que constituye la barra, la constante vale $C = G\pi r^4/2l$ (1). Con facilidad, se mide θ con un palmer (promedio de varias lecturas) y l con una regla graduada; basta pues, determinar experimentalmente el valor de la constante C , para poder calcular el valor de G deducido de la (1). Esta determinación se puede hacer por dos procedimientos.

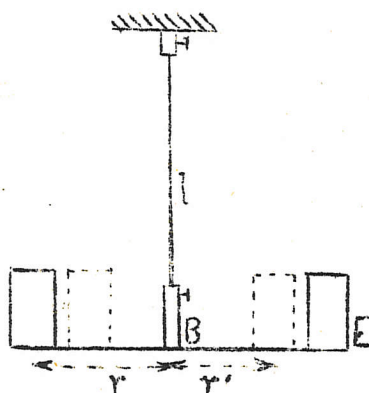
1r. procedimiento: Por medida directa de los valores M y θ . El extremo C de una varilla cilíndrica de la substancia problema se fija fuertemente al aparato mediante el tornillo de presión T . El par se aplica mediante un peso que pende de una cinta arrollada a una rueda, que se ajusta, mediante el tornillo T' , al extremo libre de la varilla. El ángulo de torsión θ se obtiene como diferencia entre los desplazamientos angulares girados por las dos secciones elegidas desplazamientos que se leen mediante dos índices A y B que se fijan a las secciones elegidas de modo que marquen cero antes de colgar los pesos.



Fijados A y B , se mide la distancia l entre ellos y se determinan los valores de θ obtenidos al colocar en el platillo que pende de la cinta, pesos de $1, 2$, y 3 kg. Después de medir el diámetro exterior de la rueda, con un calibre, se calculan los valores de M correspondientes a estos pesos y el valor de C se obtiene como promedio de los respectivos cocientes M/θ .

2º procedimiento: Mediante el péndulo de torsión. Consiste en una barra horizontal B que pende de un hilo de la substancia problema. Al hacer girar B alrededor del hilo aparece en éste el par recuperador $M = -C\theta$ que provoca en B unas oscilaciones armónicas, entorno a su posición de equilibrio de período $T = 2\pi\sqrt{I/C}$, en donde I es el momento de inercia del sistema, respecto al eje de giro.

Colocando en los dos extremos de la barra horizontal dos cilindros idénticos situados a la misma distancia r del eje de giro y determinando el período de oscilación T , se tiene, según la fórmula anterior, $T = 2\pi\sqrt{(2I_r + I_0)/C}$ (2), siendo I_r el momento de inercia de cada cilindro respecto al eje de giro e I_0 el momento de inercia del resto del sistema. Trasladando ahora los cilindros a dos puntos situados a menor distancia r' del eje, obtendremos un período expresado por $T = 2\pi\sqrt{(2I_r + I_0)/C}$ (3). Elevando (2) y (3) al cuadrado y restando (para eliminar I_0) resulta



$$T^2 - T'^2 = 8\pi^2(I_r - I_{r'})/C \quad (4).$$

Si es I el momento de inercia de un cilindro respecto al eje de revolución y m es su masa, el teorema de Steiner nos permite escribir: $I_r = I + mr^2$, $I_{r'} = I + mr'^2$ de modo que (4) se convierte en

$$T^2 - T'^2 = 8\pi^2 m(r^2 - r'^2)/C$$

de la cual se deduce, en forma adecuada para el cálculo logarítmico o con regla de cálculo:

$$C = \frac{8\pi^2 m (r+r') (r-r')}{(T+T')(T-T')}$$

Las distancias r y r' se miden con un pie de rey y m se determina con una balanza.

Para deducir T se aproxima un imán a uno de los tornillos de un extremo E de la barra horizontal, procurando imprimir al sistema oscilaciones de torsión de pequeña amplitud (unos milímetros de recorrido de E), evitando las tropidaciones y las corrientes de aire. Se determina el tiempo empleado en unas 20 o 30 oscilaciones completas. Se repite el proceso para determinar T' .

HISTERESIS ELÁSTICA DE UN HILO

En primer lugar, dedúzcase cual es la precisión del nonius de que va provisto el catetómetro, contando el número r de divisiones del nonius que abarcan un determinado número n de divisiones de la escala. La precisión del nonius es igual a $(n-r)/n$ divisiones de la escala.

Efectúese una nivelación aproximada del catetómetro, utilizando como guía el nivel de que va provisto el trípode del apoyo. Cuélguese un hilo de seda de la viga maestra que sale de la pared; dejándolo suspendido libremente, sin que quede tenso, se señala con tinta un punto de referencia en el hilo y se hace coincidir con dicha señal el centro del retículo del anteojo, anotando la altura a que éste se encuentra.

a) Se van poniendo pesos en un platillo que se cuelga del hilo, de 50 en 50 g, por ejemplo, o de 100 en 100 g, según aconseje la experiencia; de antemano, no puede saberse cual será el incremento de carga aconsejable, pues los hilos empleados en los distintos experimentos nunca son idénticos. Se anotan en cada caso, los alargamientos obtenidos y las cargas totales aplicadas al hilo, teniendo en cuenta el peso del platillo. Se procurará no rebasar un límite prudencial de carga (por ej., 800 g) para evitar la rotura.

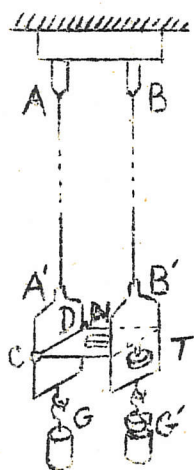
b) Se repiten ahora las observaciones en orden inverso, es decir, una vez alcanzada la carga máxima se van quitando sucesivamente los incrementos de peso empleados antes. El hilo se irá acortando; anotaremos también el alargamiento correspondiente a cada carga y observaremos que es superior al que la misma carga provocó en el caso a).

c) Con los datos obtenidos en a) y en b), dibújese la correspondiente gráfica, tomando como abscisas las cargas progresivas y como ordenadas los alargamientos. Sobre el mismo eje de abscisas tómense las cargas regresivas con las ordenadas correspondientes y trácese la curva así obtenida. El conjunto de ambas curvas, cuyo único punto común es el de abscisa máxima, pone de manifiesto la histeresis elástica del hilo empleado en lo que respecta al alargamiento.

DETERMINACION DEL MODULO DE YOUNG DE UN ALAMBRE

Para los hilos elásticos, el alargamiento Δl , dentro de ciertos límites, viene dado por la fórmula $\Delta l = (1/E)Pl/s$, donde l es la longitud inicial del hilo, s es la sección del mismo, E su módulo Young y P la fuerza de tracción.

Como los alargamientos son en general muy pequeños, deben medirse por un procedimiento suficientemente preciso. Uno de los aparatos usados para ello es el extensómetro. Consta de un soporte fijo AB de donde penden dos alambres; el hilo de acero AA' sirve de longitud de referencia y se mantiene tenso mediante un peso constante. El hilo en estudio BB' se mantiene también tenso verticalmente y paralelo al de acero. Ambos terminan en el bastidor A'B' que es articulado y lleva un nivel de burbuja N, uno de cuyos extremos va sujeto al eje PD y el otro se apoya en la punta del tornillos micrométrico T que permite ponerlo horizontal. Los ganchos G y G' sirven para colgar pesos.



a) Determínese la precisión que puede alcanzarse con el tornillo micrométrico. Con un palmer, háganse las medidas del diámetro del alambre, en distintos puntos del mismo y calcúlese la sección media.

b) Cuélguese el peso que lleva el aparato en G. La longitud del hilo en estudio BB', que muy aproximadamente es igual a la del AA', será suministrada por el Profesor. Para asegurarse de que BB' está tenso, cuélguese en G' un peso de 500 g. Nivélese entonces con T.

c) Auméntese el peso en G' de 200 en 200 g; el alargamiento inclinará el nivel N, cuya horizontal se restablece con T, después de cada adición de peso. Léase el micrómetro una vez horizontal N. Háganse series de observaciones hasta un total de g y después repítanse con carga decreciente, tal como se ha descrito en el apartado b) de la práctica anterior.

d) Calcúlese el módulo de Young y trácese la curva pesos-alargamientos.

TENSION SUPERFICIAL DEL AGUA.

Si es σ la tensión superficial de un líquido, la fuerza $F=mg$ necesaria para despegar un anillo circular de longitud $l=2\pi r$ (r = radio del anillo) es $mg = 4\pi r\sigma$. Si se conocen el radio del anillo y las pesas m necesarias para provocar el despegue, así como el valor de la aceleración de la gravedad en el lugar del experimento (en Barcelona, es $g=980,2 \text{ cm/seg}^2$), puede calcularse la tensión superficial del líquido empleado en el experimento.

Se mide con un calibre el diámetro del anillo del bastidor a utilizar y se deduce r .

El valor de m se puede determinar mediante la balanza hidrostática o con el tensímetro.

Si se utiliza la balanza hidrostática, se cuelga dicho bastidor debajo de uno de los platillos y en el otro platillo, como tara, se coloca una pesa de 50 g. Se equilibra la balanza añadiendo pesas en el platillo del bastidor. Sea m_1 la masa de estas últimas. Se

coloca debajo del anillo un vaso con agua suficiente para que, con la balanza sin disparar, el plano del anillo quede sumergido a un mm de distancia de la superficie libre del agua. Se quitan pesas del platillo del bastidor, de cg en cg , hasta que el anillo se desprege. Sea m_2 la masa de las pesas que han quedado en el platillo. La fuerza que ha provocado el desprege es $F = mg$, siendo $m = m_1 - m_2$.

Si se utiliza el tensímetro, se cuelga el bastidor debajo del platillo y se ajusta el contrapeso de modo que el extremo E de la palanca, en la posición de equilibrio de ésta, coincida con una división de la parte superior de la escala. Se sumerge el bastidor dentro del líquido de modo que el plano del anillo quede a un mm de distancia de la superficie libre de éste. Con cuidado se hace descender el recipiente que contiene el líquido, de modo que la superficie de éste arrastre el bastidor hacia abajo, manteniendo horizontal el anillo. Se determina la división d indicada por E, en el momento de producirse el desprege y luego, manteniendo el bastidor fuera del agua, se van poniendo pesas en el platillo hasta que E vuelva a coincidir con la división d . La masa de estas pesas es el valor m buscado.

Con los datos obtenidos se calcula el valor de σ para el agua. Se repite varias veces la operación de desprege para comprobar que el resultado obtenido es correcto. Se echan unas gotas de alcohol en el agua y se determina de nuevo la tensión superficial de esta última, observando la influencia que tienen aquellas gotas sobre el valor de σ .

VISCOSIMETRO DE ENGLER.

Este viscosímetro consiste en un recipiente de latón, destinado al líquido cuya viscosidad se busca, en cuyo fondo hay un tubo cónico de 20 mm de longitud (diámetro superior, 2,9 mm; id. inferior, 2,8 mm) que puede cerrarse con un tapón de madera dura. En el recipiente hay unas puntas metálicas que fijan el volumen de líquido que debe echarse en el recipiente. Un termómetro señala la temperatura a que se efectúa la medida. El vaso descrito va rodeado de otro, también de metal, que contiene un líquido; agua o aceite, que sirve como baño de calefacción. Un frasco aforado, recoge un volumen determinado del líquido que sale del viscosímetro.

Como las determinaciones suelen referirse a la viscosidad del agua a 25° , primero ha de calibrarse el aparato. Se limpian con cuidado el depósito y el tubo de salida. Se coloca el tapón y se llena el depósito con agua a 25° , hasta tocar las puntas indicadoras del nivel. Se quita el tapón, dejando caer el agua con el matraz aforado y se anota el tiempo necesario para que se llene.

Se repite la operación con el aceite, controlando la temperatura del mismo mediante el baño. Antes de cada determinación, conviene que las dos temperaturas (baño y depósito interior) estén estacionadas en el valor deseado.

Los resultados se expresan en unidades de viscosidad relativa al agua a 25° :

Viscosidad relativa en grados Engler =

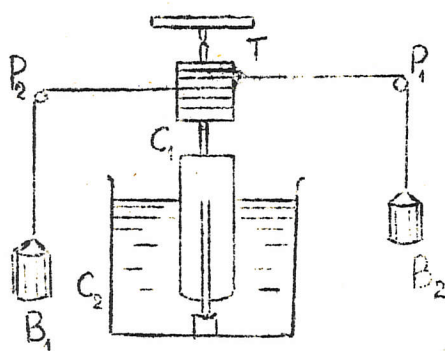
$$= \frac{\text{Seg. necesarios para el paso del líquido}}{\text{Seg. necesarios para el paso del agua a } 25^\circ}$$

Se hacen varias determinaciones de la viscosidad del aceite a distintas temperaturas y se construye una gráfica.

Obsérvese que en la fórmula anterior, se prescindió, convencionalmente, de la influencia de la densidad del líquido en la velocidad de salida de éste último.

VISCOSIMETRO DE SEARLE.

El aparato consiste en un cilindro C_1 montado sobre cojinetes cónicos que gira coaxialmente con el C_2 cuya posición puede variarse para que penetre en él más o menos el C_1 . El espacio anular entre los dos cilindros se llena con el líquido cuya viscosidad se determina.



Entre ambos existe una placa perforada para evitar que el líquido por debajo de ella sea arrastrado por el movimiento de la base del cilindro interno. El par se aplica colocando pesas iguales en los platillos B_1 y B_2 pendientes de un hilo que después de pasar por las poleas P_1 y P_2 se enrolla al tambor T de radio R . El par tiene un momento $M=2mg$, donde m es la masa de las pesas colocadas en uno de los platillos. La velocidad se determina a partir del tiempo necesario para descender una distancia dada, o contando el número de revoluciones por segundo a partir del número de

vueltas realizadas por el tambor T , que se cuentan por el número de veces que una marca hecha en el mismo pasa frente a otra marca en una placa fija.

La viscosidad se obtiene, según puede demostrarse a partir de la fórmula de Navier, mediante la ecuación

$$\eta = \frac{(b^2 - a^2)gR^2m}{2\pi a^2 b^2 (1 + K)V}$$

donde a =radio del cilindro giratorio, b =radio interior del cilindro estacionario, l =longitud del cilindro giratorio, R =radio del tambor, $V = R$ se obtiene a partir del tiempo T necesario para una revolución del cilindro móvil, y g =aceleración de la gravedad.

La corrección K , debida al arrastre del extremo del cilindro móvil sobre el líquido contenido entre la base del mismo y la placa perforada se puede obtener haciendo dos series de lecturas con distinta longitud para el cilindro móvil. Los valores de η vendrán dados en unidades absolutas de viscosidad del sistema que se emplee.

La velocidad v con que cae una pequeña esfera sólida en el seno de un líquido es constante. Dicha velocidad es función del coeficiente η de viscosidad del líquido, de la densidad ρ_0 de éste, del radio r de la esferilla, de la densidad ρ de ésta y de la aceleración g de la gravedad. La resistencia de rozamiento que el líquido opone al movimiento de la esfera vale $F = 6\pi\eta rv$ (ley de Stokes). Esta fuerza debe equilibrar el peso de la esfera que, teniendo en cuenta el empuje de Arquímedes, vale

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)g. \text{ Por tanto, tenemos: } \eta = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9v} \quad (1)$$

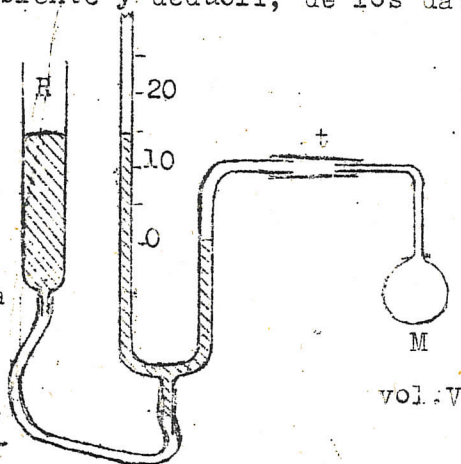
Determinense, con un palmer, los radios de las esferillas de que se disponga. Si se trata de esferas de acero, su densidad será $7,7 \text{ g/cm}^3$; si son de vidrio, la densidad será de $2,5 \text{ g/cm}^3$. Se determina, con un densímetro, la densidad del líquido a emplear, que está contenido en un tubo largo de vidrio, cerrado por su extremo inferior, colocado verticalmente. Se mide el tiempo t que tarda cada esferilla en caer, sin velocidad inicial, hasta el fondo del líquido. Sea $\frac{1}{2}$ el trayecto recorrido por la esfera, de radio r_1 , en el tiempo t_1 ; el cociente $v_1 = \frac{1}{2}/t_1$ nos dará la velocidad de dicha esfera.

Aplicando (1), haciendo $g = 980,2 \text{ cm/seg}^2$ (valor de la aceleración de la gravedad en Barcelona), se calcula el valor de η proporcionado por cada una de las esferillas y se deduce la media. Se anota la temperatura ambiente que, aproximadamente, será la del líquido estudiado.

TERMOMETRO DE AIRE

Esta práctica tiene como objeto calibrar dicho termómetro mediante los puntos 0° y 100° , aplicarlo a la medida de la temperatura ambiente y deducir, de los datos obtenidos en la calibración, el valor del coeficiente de dilatación del aire, entre 0° y 100° .

Suprimida la unión t , se coloca el balón de vidrio M en hielo fundente. Al cabo de unos 10 minutos, el aire del interior de M habrá tomado la temperatura de 0° . Se dispone el recipiente R a la altura conveniente para que el mercurio del tubo en U alcance en ambas ramas la división cero. Mediante el tubo de goma t , se une M al resto del aparato. El aire empleado como sustancia termométrica es el que está contenido en el matraz M , de volumen V , en el tubo de unión y en el tubo de la derecha que queda por encima de la división cero. El volumen v de dichos tubos constituye el espacio perjudicial y conviene que sea despreciable en comparación con V . Se introduce M en agua, se calienta ésta hasta ebullición y se va subiendo el recipiente R , a medida que la temperatura en M aumenta, para que el menisco del mercurio de la derecha de la figura esté en todo momento, próximo a la división cero. Cuando el agua ha hervido ya unos dos minutos, se enrasa exactamente dicho menisco en la división cero y se lee la altura alcanzada, sobre dicho cero, por el mercurio de la rama de la izquierda. Esta altura se reduce a cero grados, teniendo en cuenta que el coeficiente de dilatación cúbica del mercurio vale $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ grados}^{-1}$ (se prescinde de la dilatación del tubo de vidrio). Sea h_e el valor corregido de dicha altura, expresado en mm. Se determina, en mm_{Hg} , la presión atmosférica p mediante el barómetro. La presión a que está sometido el aire del matraz M , a la temperatura de ebullición del agua, es $p_e = p + h_e$. La presión que tenía a la temperatura de 0° era $p_0 = p$. Mediante la tabla III (pág. 2), se determina cuál es la temperatura de ebullición t_e del agua a la presión p señalada por el barómetro. Tendremos pues, $p_e = p_0(1 + \beta t_e)$, de donde se podrá deducir el coeficiente



$$h_e = h_0(1 + \alpha t)$$

$$h_0 = \frac{h_e}{1 + \alpha t}$$

de dilatación del aire (más exactamente, el coeficiente de aumento de presión del aire, a volumen constante).

$$\beta = \frac{p_e - p_o}{p_o t_e} \quad (1)$$

Para utilizar el termómetro así construido en la determinación de la temperatura ambiente, se bajará el nivel del recipiente R hasta conseguir que el menisco de la derecha quede unos 15 cm por debajo del cero. Se separa el balón M del agua hirviendo, se seca, y se espera a que tome la temperatura ambiente, regulando en todo momento la altura de R para evitar que penetre mercurio en M. Transcurridos unos diez minutos, se podrá ya enrasar en el cero el menisco de la derecha, y leer en el de la izquierda la altura de la columna por encima del cero. Sea h_t la longitud, en mm, de dicha columna, reducida ya a 0°. Podremos escribir: $p_t = p + h_t$; $p_t = p_o(1 + \beta t)$

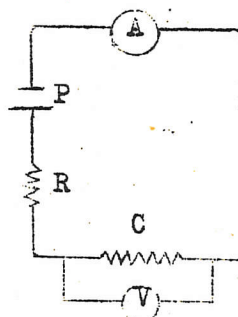
Sustituyendo β por el valor deducido de (1), y despejando t, resulta la temperatura del ambiente

$$t = \frac{p_t - p_o}{p_e - p_o} t_e \quad \text{determinada con el termómetro de aire.}$$

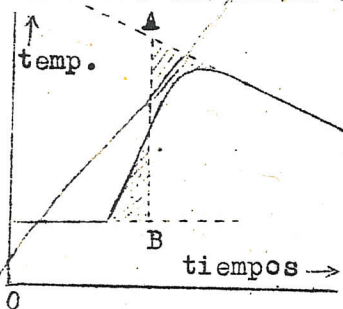
EQUIVALENTE MECANICO DE LA CALORIA

Por el método de carga constante (pág. 3) se pesa al decigramo, en una balanza de Roberval, el vaso calorimétrico, junto con el agitador. Como tara, se utiliza la pesa de 1 kg. Se ponen unos 400 g de agua destilada en el vaso y se repite la pesada.

Se realizan las conexiones indicadas en el esquema. P representa el generador (se utiliza corriente de 110 volts; R es una resistencia constituida por lámparas eléctricas; A es un amperímetro; V es un voltímetro; C es la resistencia que se va a sumergir en el calorímetro. NO SE DARA PASO A LA CORRIENTE SIN EL VISTO BUENO DEL PROFESOR. Cuidese de que, al accionar el agitador, éste no toque a la resistencia.



Agitando el calorímetro, efectúense lecturas de su temperatura, de minuto en minuto; si la marcha de la temperatura es regular, dése paso a la corriente, anotando el instante preciso en que ésta empieza a circular. Agitando constantemente, se leen, de minuto en minuto, el termómetro, el amperímetro y el voltímetro. Cuando se haya obtenido una elevación de temperatura de unos 10°, se suprime la corriente, anotando este instante. Sin dejar de agitar, se efectúan todavía unas 10 lecturas del termómetro, de minuto en minuto.



Representétese gráficamente la marcha de la temperatura del calorímetro con el tiempo. Trácese la recta AB paralela al eje de las temperaturas, de manera que las dos porciones rayadas tengan igual área. La distancia AB, medida en el eje de temperaturas, se toma como valor del aumento $\Delta\theta$ de la temperatura del calorímetro, corregido de las pérdidas por radiación. Se

tiene: $V \cdot it = J (m_1 + 0,09 m_2 + m_3) \Delta\theta \quad (1)$; con la notación siguiente:

V diferencia de potencial entre los bornes de la resistencia

i intensidad de corriente que pasa entre ellos

t número de segundos que ha durado el paso de la corriente

J equivalente mecánico que se busca

m_1 masa de agua contenida en el calorímetro

m_2 masa del vaso calorimétrico y del agitador

m_3 capacidad calorífica de la resistencia C (cuyo valor indicará el profesor)

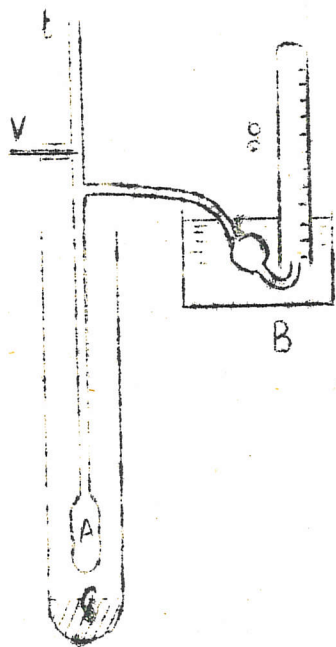
0,09 es el calor específico del latón del recipiente calorimétrico.

Si V e i no se han mantenido constantes se subdivide el tiempo t en intervalos parciales, a cada uno de los cuales se aplicará (1).

Despejando J en la expresión (1) se deduce su valor.

DENSIDAD DE UN VAPOR POR EL MÉTODO DE REYER.

En primer lugar, se comprueba que el tubo interior A está perfectamente seco; si no es así, es preciso secarlo. Se pone agua en el tubo exterior T aproximadamente hasta la línea de trazos. Se introduce el tubo interior A y se empieza a calentar el agua.



Por el método de carga constante (pág. 3) se pesa vacía, junto con su tapón, la ampolla que ha de contener la sustancia problema. Se introduce ésta en la ampolla, se coloca el tapón y se repite la pesada con la misma tara de antes. La diferencia entre las pesas necesarias para obtener el equilibrio, colocadas en el mismo platillo que la ampolla, nos dará la masa M de la sustancia que debe convertirse en vapor.

Cuando el líquido de C ha hervido durante algún tiempo, se cierran las aberturas v y t del recipiente exterior, y el tubo de desprendimiento de la derecha de la figura se mantiene sumergido en el agua de una cubeta B. Cuando ya no salen burbujas de aire (temperatura estacionaria) se introduce la ampolla tapada con la sustancia en su interior, por el extremo t, de modo que quede detenida por la varillay. Se cierra de nuevo el aparato. Sobre el extremo del tubo de desprendimiento se coloca un tubo graduado g (invertido y lleno de agua); retirando v, se deja caer la ampollita. Estas operaciones deben hacerse rápidamente, aunque con cuidado para evitar que, por enfriamiento del gas interior, pase agua desde la cubeta al interior del aparato. En especial, se procurará que no se interrumpa la ebullición del agua de C. La presencia del tapón no impedirá que la sustancia problema se vaporice y, al poco rato, se inicia la salida de burbujas del aire desalojado por el vapor. Cuando cesa el desprendimiento de burbujas en g, se quita; primeramente, el tapón t; se apaga el fuego y se determina el volumen V del aire desalojado por el vapor. Simultáneamente, se miden la altura h de la columna de agua en g, la temperatura de la misma en B y la presión atmosférica. La presión p a que está sometido el aire contenido en g se obtendrá descontando de la presión atmosférica la presión debida a la columna de agua. La densidad ρ del vapor de la sustancia empleada, relativa al aire, valdrá

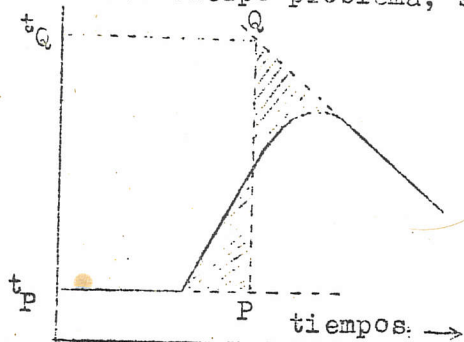
$$\rho = M \left(V \frac{p}{760 (1 + \alpha t)} 0,001293 \right)$$

CALOR ESPECÍFICO DE UN SÓLIDO POR EL MÉTODO DE LAS MEZCLAS.

Se comienza por calentar el agua del matraz que nos va a suministrar la corriente de vapor necesaria para la estufa en la que se colocará después el cuerpo. Entre tanto, se pesa el cuerpo problema por el método de carga constante (pág. 3). Sea m su masa. Se introduce dicho cuerpo en la estufa después de atarle un hilo para facilitar su introducción en el calorímetro, que se hará posteriormente. Colocando el termómetro en la estufa, se hace pasar por ésta una corriente de vapor. Se pesa el calorímetro, junto con el agitador; sea m_0 la masa total. Se pone en el calorímetro unos 500 gm³ de agua y se repite la pesada; por diferencia, se deduce la masa m_a del agua contenida en el calorímetro.

Introduciendo parcialmente el termómetro en una probeta graduada, se determina el volumen V de la parte sumergida en el agua del calorímetro. El valor en agua de todo el calorímetro será $A = m_a + 0,09 m_0 + 0,46 V$ (0,09 es el calor específico del latón; la capacidad calorífica del vidrio, por unidad de volumen, es sensiblemente igual a la del vidrio y vale 0,46).

Se monta el calorímetro y, durante los cinco minutos que preceden a la introducción del cuerpo problema, se lee, de minuto en minuto, la temperatura que señala el termómetro del calorímetro. Si el cuerpo ha permanecido ya unos 10 minutos en la estufa atravesada por la corriente de vapor, y el termómetro de la misma permanece estacionaria a una temperatura t_e , que anotamos, con ayuda del hilo se traslada rápidamente el cuerpo al calorímetro. La temperatura de éste, agitando siempre, se sigue leyendo, de minuto en minuto, durante unos 15 minutos más.



Se representa gráficamente la variación de la temperatura del calorímetro con el tiempo y se obtendrá una curva parecida a la del esquema. Se traza la ordenada PQ, tal que las áreas rayadas resulten iguales, y se determina la diferencia de temperaturas $t_Q - t_P$, que nos dará la elevación de temperatura del calorímetro, corregida de las pérdidas por radiación; si es c el calor específico del cuerpo y t_e es la temperatura inicial del mismo señalada por el termómetro de la estufa, se tiene:

$$m c (t_e - t_Q) = A (t_Q - t_P)$$

De esta igualdad se deduce el valor de c .

CALOR ESPECIFICO DE UN LIQUIDO POR EL METODO DEL ENFRIAMIENTO

Por el método de carga constante (pág. 3) se pesa el frasquito de latón E vacío. Se llena de agua destilada, sin que ésta llegue al cuello del frasco, y se pesa de nuevo contra la misma tara. La diferencia entre las pesas necesarias para obtener el equilibrio, colocadas en el platillo del frasco, nos dará la masa m de agua.

Se coloca en el frasquito un tapón atravesado por un termómetro T y se calienta el frasco, al baño maría, hasta unos 50° .

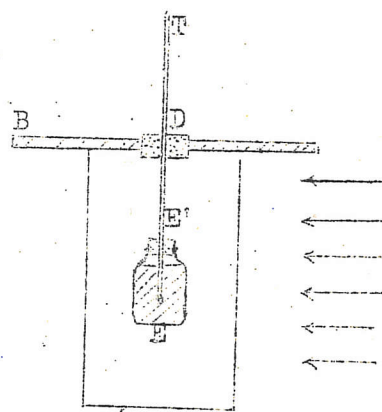
Se dispone el frasco como indica la figura (en donde A es un depósito ennegrecido por dentro y plateado por fuera; B es un disco de madera, T es el termómetro; D y E' son tapones de corcho) y se determina el tiempo t necesario para que la temperatura señalada por T disminuya desde 40° a 30° .

Se vacía el frasquito, se seca bien, se equilibra en la balanza contra la tara de antes; se llena con un volumen del líquido problema aproximadamente igual al del agua antes empleada, y se repite la pesada contra la misma tara. Sea m' la masa del líquido.

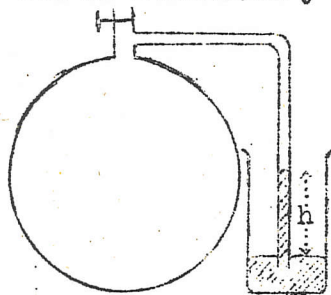
Se coloca el tapón con el termómetro, se calienta el frasco como se hizo anteriormente y hasta la misma temperatura, se dispone, como antes, en el centro del depósito y se determina el tiempo t' que tarda el termómetro en experimentar el mismo descenso de temperatura que había sufrido el agua, colocada en idénticas condiciones. Los tiempos que los líquidos tardan en presentar el mismo enfriamiento son proporcionales a sus capacidades caloríficas. Por tanto, tendremos:

$t/t' = (m+k)/(m'+k)$ (1), siendo c el calor específico del líquido. Para deducir c es preciso conocer el valor de k , equivalente en agua del frasquito y de la parte sumergida del termómetro T. El equivalente en agua del frasco se obtiene multiplicando su masa por 0,09, calor específico del latón. El equivalente en agua relativo al termómetro es igual a 0,46 veces el volumen V de la parte sumergida (véase práctica nº 16).

Conocido k , despejando c en (1), se obtendrá el calor específico del líquido estudiado.



Se experimenta con un gran balón de vidrio, provisto de una llave que comunica con la atmósfera y de un tubo manométrico, cuyo extremo se sumerge en ácido sulfúrico.



Se aspira algo de aire por la llave, para que el ácido suba por el tubo vertical y alcance cierta altura en dicho tubo. Cerrada la llave, se espera a que esta altura se mantenga estacionaria y se anota el nivel h_1 del ácido respecto a la superficie libre del vaso exterior, medido con una regla.

Se abre bruscamente la llave, durante un tiempo muy corto, y se cierra inmediatamente. Al abrir la llave, habrá entrado aire en el balón, tendiendo a restablecer la presión atmosférica, es decir, comprimiendo el aire del interior. Esta compresión es casi rigurosamente adiabática porque se produce tan deprisa que el intercambio de calor entre el aire y las paredes del balón es despreciable. Por tanto, al abrir la llave observaremos que el nivel del sulfúrico del tubo desciende. Sea h_2 la altura mínima alcanzada.

Sin tocar la llave, se espera a que el sistema equilibre su temperatura con el ambiente; es decir, se espera a que el conjunto pierda el calor desarrollado en la expansión. El aire se enfriará y el sulfúrico ascenderá por el tubo hasta quedar estacionario a una altura h_3 , evidentemente inferior a la h_1 de partida.

Con los datos obtenidos, puede calcularse cuál es la relación entre los calores específicos del aire a presión constante y a volumen constante, mediante la fórmula de Clément-Desormes :

$$C_p/C_v = (h_1 - h_2)/(h_1 - h_3)$$

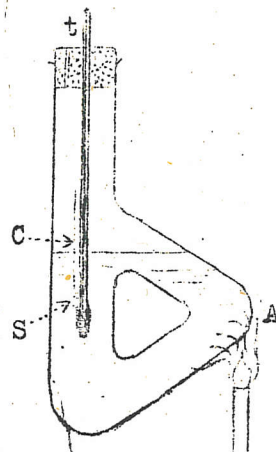
Se repetirá la experiencia, partiendo de alturas h_1 diferentes, es decir, empleando diversos grados de expansión, y se compararán los resultados obtenidos.

PUNTOS DE FUSION CON EL APARATO DE THIELE

Se pone ácido sulfúrico en el aparato de Thiele, hasta el nivel indicado en la figura adjunta.

Preparación de tubos capilares: Se calienta con la llama del mechero Bunsen un tubo de ensayo de paredes delgadas, que se hace girar continuamente. Cuando el vidrio está blando, se saca de la llama y se estira inmediatamente para obtener un largo tubo capilar de paredes muy delgadas. Con los dedos, se cortan trocitos del capilar, de 4 ó 5 cm de longitud, en las regiones cuyo diámetro sea de un milímetro, o algo menos. Se cierra una de las extremidades de cada tubito.

Se reduce a polvo fino la substancia problema, que debe estar bien seca. En uno de los capilares antes preparados, se introduce una pequeña cantidad del polvo; para ello el tubito debe estar bien seco. Por medio de suaves golpecitos se consigue que la substancia descienda hasta el extremo cerrado; es preciso que ésta ocupe 2 ó 3 mm de la longitud del tubito.



Se coloca el capilar C con la substancia S al lado del termómetro t, (previamente mojado en sulfúrico por su parte inferior para que el tubito se mantenga unido por simple adherencia, y previa colocación de un tapón adecuado, que debe estar provisto de una ranura que permita circular el aire) y se dispone el conjunto como indica el esquema. Calentando con el mechero Bunsen la parte curva A, se observa el termómetro t. Cuando éste señale una temperatura aproximadamente inferior en 10° al punto de fusión buscado, se calienta muy lentamente. En el baño se produce una corriente de convección que garantiza la uniformidad de temperaturas. Cuando la substancia funde cambia de aspecto, volviéndose líquida y transparente. Se intermite la temperatura en t y se obtiene así el punto de fusión de la sustancia, generalmente, con error no superior a medio grado, aproximación suficiente en la práctica.

Conviene que el ácido del baño sea concentrado e incoloro.

tancia funde cambia de aspecto, volviéndose líquida y transparente. Se lee inmediatamente la temperatura en t y se obtiene así el punto de fusión de la sustancia, generalmente con error no superior a medio grado, aproximación suficiente en la práctica.

Conviene que el ácido del baño sea concentrado e incoloro.

CALOR DE FUSION DEL HIELO

Se utilizará el método de las mezclas, empleando como recipiente calorimétrico un vaso Dewar.

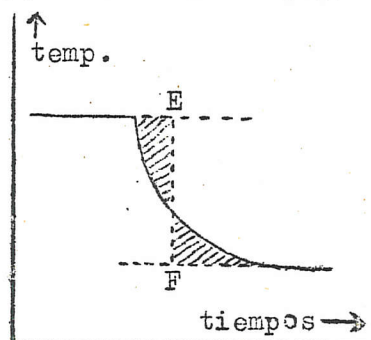
En primer lugar, determínese el valor en agua A del vaso calorimétrico y de su termómetro. Se ponen en dicho vaso unos 450 cm^3 de agua a unos 50° . Se lee la temperatura, de medio en medio minuto, agitando sin cesar. Cuando la temperatura permanezca sensiblemente estacionaria (sea ésta t_1), se añaden 150 cm^3 de agua fría de temperatura t_2 y, agitando siempre, se sigue leyendo la temperatura, de medio en medio minuto, hasta llegar a un valor estacionario t_3 . Se tendrá:

$$(A + 450)(t_1 - t_3) = 150(t_3 - t_2), \text{ de donde se deduce } A.$$

En una balanza de Roberval, se pesa el vaso calorimétrico, junto con el agua que contiene y con el termómetro,

Durante unos cinco minutos, se lee la temperatura del calorímetro, de medio en medio minuto. Se echa en el calorímetro un pedazo de hielo (que se seca con papel de filtro inmediatamente antes del lanzamiento). No descuidando la agitación, se sigue leyendo la temperatura cada medio minuto hasta llegar a un valor sensiblemente estacionario. Se vuelve a pesar el calorímetro con toda el agua que contiene y con el termómetro. Por diferencia respecto a la pesada anterior, se deduce la masa m del hielo empleado.

Se construye sobre papel milimétrico la curva de variación de la temperatura con el tiempo, que será de la forma indicada en el esquema. Se traza la ordenada EF , de modo que las dos áreas rayadas tengan igual área y se toma como descenso de temperatura, corregido de las pérdidas por radiación, el determinado por el segmento EF sobre el eje de temperaturas. Con los datos obtenidos se calcula el calor de fusión L del hielo, teniendo en cuenta que el calor que ha perdido el agua del calorímetro se ha empleado en fundir el hielo y en calentar el agua resultante de la fusión del mismo.



CALOR DE VAPORIZACION DEL AGUA

Para determinar el calor de vaporización, mediremos el calor de condensación que evidentemente, es igual y de signo contrario al primero.

Se utiliza el dispositivo del esquema adjunto; M es un matraz en el que se hace hervir el agua; C es el calorímetro en donde se condensará el vapor; R es un recipiente que recoge el agua que se condensa por el camino y evita que pase al calorímetro; a éste llega únicamente vapor de agua.

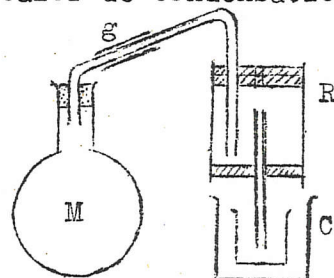
Suprimida la conexión g , se calienta agua en el matraz M . Entretanto, se pone el recipiente interior del vaso calorimétrico en uno de los platillos de una balanza y en el otro se coloca como tara una pesa de 1 kg (balanza de Roberval). En el platillo del calorímetro se añaden las pesas m_1 necesarias para restablecer el equilibrio. Se tiene:

$$\text{tara} = \text{calorímetro} + m_1$$

Se ponen en el vaso calorimétrico unos 500 g de agua, y se repite la pesada. Se tendrá:

$$\text{tara} = \text{calorímetro} + \text{agua} + m_2$$

Se quita el calorímetro y se equilibra de nuevo; por tanto, $\text{tara} = m_3$.



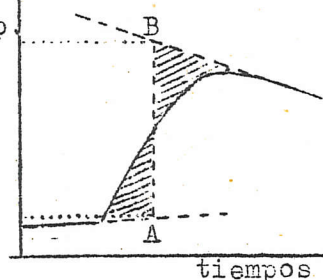
Se monta el calorímetro, con suterómetro, y, agitando constantemente el agua, si mide la temperatura a intervalos de medio minuto. Cuando hierve el agua del matraz M, se conecta el tubo de goma g y se sigue anotando la temperatura del agua del calorímetro, sin dejar de agitar. Cuando se haya alcanzado un aumento de temperatura de unos 5 grados, se deja de calentar el matraz, con lo cual cesa la ebullición, se desconecta el tubo g y, siempre agitando, se sigue leyendo la temperatura del calorímetro, de medio en medio minuto, durante unos 10 minutos. Se desmonta el calorímetro, se espera a que tome la temperatura ambiente y se pesa de nuevo contra la misma tara de antes. Se tendrá:

$$\text{tara} = \text{calorímetro} + \text{agua} + \text{agua condensada} + m_4$$

Para determinar el valor en agua del termómetro, se multiplica por 0,46 el volumen V de la parte que estaba sumergida (véase práctica nº 16).

Se dibuja sobre papel milimétrico la marcha de la temperatura con el tiempo, tomando éste como abscisa y la temperatura como ordenada. Se obtendrá una curva de la forma indicada en el esquema adjunto. Se traza la ordenada AB, de modo que las áreas rayadas tengan igual área. El segmento AB, proyectado sobre el eje de temperaturas, nos dará la elevación de temperatura, corregida de las pérdidas por radiación: $t_B - t_A$. La masa de vapor condensado es $m_v = m_2 - m_4$. La masa de agua utilizada como líquido calorimétrico es

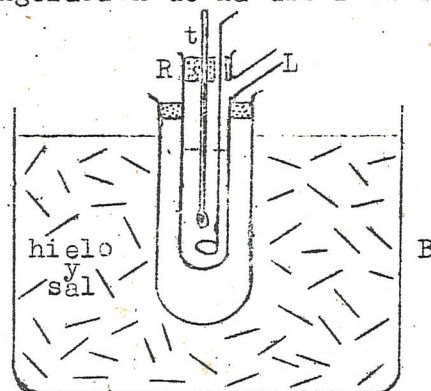
$m = m_1 - m_2$. La masa del vaso calorimétrico es $m_c = m_3 - m_1$. Teniendo en cuenta que el calor específico del cobre que constituye el calorímetro vale 0,09, se tiene que el valor en agua total del mismo vale $A = m + 0,09 m_c + 0,46 V$. Además, se tiene $m_v L + m_v (t_i - t_B) = A (t_B - t_A)$, siendo L el calor de vaporización del agua y t_i la temperatura del vapor de agua al entrar en el calorímetro, que coincide con la temperatura t_i de ebullición del agua a la presión atmosférica, señalada por el barómetro, temperatura que se deduce consultando la tabla III (pág. 2). Despejando L en la última de las expresiones anteriormente escritas, se calculará su valor.



CRIOSCOPIA

El descenso Δt en el punto de congelación provocado en un líquido por la disolución en el mismo de una sustancia no ionizable es proporcional a la concentración molar de la sustancia disuelta. Se verifica pues que $\Delta t = k \cdot c / M$, siendo c la concentración (gramos de cuerpo disuelto en cada 1000 g de disolvente), M el peso molecular del cuerpo disuelto, y k la llamada "depresión molecular del disolvente", que, para el agua, vale $1,86^\circ$. Esto significa que disolviendo en 1000 g de agua un mol de cualquier sustancia no ionizable, el punto de congelación de la disolución resulta ser $-1,86^\circ$.

En el recipiente exterior B se introducen capas de hielo machacado alternando con capas de sal común y en el recipiente interior R se ponen 30 cm³ de agua destilada; se agita constantemente y, cuando el extremo de la columna de mercurio entra en la escala se comprueba que el enfriamiento es regular hasta que llega un instante en que, por empezar la solidificación del agua de R, el termómetro introducido en este recipiente, representado por t, señala un aumento de la temperatura, a causa del calor de fusión



desprendido al solidificarse bruscamente una parte del agua que estaba sobrefundida. Cuando el termómetro t se estaciona, se lee la temperatura. El termómetro no vuelve a bajar hasta que ha transcurrido un intervalo de tiempo suficiente para que se solidifique toda el agua de R. Conviene hacer varias determinaciones, para lo cual basta sacar el tubo R, dejarlo calentar un poco al aire ambiente, hasta que fundan todos

los cristallitos de hielo, y colocarlo de nuevo en el baño.

Previamente, se ha llenado y pesado un tubito adecuado, conteniendo la sustancia que ha de disolverse en el agua; dicho tubo, una vez destapado, se introduce por la tubuladura lateral L y, golpeándolo suavemente, se hace caer la sustancia en el recinto R, procurando que no quede polvo adherido a las paredes interiores del recipiente R. Se pesa de nuevo el tubo que contenía la sustancia y, por diferencia de pesadas se tendrá la cantidad de sustancia que se ha disuelto. Siguiendo una marcha análoga a la utilizada para el disolvente puro, se determina el punto de congelación de la disolución. Es imprescindible que la agitación no se interrumpa.

Con los datos obtenidos se calculará el peso molecular M de la sustancia.

HUMEDAD ATMOSFÉRICA

Decimos que "el aire es seco" cuando la evaporación se produce rápidamente. La sequedad del aire no depende sólo de la cantidad de vapor de agua que contiene sino también de la diferencia entre la presión de vapor saturante E a la temperatura ambiente t y la presión de vapor e que existe en la atmósfera. El aire nos parecerá seco o húmedo, según que E-e sea grande o pequeña. Se denomina estado higrométrico, o humedad relativa a la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en un cierto volumen de aire y la que existiría en el mismo volumen si el aire estuviese saturado a la misma temperatura; la humedad relativa equivale pues a la relación e/E, pero suele medirse en % y se expresa por $U = 100 e/E$ (1).

Psicrómetro. Sirve para determinar U y está formado por un termómetro ordinario (llamado termómetro seco) que da la temperatura del aire y otro termómetro idéntico al primero cuyo depósito está rodeado por una muselina empapada en agua (termómetro húmedo) cuya evaporación es tanto más activa cuanto más lejos de la saturación está el aire. Esta evaporación provoca un enfriamiento en el depósito y el termómetro húmedo señala una temperatura t' inferior a la del seco t. En el aspirópsicrómetro, la evaporación de la muselina se activa mediante la corriente de aire de un ventilador. Si es E' la presión de vapor saturante a la temperatura del termómetro húmedo t' , la presión de vapor e existente en la atmósfera en el momento de la observación es

$$e = E' - \frac{p}{755} (t - t') \quad (2)$$

si se trata de un aspirópsicrómetro.

Si se trata de un psicrómetro ordinario, basta reemplazar el divisor 755 por 630. En (2), p representa la presión atmosférica. Todas las presiones se suponen expresadas en tor. (Tenemos: 1 tor = 1 mm_{Hg} reducido a 0° y a la gravedad normal.)

Se opera del modo que sigue: Se humedece la muselina, se da cuerda al ventilador (si se trata de un aspirópsicrómetro) y, después de esperar unos minutos, para que la temperatura quede estacionaria, se leen, uno tras otro, las temperaturas t y t' indicadas por los dos termómetros seco y húmedo. Mediante unas tablas se averiguan los valores E y E' de las presiones saturantes del vapor de agua a dichas temperaturas (tabla II, pág. 2). Se introducen dichos valores en (2), substituyendo p por un valor aproximado de la presión atmosférica. En Barcelona, basta poner en lugar de p el valor medio de la presión, que es de 755 tor. Se deduce así el valor e de la presión de vapor existente en el aire. Mediante (1) se calcula la humedad relativa.

Se denomina punto de rocío aquella temperatura para la cual la presión de vapor e que existe en el aire en un instante dado, se convertiría en presión saturante.

Determinese el punto de rocío del aire; para ello, basta consultar la tabla II y ver qué temperatura corresponde al valor de e que hayamos encontrado con el psicrómetro o el aspirópsicrómetro.

Higrómetro condensación. Al enfriar progresivamente un cuerpo en el seno de la atmósfera, se condensará el vapor sobre él en el instante en que la temperatura del cuerpo corresponda al punto de rocío. Si, mediante un termómetro, conocemos la temperatura del cuerpo, podremos deducir el punto de rocío del aire circundante. Si,

además, es conocida la temperatura del aire, tenemos todos los datos para determinar tanto la presión de vapor existente en la atmósfera, como la humedad relativa.

Se opera así: Se vierte éter en el interior del vaso prismático, por el orificio que tiene en la parte superior, que, además, sirve para introducir el termómetro. Mediante una pera de goma, se hace pasar a través del éter una corriente de aire; esta corriente acelera la evaporación y provoca un fuerte enfriamiento en el líquido y en las paredes del recipiente. Se vigila el termómetro, para anotar el instante preciso en que empieza a depositarse rocío en la pared de la caja, lo cual se aprecia con bastante exactitud por comparación de la superficie enfriada con la placa de metal pulimentado que rodea a dicha pared. Se interrumpe la corriente de aire con lo cual la temperatura de la caja aumenta lentamente y se lee de nuevo el termómetro en el preciso instante en que desaparece el rocío. Como punto de rocío, se toma la media de las dos temperaturas anotadas. Por otra parte, se lee la temperatura del aire ambiente.

Con los datos obtenidos, calcúlese la humedad relativa.

=====

83 21