

Instituto Nacional  
de Bachillerato  
a Distancia

**2<sup>o</sup>** B.U.P.

# Física y Química

**inbad**



**B. U. P. 2.º C U R S O**

# **Física y Química**



**Ministerio de Educación y Ciencia  
Instituto Nacional de Bachillerato a Distancia  
Apartado de Correos 7069  
MADRID**

© Ministerio de Educación y Ciencia  
Seminario de Física y Química del I.N.B.A.D.

***José Luis Hernández Pérez***  
***María Jesús Carro Martínez***  
***Carlos Parejo Farell***

2.ª Edición: marzo 1984

Edita: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia

I.S.B.N.: 84-369-1124-5 Obra Completa

I.S.B.N.: 84-369-0923-2 Tomo 2

D. Legal: M. 13390-1984

Imprime: GRAFOFFSET, S.L. - GETAFE (Madrid)

Impreso en España

# Sumario

	<i>Página</i>
TEMA 16	
Optica geométrica (I) ... ..	5
TEMA 17	
Optica geométrica (II) ... ..	51
TEMA 18	
Electrostática ... ..	89
TEMA 19	
Corriente eléctrica ... ..	119
TEMA 20	
Electromagnetismo ... ..	149
TEMA 21	
Introducción a la estructura atómico-molecular (I) ... ..	179
TEMA 22	
Introducción a la estructura atómico-molecular (II) ... ..	195
TEMA 23	
Introducción a la nomenclatura y notación química ... ..	213
TEMA 24	
Estado gaseoso ... ..	225

TEMA 25	
Leyes volumétricas de las combinaciones ... ..	275
TEMA 26	
Estado sólido y líquido ... ..	291
TEMA 27	
Disoluciones ... ..	313
TEMA 28	
Disoluciones conductoras ... ..	349
TEMA 29	
Partículas elementales y modelo atómico de Rutherford ...	377
TEMA 30	
La corteza electrónica y el Sistema Periódico ... ..	393

## TEMA 16

### OBJETIVOS

### Optica geométrica (I)

- Describir gráficamente cómo se propaga la luz (utilizando para ello un foco luminoso, dos o más diafragmas y una pantalla) y definir rayo y haz luminoso.
- Determinar el valor de la velocidad de la luz en el vacío.
- Hacer un dibujo para explicar la formación de sombra y penumbra.
- Describir las leyes de la reflexión y refracción de la luz y explicarlas gráficamente.
- Construir gráficamente la imagen de un objeto situado a cualquier distancia de un espejo plano.
- Deducir la marcha de un rayo luminoso que pasa desde un medio más refringente a otro menos refringente, y viceversa.
- Aplicar el objetivo anterior al prisma óptico y a la lámina de caras planas y paralelas.
- Aplicar las leyes de la reflexión y refracción a la resolución de problemas numéricos y gráficos.



## OBJETIVOS

- Describir gráficamente cómo se propaga la luz (utilizando para ello un foco luminoso, dos o más diafragmas y una pantalla) y definir rayo y haz luminoso.
- Memorizar el valor de la velocidad de la luz en el vacío.
- Hacer un dibujo para explicar la formación de sombra y penumbra.
- Describir las leyes de la reflexión y refracción de la luz y explicarlas gráficamente.
- Construir gráficamente la imagen de un objeto situado a cualquier distancia de un espejo plano.
- Dibujar la marcha de un rayo luminoso que pasa desde un medio más refringente a otro menos refringente, y viceversa.
- Aplicar el objetivo anterior al prisma óptico y a la lámina de caras planas y paralelas.
- Aplicar las leyes de la reflexión y refracción a la resolución de problemas numéricos y gráficos.

## **INDICE**

- 16.1 CONTENIDOS BASICOS
- 16.2 ORIENTACIONES
  - 16.2.1 Acerca del prisma óptico
  - 16.2.2 Acerca de la reflexión total
- 16.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 16.4 PROBLEMAS ADICIONALES
- 16.5 EXPERIMENTO CASERO
- 16.6 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 16.7 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 16.1 CONTENIDOS BASICOS \*

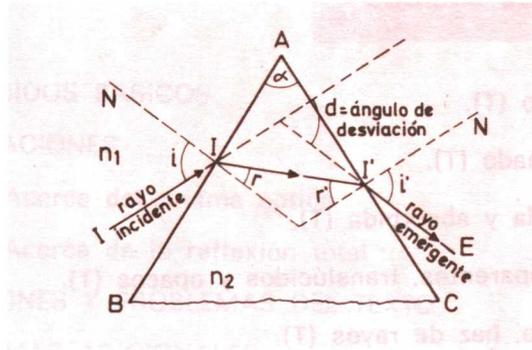
- Foco luminoso (T).
- Cuerpo iluminado (T).
- Luz transmitida y absorbida (T).
- Cuerpos transparentes, translúcidos y opacos (T).
- Rayo luminoso, haz de rayos (T).
- Sombra y penumbra (T).
- Eclipses (T).
- Velocidad de la luz (T).
- Índice de refracción: absoluto y relativo (T).
- Reflexión de la luz: difusa y regular (dirigida o especular) (T).
- Leyes de la reflexión (T).
- Espejos planos (T).
- Imagen virtual (T).
- Refracción de la luz (T).
- Leyes de la refracción. Ley de Snell (T, D).
- Angulo límite. Reflexión total (T, D).
- Láminas de caras planas y paralelas (T).
- Prisma óptico (T, D).
- Prisma de reflexión total (T, D).

## 16.2 ORIENTACIONES

### 16.2.1 Acerca del prisma óptico

La figura 16-1 corresponde a la 16-21 del libro de texto.

\* T. Texto; D. Documento.



$$n_2 > n_1$$

FIG. 16-1

El rayo incidente I, es un rayo de luz monocromática, que quiere decir luz de un solo color.

Fíjate en la cara AB de la figura: el rayo incidente forma un ángulo  $\hat{i}$ , al cual le corresponde un refractado de valor  $\hat{r}$ , de tal manera que se cumple la ley de Snell (invariante de refracción):

$$n_1 \text{ sen } \hat{i} = n_2 \text{ sen } \hat{r} \quad [1]$$

dado que  $n_2 > n_1$ ; entonces:

$$\text{sen } \hat{i} > \text{sen } \hat{r}; \text{ por } \hat{i} > \hat{r}$$

Observa en la figura 16-1 la cara AC. Sobre ella incide un rayo luminoso I-I', que forma con la normal un ángulo de incidencia  $\hat{r}'$  y al cual corresponde un refractario  $\hat{i}'$ , que, según la ley de Snell,

$$n_2 \text{ sen } \hat{r}' = n_1 \text{ sen } \hat{i}' \quad [2]$$

El ángulo  $\hat{\alpha}$  de refringencia del prisma es:

$$\hat{\alpha} = \hat{r} + \hat{r}' \quad [3]$$

lo cual puede demostrarse muy sencillamente.

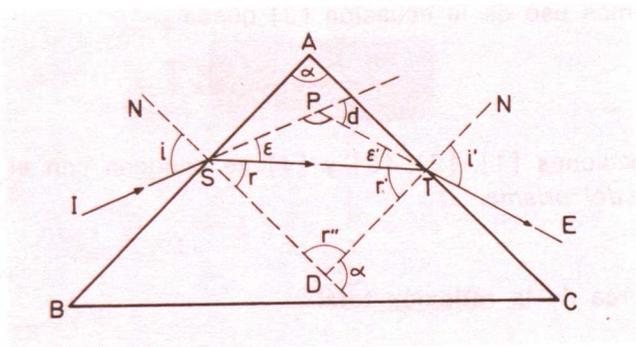


FIG. 16-2

Si te fijas en la figura 16-2 y en el triángulo DST,

$$\hat{\alpha} + \hat{r} = 180^\circ$$

$$\hat{r} + \hat{r}' + \hat{r}'' = 180^\circ$$

(la suma de los ángulos interiores de un triángulo vale  $180^\circ$ ), de ambas ecuaciones se deduce:

$$\hat{\alpha} = \hat{r} + \hat{r}'$$

La prolongación del rayo incidente y del rayo emergente forman un ángulo  $\hat{d}$ , al cual se le da el nombre de *ángulo de desviación*.

En el triángulo SPT se deduce:

$$\hat{\varepsilon} + \hat{\varepsilon}' + \hat{P} = 180^\circ ; \quad \hat{d} + \hat{P} = 180^\circ$$

luego:

$$\hat{d} = \hat{\varepsilon} + \hat{\varepsilon}'$$

y además:

$$\hat{i} = \hat{r} + \hat{\varepsilon} ; \quad \hat{\varepsilon} = \hat{i} - \hat{r}$$

$$\hat{i}' = \hat{r}' + \hat{\varepsilon}' ; \quad \hat{\varepsilon}' = \hat{i}' - \hat{r}'$$

luego:

$$\hat{d} = (\hat{i} - \hat{r}) + (\hat{i}' - \hat{r}') = \hat{i} + \hat{i}' - (\hat{r} + \hat{r}')$$

Si hacemos uso de la ecuación [3] queda:

$$\hat{d} = \hat{i} + \hat{i}' - \hat{\alpha} \quad [4]$$

Las ecuaciones [1], [2], [3] y [4] se conocen con el nombre de *ecuaciones del prisma*.

### 16.2.2 Acerca de la reflexión total

En el texto has estudiado que cuando la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a uno de menor índice, se presenta el fenómeno de la reflexión total, lo cual ocurre cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite.

El ángulo límite del vidrio-aire es  $42^\circ$ . Sobre esta base, veamos la marcha de un rayo luminoso en el caso del prisma de la figura.

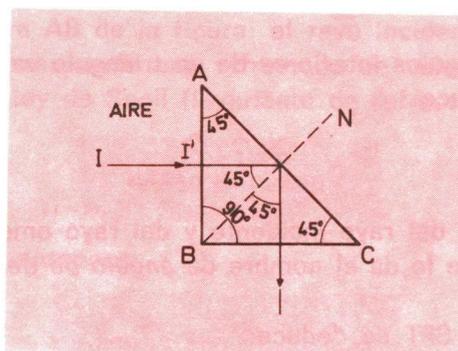


FIG. 16-3

El rayo I-I' incide en la cara AB con un ángulo  $i=0^\circ$ , luego le corresponde un refractado de  $0^\circ$ , o, en otras palabras, penetra en el prisma sin sufrir desviación. Al llegar a la cara AC, forma un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ , que es mayor que el límite ( $42^\circ$ ), por tanto, se reflejará con un ángulo igual al incidente, o sea ( $45^\circ$ ). El rayo llega finalmente a la cara BC, con un ángulo de incidencia nulo, y saldrá al aire sin sufrir desviación. Observa que en total hemos desviado  $90^\circ$  la marcha del rayo.

De este hecho se hace aplicación en algunos instrumentos ópticos, como los periscopios de los submarinos.

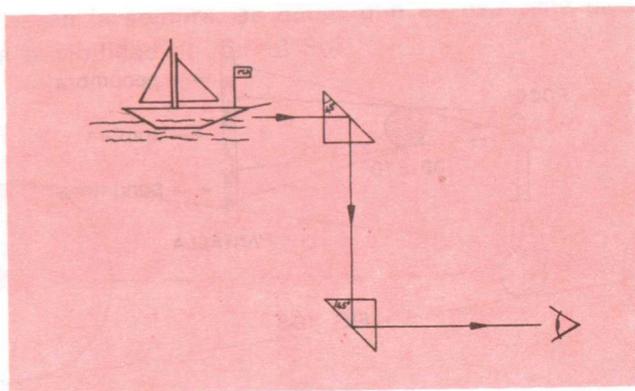


FIG. 16-4

En la figura hay un esquema del mismo. Tú ya puedes entender la marcha de la luz en él.

### 16.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

#### ● Cuestión 1

Observa las figuras *a* y *b* correspondientes a la (16-3) (tema 16 del texto). En ellas puedes ver la diferencia entre la sombra producida por un foco puntual (fig. *a*), que, como ves, es nítida, y la sombra que del mismo objeto produce un foco extenso (fig. *b*), en la que aparece rodeando la zona de sombra, otra de media luz o penumbra. Debes construir las imágenes, y de esta manera te darás cuenta de cómo se forma la zona de penumbra. El foco extenso permite que alguno de los rayos bordean el objeto, dando lugar a esa zona parcialmente iluminada.

#### ● Cuestión 2

Para que esto ocurra es necesario que el tamaño del foco extenso sea mayor que el objeto opaco. Si no ocurre esto, es decir, si el tamaño, del foco extenso es menor que el objeto opaco (puedes comprobarlo en la figura 16-5), en cualquier lugar que coloques la pantalla aparecerá una zona de sombra y una de penumbra.

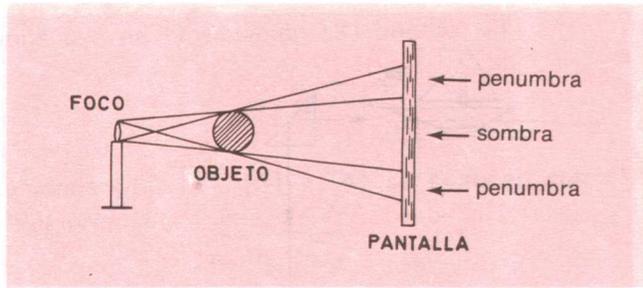


FIG. 16-5

Si el foco es mayor que el objeto, observa la figura 16-6: varás que colocando la pantaba entre A'B' y O aparece zona de sombra y de penumbra, pero colocándola más allá de O, aparece sólo zona de penumbra.

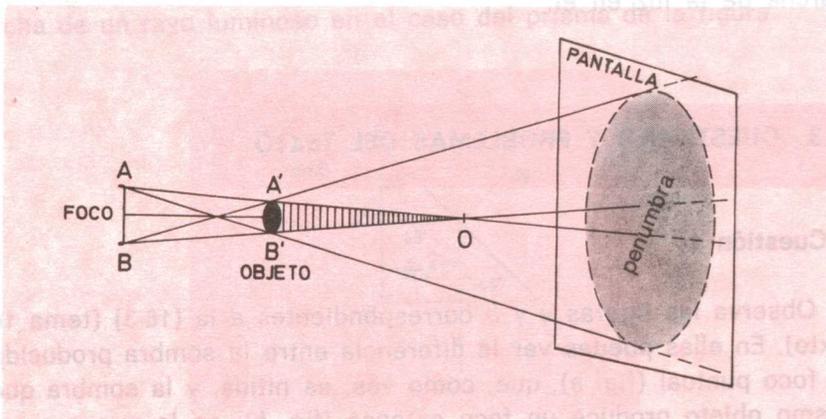


FIG. 16-6

● **Cuestión 3**

Efectivamente, se pueden producir dos tipos de eclipses de Sol, producidos por la Luna, los totales y los parciales, dependiendo de las distancias Sol-Luna y Tierra-Luna.

El Sol es el foco luminoso, la Luna el objeto y la Tierra la pantalla. El razonamiento de la cuestión 2 ya puede anticiparte la explicación de éste. Pero, dado el interés especial que ofrece la pregunta, vamos a insistir un poco sobre ello.

El eclipse total de Sol tiene lugar cuando una parte de la superficie terrestre está en la sombra, es decir, que en esa zona de la Tierra no hay ninguna posibilidad de ver el Sol.

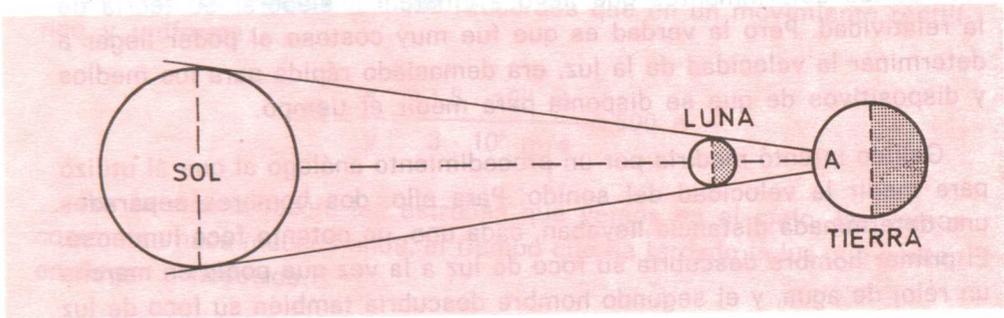


FIG. 16-7

Cuando se produce un eclipse total, en la zona A de la Tierra no puede verse el Sol (fig. 16-7).

El hecho de que se produzcan eclipses parciales se debe a que las distancias entre la Tierra y la Luna, y entre la Luna y el Sol varían, y puede ocurrir que cuando la Luna intercepte al Sol, el cono de sombra se produzca sin tocar a la Tierra; por eso un observador situado en la zona de la Tierra que corresponde al eje del Sistema, verá la Luna con un anillo de luz procedente del Sol, es decir, que ese anillo corresponde al cerco exterior del Sol (fig. 16-8). La mayor parte de los eclipses de Sol son parciales.

La existencia de los dos tipos de eclipses puso de manifiesto el hecho de que la distancia de la Luna a la Tierra o de ésta al Sol cambian.

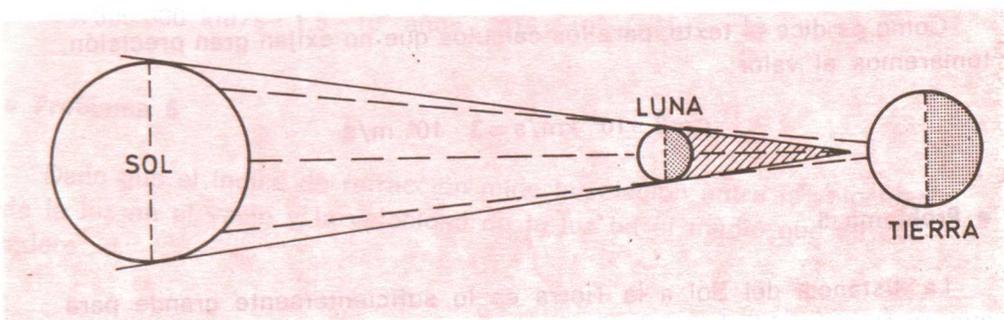


FIG. 16-8

#### ● Cuestión 4

Hoy día sabemos que la velocidad de la luz es una constante universal; su determinación fue un hecho trascendental en la Física y uno de los fuertes determinantes que llevó a Einstein a elaborar su teoría de la relatividad. Pero la verdad es que fue muy costoso el poder llegar a determinar la velocidad de la luz, era demasiado rápida para los medios y dispositivos de que se disponía para medir el tiempo.

Galileo intentó medirla por un procedimiento análogo al que él utilizó para medir la velocidad del sonido. Para ello, dos hombres separados una determinada distancia llevaban, cada uno, un potente foco luminoso. El primer hombre descubría su foco de luz a la vez que ponía en marcha un reloj de agua, y el segundo hombre descubría también su foco de luz cuando veía la luz del primero. Cuando el primer hombre veía la luz del segundo, paraba su reloj. La experiencia no dio resultado, era demasiado rápida la luz para el reloj utilizado. De todas formas, la experiencia sirvió para determinar el hecho evidente de que la luz se propagaba a tal velocidad que no se podía medir; era, por tanto, prácticamente infinita. En 1676, Roemer, a partir de las observaciones astronómicas, pudo concluir que la velocidad era finita.

En 1848, Armand Fizeau introdujo un método que tiene como base la misma idea que el estroboscopio, y logró medir la velocidad de la luz en el aire, aunque con error. Su método fue mejorado por Foucault.

Fue Michelson, en los Estados Unidos, el que logró medir la velocidad de la luz con gran exactitud. La experiencia de Michelson, en Chicago (1920), tuvo más trascendencia en la Física, como ya veremos en su momento.

La velocidad de la luz para el vacío es:

$$c = 299\,792,50 \pm 0,05 \text{ km/s}$$

Como os dice el texto, para los cálculos que no exijan gran precisión, tomaremos el valor:

$$c = 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

#### ● Problema 5

La distancia del Sol a la Tierra es lo suficientemente grande para que en su recorrido la luz invierta un determinado tiempo. Por tanto, la

puesta del Sol se realizó ya cuando nosotros la vemos. Si la distancia del Sol a la Tierra es  $1,5 \cdot 10^{11}$  metros, ¿podrías calcular cuánto tiempo hace que se realizó la puesta de Sol cuando nosotros la vemos?

Es bien fácil, basta con que recuerdes que en un movimiento rectilíneo y uniforme:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 500 \text{ s}$$

Por la misma razón, las estrellas que vemos en el cielo, las vemos como eran hace muchos años, el tiempo que ha tardado la luz que emiten en llegar a nosotros.

La distancia de la estrella más cercana —llamada Centauro— es  $4,1 \cdot 10^{16}$  metros; por tanto, el tiempo que tarda en llegar la luz que emite a la Tierra, será:

$$t = \frac{4,1 \cdot 10^{16} \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,37 \cdot 10^8 \text{ s}; \quad 1 \text{ año} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$t = 4,3 \text{ años}$$

La distancia de las estrellas es tan grande, que desde el punto de vista astronómico, el kilómetro se queda corto como unidad de medida, y por eso se emplea el «año luz», que es la distancia recorrida por la luz en un año:

$$s = 300\,000 \text{ km/s} \cdot (365 \text{ días/año} \cdot 24 \text{ horas/día} \cdot 3\,600 \text{ s/h}) = 9,45 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

A la nebulosa de Andrómeda, la luz tarda en llegar 1 500 000 años. ¿Cuál es su distancia?

$$s = 300\,000 \text{ km/s} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \text{ años} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s/año} = 1,42 \cdot 10^{19} \text{ km}$$

### ● Problema 6

Dado que el índice de refracción mide la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio que se considere:

$$n = \frac{c}{v}$$

resulta:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,4} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

### ● Problema 7

Dado que  $c = n \cdot v$ , es evidente que el índice de refracción de una sustancia es inversamente proporcional a la velocidad con que la luz se propaga en ella. Por tanto, como  $\frac{3}{2}$  es mayor que  $\frac{4}{3}$ , la luz se propagará con mayor velocidad en el agua que en el vidrio. El índice de refracción mide la refringencia; por tanto, el vidrio es más refringente que el agua.

Podemos calcular las velocidades en el vidrio y en el agua, según:

$$v_{\text{agua}} = \frac{c}{n_{\text{agua}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4/3} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{vidrio}} = \frac{c}{n_{\text{vidrio}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3/2} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

El índice de refracción del vidrio con relación al agua sería:

llamando  $\left\{ \begin{array}{l} v_1 = \text{velocidad de la luz en el agua} \\ v_2 = \text{velocidad de la luz en el vidrio} \\ n_2 = \text{índice de refracción absoluto del vidrio} \\ n_1 = \text{índice de refracción absoluto del agua} \end{array} \right.$

$$n_{2,1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3/2}{4/3} = \frac{9}{8} = 1,125$$

● Problema 8

Realmente, este problema se puede resolver geoméricamente, tal como hemos hecho en la figura 16-9.

O = Punto donde se halla el observador, que está a 1 m del espejo E.

Se traza la imagen utilizando un rayo cualquiera I, que, siguiendo las leyes de la reflexión, forma con la normal al espejo en el punto de incidencia P un ángulo  $\hat{i}$ , ángulo de incidencia. Al reflejarse lo ha de hacer formando con la normal el rayo reflejado PR, un ángulo  $\hat{r}$  tal que  $\hat{r} = \hat{i}$ .

Por otra parte, un rayo que partiendo del observador O, incida normalmente en el espejo, no sufre desviación alguna. Por tanto, el punto de confluencia de este rayo perpendicular con la prolongación del refle-

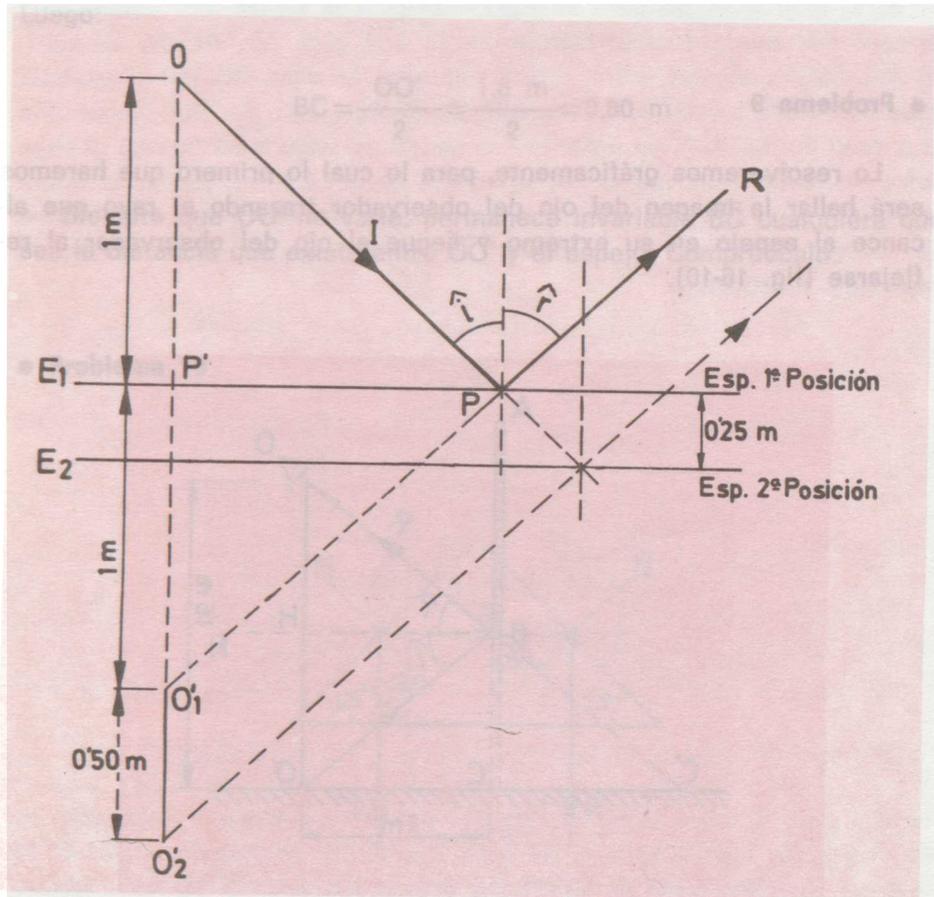


FIG. 16-9

jado PR, dará la imagen de O, que hemos llamado O', y es tal que su distancia al espejo es también un metro. Puedes mirar el punto 3.3 del texto, o simplemente observar aquí directamente que los triángulos OP'P y O'P'P son iguales, ya que son rectángulos, tienen un cateto común y además el ángulo  $\widehat{P'OP} = \widehat{P'O'P}$ , ya que  $\widehat{P'OP} = \widehat{i}$  por alternos internos, y  $\widehat{P'O'P} = \widehat{r}$  por correspondientes; por tanto, el punto imagen es simétrico del punto objeto, respecto al plano del espejo. Luego  $OO' = 2$  metros.

Cuando el espejo se desplaza 0,25 m, permaneciendo el observador en el mismo lugar, su nueva imagen estará a 1,25 m del espejo y la distancia del observador a su nueva imagen será  $1,25 + 1,25 = 2,50$  m.

La diferencia  $2,50 \text{ m} - 2 \text{ m} = 0,50 \text{ m}$  medirá el desplazamiento sufrido por la imagen. En la figura lo verás con claridad.

### ● Problema 9

Lo resolveremos gráficamente, para lo cual lo primero que haremos será hallar la imagen del ojo del observador trazando el rayo que alcance al espejo en su extremo y llegue al ojo del observador al reflejarse (fig. 16-10).

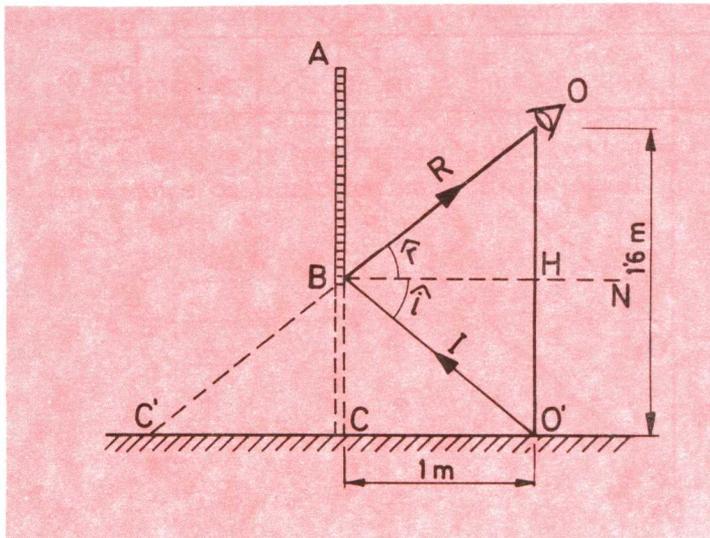


FIG. 16-10

AB = espejo

OO' = altura del ojo del observador = 1,6 m

BC = altura máxima del espejo sobre el suelo

N = normal

En la figura 16-10 se ve claramente que

HO' = BC (paralelas comprendidas entre paralelas)

HO' = HO (catetos opuestos a ángulos iguales)

Luego:

$$BC = \frac{OO'}{2} = \frac{1,6 \text{ m}}{2} = 0,80 \text{ m}$$

Siempre que OO' no varíe, permanece invariable  $\overline{BC}$  cualquiera que sea la distancia que exista entre  $\overline{OO'}$  y el espejo. Compruébalo.

● Problema 10

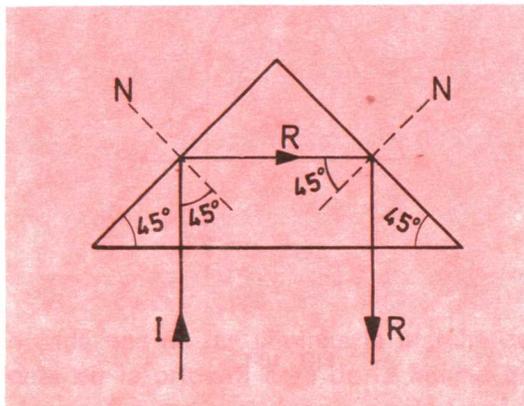


FIG. 16-11

La sección de este prisma es un triángulo isósceles. Si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite ( $42^\circ$ ), se produce la reflexión total.

Al penetrar el rayo incidente perpendicularmente a la hipotenusa, forma con la normal un ángulo de incidencia de  $45^\circ$ , superior al ángulo límite, por cuyo motivo se refleja, formando el rayo reflejado R un ángulo de  $45^\circ$  con la normal; por tanto, incide en el otro cateto del prisma con otro ángulo de  $45^\circ$ , razón por la que nuevamente sufre otra reflexión total; de esta forma sale del prisma a través de la hipotenusa, cortándola perpendicularmente, es decir, la dirección es paralela a la del rayo incidente.

● **Problema 11**

Si el ángulo límite para el vidrio del prisma es de  $42^\circ$ , resulta que el rayo que penetra perpendicularmente a la cara AB, en ella no sufrirá desviación alguna, pero cuando alcanza la cara BC del prisma lo hace formando un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ , que, por ser mayor que el ángulo límite ( $42^\circ$ ), no permitirá la salida del rayo a su través; el rayo sufre reflexión total, por tanto, se refleja en la cara BC, siendo el ángulo de reflexión igual al de incidencia, o sea, de  $60^\circ$ , y sale del prisma sin desviación, a través de la cara AC, dado que su incidencia sobre esta cara es normal.

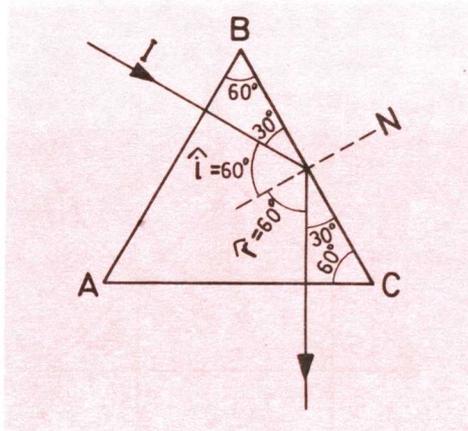


FIG. 16-12

En la figura 16-12 se ve la incidencia sobre la cara BC bajo un ángulo  $\hat{i} = 60^\circ$ , ya que dicho ángulo  $\hat{i}$ , por tener sus lados perpendiculares

a  $\overline{AB}$  y  $\overline{BC}$ , es igual al ángulo B del prisma (que, por ser un triángulo equilátero, ha de ser de  $60^\circ$ ).

● **Problema 12**

Tenemos tres láminas, A, B y C, del mismo vidrio, pero sus espesores son  $e$ ,  $e'$  y  $e''$ , respectivamente, y tales que  $e' = 2e$  y  $e'' = 3e$ .

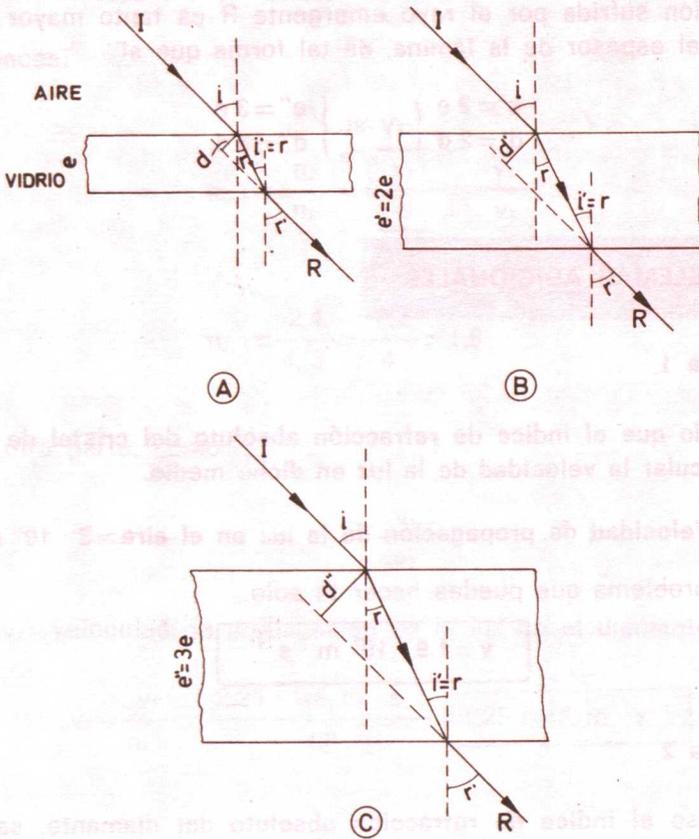


FIG. 16-13

Seguimos en cada una de las láminas la marcha de un rayo I (figura 16-13), incidente en la primera cara de la lámina bajo un ángulo de incidencia  $\hat{i}$ . En las tres caras este ángulo es de igual valor. En las tres láminas sigue el mismo proceso, sufre la primera refracción, formando

el ángulo  $\hat{r}$  de refracción, de menor valor que el  $\hat{i}$ , por ser el vidrio un medio más refringente que el aire, y llega a la segunda cara de la lámina bajo una incidencia  $\hat{i}$ , que por alterno interno es de igual valor a  $\hat{r}$ . Sufre de nuevo una refracción y sale de la lámina alejándose de la normal, ya que ahora pasa de un medio más refringente a otro menos refringente. El ángulo  $\hat{r}'$  es el de la segunda refracción, igual en las tres láminas consideradas. El rayo R procedente de la lámina es paralelo al incidente I.

El proceso es idéntico en los tres casos, pero hay una diferencia, la desviación sufrida por el rayo emergente R es tanto mayor cuanto mayor es el espesor de la lámina, de tal forma que si

$$e' = 2e \quad \left\{ \begin{array}{l} e'' = 3e \\ d'' = 3d \end{array} \right. \text{ y si } \left\{ \begin{array}{l} e'' = 3e \\ d'' = 3d \end{array} \right.$$

#### 16.4 PROBLEMAS ADICIONALES

##### ● Problema 1

Sabiendo que el índice de refracción absoluto del cristal de cuarzo es 1,6, calcular la velocidad de la luz en dicho medio.

**Dato:** Velocidad de propagación de la luz en el aire =  $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Es un problema que puedes hacer tú solo.

$$v = 1,9 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

##### ● Problema 2

Calcúlese el índice de refracción absoluto del diamante, sabiendo que la luz se propaga a su través con la velocidad de  $1,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , mientras que en el aire la velocidad de la luz es de  $3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Dado que

$$n = \frac{c}{v}$$

$$n = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 2,4$$

● Problema 3

Sabiendo que el índice de refracción absoluto del diamante es 2,4 y del agua es  $4/3$ , calcúlese el índice de refracción relativo del diamante respecto del agua.

Si la velocidad de propagación de la luz en el agua es de  $2,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , calcúlese la velocidad de propagación en el diamante.

Llamamos  $n_{\text{agua}} = n_1$  y  $n_{\text{diamante}} = n_2$ .

Entonces:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n_{2,1} = \frac{2,4}{4/3} = \frac{7,2}{4} = 1,8$$

Por otra parte, como

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2}$$

donde  $v_2$  = velocidad de propagación de la luz en el diamante:

$$v_2 = \frac{v_1}{n_{2,1}} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,8} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

● Problema 4

Calcúlese el valor del ángulo  $\hat{\alpha}$  que forma el rayo reflejado con el espejo plano, en el que ha tenido lugar la reflexión, sabiendo que el rayo incidente y el reflejado forman entre sí un ángulo de  $60^\circ$ .

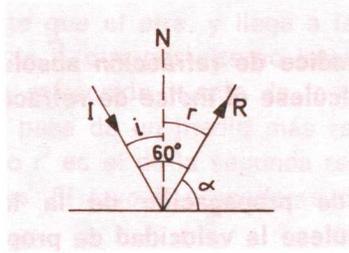


FIG. 16-14

En la figura 16-14 vemos el problema representado.

Se trata de conocer el ángulo  $\hat{\alpha}$ .

Para ello, si el rayo incidente forma con el reflejado un ángulo de  $60^\circ$ , quiere decir:

$$\hat{i} = \hat{r} = \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ$$

Dado que la normal N forma con el espejo un ángulo de  $90^\circ$ , resulta:

$$\hat{\alpha} = 90^\circ - \hat{r} = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

### ● Problema 5

**Deseamos conocer el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción de un rayo luminoso que, procedente del aire, penetra en un líquido de índice de refracción 1,3270.**

**Dato:** La suma del ángulo de incidencia y del ángulo de refracción vale  $90^\circ$ .

Aplicando la ley de la refracción:

$$n = \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = 1,327$$

Además, sabemos que  $\hat{i} + \hat{r} = 90^\circ$ , luego si son complementarios se cumplirá que:

$$\cos \hat{i} = \text{sen } \hat{r}$$

Por tanto:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{cos } \hat{i}} = \text{tag } i$$

$$\text{tag } \hat{i} = 1,327 ; \quad \hat{i} = 53^\circ ; \quad \hat{r} = 90^\circ - \hat{i} = 37^\circ$$

● Problema 6

En el seno del agua (superficie horizontal) introducimos un bloque de vidrio, de índice de refracción igual a  $3/2$ . La luz procedente del aire llega a la superficie del agua y se refracta, alcanzando el rayo refractado la superficie del vidrio, en la cual sufre una nueva refracción. Se desea saber cuánto vale el ángulo  $\hat{e}$  de refracción en el vidrio. El ángulo de incidencia en el agua es de  $60^\circ$ . Constrúyase la marcha del rayo. Para ello damos como dato adicional que el índice de refracción del vidrio es mayor que el del agua.

En la figura 16-15 hemos dibujado la marcha del rayo incidente I.

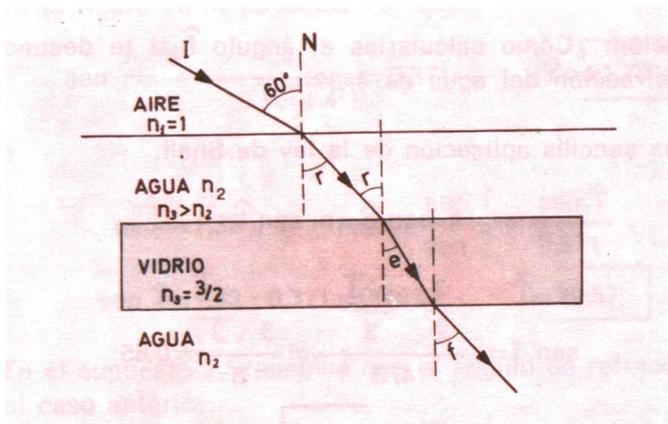


FIG. 16-15

Como  $n_2 > n_1$ , la primera refracción en la superficie del agua tiene lugar acercándose a la normal. A su vez, cuando el rayo procedente del agua alcanza la superficie del vidrio, sufre una nueva refracción, y dado que  $n_3 > n_2$ , se formará un ángulo de refracción  $\hat{e}$  (que es el que tenemos que calcular) menor que el de incidencia  $\hat{r}$ .

Por último, el rayo atraviesa el vidrio y vuelve a refractarse al llegar de nuevo al agua, en este caso alejándose de la normal, formando el ángulo  $\hat{f}$ , que es igual al  $\hat{r}$ .

*Cálculo del ángulo  $\hat{e}$ :*

Aplicamos la ley de Snell a la primera y a la segunda refracción:

$$\left. \begin{array}{l} n_1 \operatorname{sen} \hat{i} = n_2 \operatorname{sen} \hat{r} \\ n_2 \operatorname{sen} \hat{r} = n_3 \operatorname{sen} \hat{e} \end{array} \right\} \text{ de donde se deduce: } n_1 \operatorname{sen} \hat{i} = n_3 \operatorname{sen} \hat{e}$$

donde:

$$n_1 = \text{índice de refracción del aire} = 1$$

$$i = 60^\circ$$

$$n_3 = \text{índice de refracción del vidrio} = 3/2$$

Sustituyendo:

$$\operatorname{sen} e = \frac{\operatorname{sen} 60}{3/2} = \frac{\sqrt{3}/2}{3/2} = \frac{\sqrt{3}}{3}; \quad \hat{e} = 35,26^\circ$$

**Observación:** ¿Cómo calcularías el ángulo  $\hat{f}$  si te decimos que el índice de refracción del agua es  $4/3$ ?

Sería una sencilla aplicación de la ley de Snell:

$$n_3 \operatorname{sen} \hat{e} = n_2 \operatorname{sen} \hat{f}$$

$$\operatorname{sen} f = \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}}{4/3} = \frac{3 \sqrt{3}}{8} = 0,65$$

$$f = 40,5^\circ$$

### ● Problema 7

1.º Una vasija rectangular de 10 cm de profundidad se llena de agua hasta el mismo borde. Un rayo de luz entra a la superficie del agua justo en el punto que toca a la pared lateral. El rayo se refracta y toca

en el fondo del tanque a una distancia de 4 cm de la pared lateral. Sabiendo que el índice de refracción para el agua es 1,33, calcúlese el ángulo de refracción y el ángulo de incidencia.

2.º En el supuesto de que la misma vasija se llene con un líquido desconocido, se observa que el rayo refractado toca en el fondo en el mismo lugar que anteriormente, en el caso del agua; si el ángulo de incidencia es de 45º, ¿cuál es el índice de refracción del líquido?

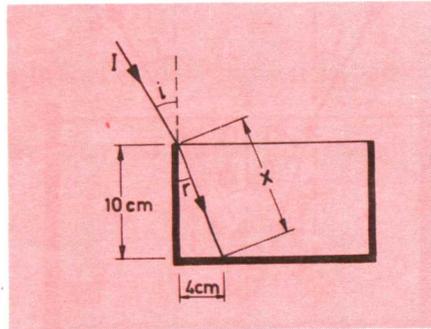


FIG. 16-16

1.º En la figura 16-16 podemos ver que:

$$\text{sen } \hat{r} = \frac{4}{x} = \frac{4}{\sqrt{10^2 + 4^2}} = 0,371 ; \quad \hat{r} = 21,78^\circ$$

Como

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 1,33 ; \quad n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{\text{sen } \hat{i}}{0,371} ,$$

$$\text{sen } \hat{i} = 1,33 \cdot 0,371 = 0,493 ; \quad \hat{i} = 29,57^\circ$$

2.º En el supuesto 2.º tenemos que el ángulo de refracción es igual que en el caso anterior:

$$n_x = \frac{\text{sen } 45^\circ}{\text{sen } 21,78^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{0,371} = 1,91$$

### ● Problema 8

Tenemos una vasija rectangular llena de agua. En ella incide un rayo de luz, siendo el ángulo de incidencia de 30º. El rayo se refracta y llega

al fondo de la vasija, formado por un espejo. El rayo refractado se refleja en el espejo y llega de nuevo a la superficie del agua, donde nuevamente se refracta. Dibuja la marcha de toda la trayectoria seguida por el rayo incidente. ¿Cuánto vale el ángulo que forma el rayo incidente que entra en el agua con el emergente refractado que sale de ella?

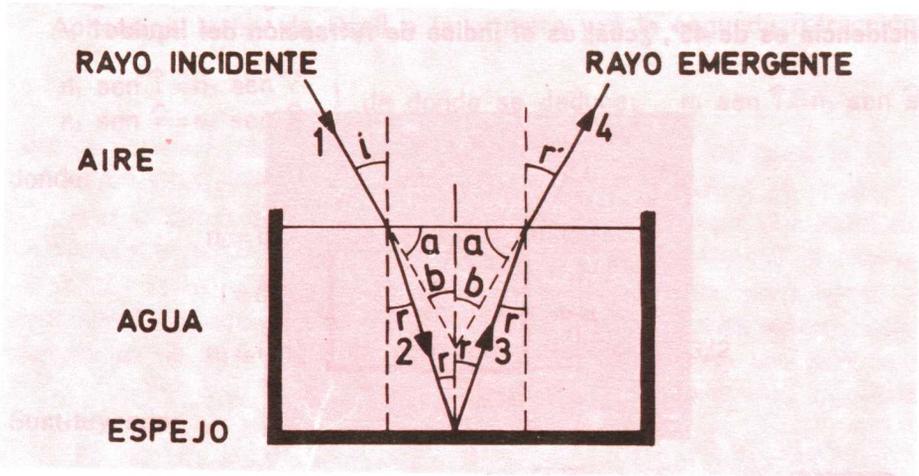


FIG. 16-17

En la figura 16-17 el rayo incidente, con un ángulo de incidencia  $\hat{i} = 30^\circ$  se refracta en la superficie del agua formando un ángulo de refracción  $\hat{r}$ , que ha de ser menor de  $30^\circ$ , ya que incide en un medio más refringente. El rayo refractado (2 en la figura) llega al fondo de la vasija, que como es un espejo, permite la reflexión del rayo 2, formándose el rayo 3 reflejado. El rayo 2 incide en el espejo con un ángulo de incidencia que será igual al  $\hat{r}$ , por alterno interno. A su vez, el rayo 3 reflejado sale formando con la normal un ángulo de reflexión igual al incidente, por tanto, el ángulo será también  $\hat{r}$ , y llega a la superficie del agua bajo un ángulo de incidencia que será también  $\hat{r}$  (alterno interno con el de reflexión), entonces se refracta formando con la normal un ángulo de refracción igual al primitivo incidente  $\hat{r}' = \hat{i} = 30^\circ$ .

Fíjate en la figura:

$$\hat{i} + 90^\circ + \hat{a} = 180^\circ, \text{ luego } \hat{a} = 60^\circ$$

$$\hat{b} + 90^\circ + \hat{a} = 180^\circ, \text{ luego } \hat{b} = 30^\circ$$

El ángulo que nos piden es  $\hat{b} + \hat{b} = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$ .

● Problema 9

Sabiendo que el índice de refracción para el aire  $n=1$ , y para el agua 1,33, calcular el ángulo límite para el sistema agua-aire. Calcular también el ángulo límite para el sistema vidrio-agua, sabiendo que  $n_{\text{vidrio}}=1,5$ .

El ángulo límite es aquel ángulo de incidencia para el cual corresponde un refractado de  $90^\circ$ .

La luz tiene que proceder del medio más refringente, dado que:

El índice de refracción del medio (2) respecto al medio (1) se expresa por:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2}$$

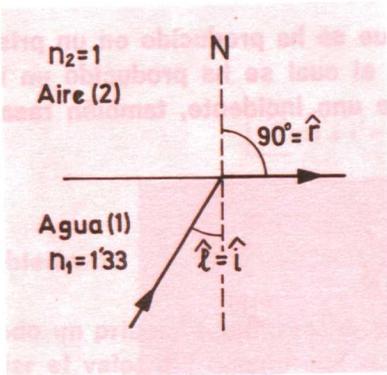


FIG. 16-18

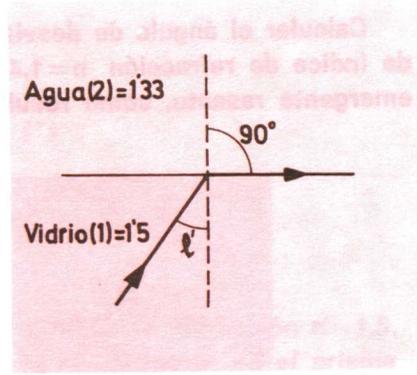


FIG. 16-19

Primer caso. Figura 16-18

$$n_{2,1} = \frac{1}{1,33}$$

luego  $n_{2,1} < 1$ .

Por tanto,  $\widehat{i} < \widehat{f}$ ,  
 luego  $\widehat{i} < \widehat{r}$

$$\widehat{r} = \widehat{f} = 90^\circ; \widehat{i} = \widehat{\ell}$$

$$\frac{\widehat{r}}{\widehat{\ell}} = \frac{1}{1,33}$$

$$\widehat{\ell} = 0,752; \quad \widehat{\ell} = 48,8^\circ$$

Segundo caso. Figura 16-19

$$n_2 \widehat{r} = \frac{\widehat{\ell}}{\widehat{f}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{1,5}$$

$$\widehat{r} = \frac{1,33}{1,5} = 0,886; \quad \widehat{r} = 62,5^\circ$$

● Problema 10

Calcular el ángulo de desviación que se ha producido en un prisma, de índice de refracción  $n=1,414$ , en el cual se ha producido un rayo emergente rasante, como resultado de uno incidente, también rasante.

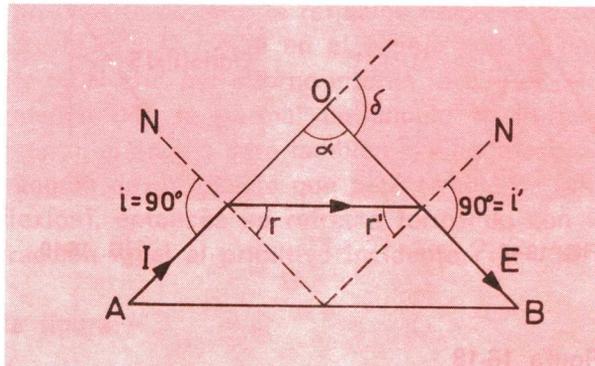


FIG. 16-20

En la figura 16-20 hemos realizado la marcha del rayo incidente I, rasante, que da lugar al emergente E, también rasante.

A cada uno de los ángulos  $\hat{i}$  y  $r$  le corresponderá como refractado el ángulo límite.

Aplicando la ley de Snell en la cara OA:

$$1 \operatorname{sen} 90 = n \operatorname{sen} \hat{r}$$

$$\operatorname{sen} \hat{r} = \frac{1}{1,414} = 0,707$$

$$\hat{r} = 45^\circ$$

Aplicando la ley de Snell a la cara OB:

$$1,41 \operatorname{sen} \hat{r}' = 1 \operatorname{sen} 90^\circ ; \quad \operatorname{sen} \hat{r}' = \frac{1}{1,41} = 0,707$$

luego  $\hat{r} = \hat{r}'$ .

Como

$$\hat{\alpha} = \hat{r} + \hat{r}' = 90^\circ .$$

queda:

$$\boxed{\hat{\delta} = \hat{i} + \hat{i}' - \hat{\alpha} = 90^\circ} (*)$$

### ● Problema 11

Dado un prisma equilátero, de vidrio, de índice de refracción  $n = 1,5$ , calcular el valor del ángulo con que un rayo ha de incidir en el prisma para que el rayo emergente salga paralelo a la base. Calcular también el ángulo de desviación  $\delta$ , formado por las prolongaciones de los rayos incidente y emergente.

(\*) Repasa lo expuesto anteriormente en el apartado 16.2.1 de este Doc. 31/2.

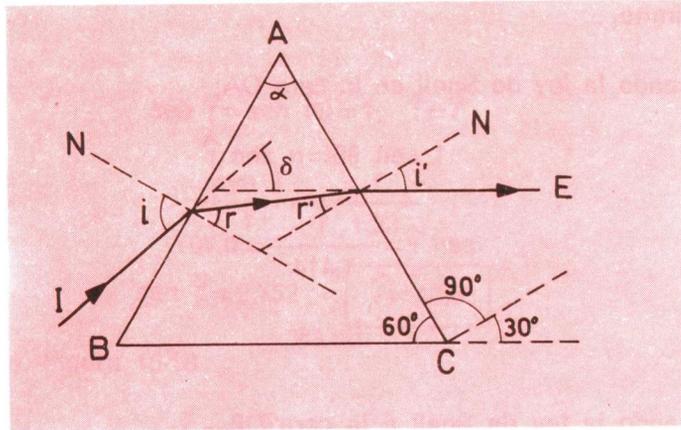


FIG. 16-21

La marcha del rayo a través del prisma está dibujada en la figura 16-21. El rayo emergente E, sale paralelo a la base. El ángulo de emergencia  $\hat{i}'$  será de  $30^\circ$ , ya que siendo el prisma equilátero, sus tres ángulos son de  $60^\circ$  (verlo en la base de la figura). Como la normal forma un ángulo de  $90^\circ$ , resulta:

$$60^\circ + 90^\circ = 150^\circ$$

luego

$$\hat{i}' = 180^\circ - 150^\circ = 30^\circ$$

Conocido  $\hat{i}'$  podemos conocer  $\hat{r}'$  (ángulo de incidencia en la cara AC del prisma), sin más que aplicar la ley de la refracción (ley de Snell).

$$n = \frac{\text{sen } 30^\circ}{\text{sen } \hat{r}'} = 1,5 ; \quad \text{sen } \hat{r}' = \frac{\text{sen } 30^\circ}{1,5} = 0,333$$

$$r' = 19,47^\circ$$

Conocido  $\hat{r}'$  y el ángulo de refringencia del prisma ( $\hat{\alpha} = 60^\circ$ ) podemos conocer  $\hat{r}$ , ya que se cumple que  $\hat{r} + \hat{r}' = \hat{\alpha}$  (ángulo de refringencia del prisma, que por ser equilátero será  $60^\circ$ ).

Puedes mirar la orientación 16.2.1.

$$\text{Entonces } \hat{r} = 60^\circ - \hat{r}' = 60^\circ - 19,47^\circ = 40,53^\circ.$$

Conocido  $r=40,53^\circ$ , podemos conocer el ángulo de incidencia  $\hat{i}$  sin más que aplicar la ley de Snell en la cara AB.

$$\text{sen } \hat{i} \times 1 = \text{sen } \hat{r} \times 1,5$$

$$\text{sen } \hat{i} = 1,5 \text{ sen } 40,53^\circ = 0,975$$

$$\hat{i} = 77,1^\circ$$

$$\delta = \hat{i} + r - \alpha \text{ (mira la orientación)}$$

$$\delta = 77,1^\circ + 19,47^\circ - 60^\circ = 36,57^\circ$$

## 16.5 EXPERIMENTO CASERO

### DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION DEL AGUA

#### MATERIAL

Una paja de sorber refrescos.

Una regla de plástico.

«Plastilina».

Un bote cilíndrico, a ser posible de radio grande y sin rebordes (A).

Un bote de mayor altura que al anterior (B).

#### FUNDAMENTO TEORICO

El fundamento físico en que se basa este experimento es la ley de Snell

$$n_{\text{H}_2\text{O}} \text{ sen } \hat{i} = n_{\text{aire}} \text{ sen } \hat{r}$$

El índice de refracción del aire es la unidad y lo que hemos de determinar experimentalmente son los valores de  $\hat{i}$  (ángulo de incidencia) e  $\hat{r}$  (ángulo de refracción).

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En el bote A se determina por el exterior el centro de la base. Si A es un bote metálico, una vez determinado el centro se presiona con una punta desde afuera hacia adentro para que quede marcado el centro del mismo (al hacer esta operación tórnese el suficiente cuidado para no perforar el bote).

Si A es de plástico, una vez localizado el punto por el exterior, se marca con un rotulador y poniendo el bote al trasluz se señala la posición por dentro.

Se coloca una mancha circular en el centro del bote A y se cubre con papel adhesivo. El tamaño de la mancha debe ser inferior a la sección de la paja.

Antes de proceder experimentalmente se mide con todo cuidado el valor de  $R$  (figura 16.22), es decir el radio interior del bote A. Luego se mide la longitud de la paja  $L$  y la altura exterior del bote  $H$ , así como la altura interior  $h$ .

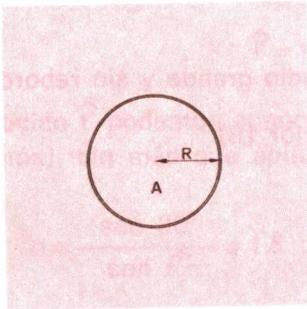


FIG. 16-22

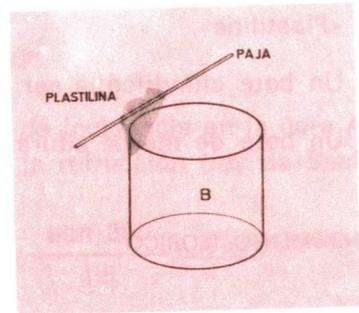


FIG. 16-23

Sobre el bote B se coloca la plastilina y a su través la paja, procurando no obstruir el ánima de la misma, para que la visión por el interior sea perfectamente nítida.

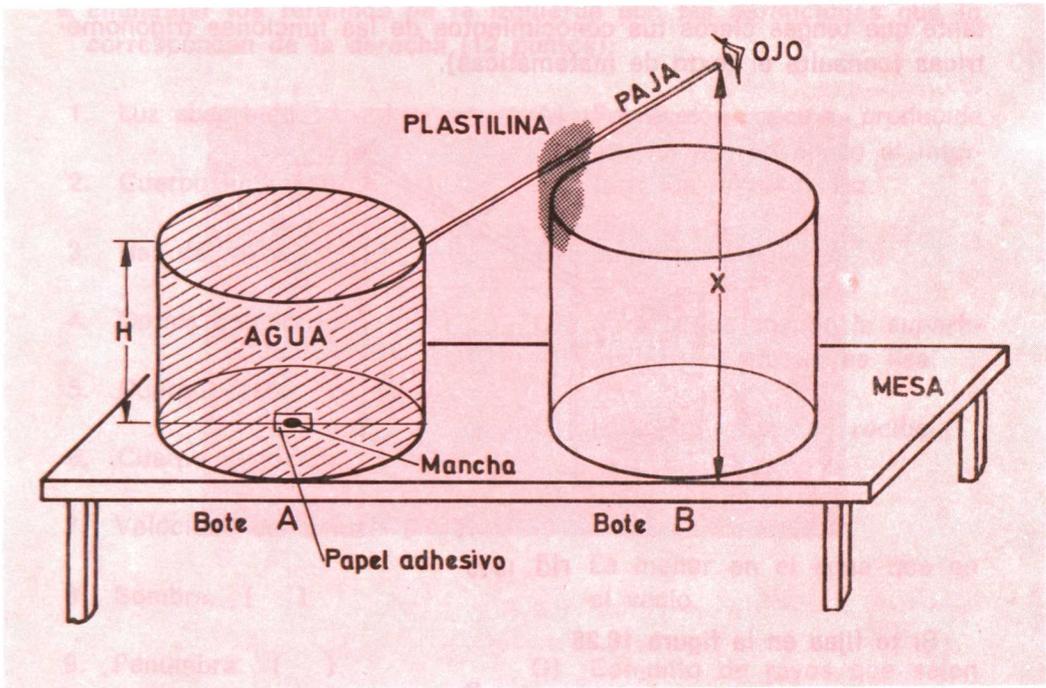


FIG. 16-24

Se llena completamente de agua el bote A, y a su lado se coloca el bote B, tal como indica la figura 16.24. Se manipula con los dedos la plastilina de modo que a través de la paja pueda verse la mancha del fondo del vaso A al mismo tiempo que el reborde del mismo. La paja debe apoyarse sobre el reborde del bote A y estar justamente sobre la superficie del agua. Esta operación requiere cierta habilidad y paciencia, pero es relativamente fácil llegar a ver simultáneamente la mancha y el reborde del vaso. Una vez logrado se mide con todo cuidado la altura del agua  $h$  (que debe ser igual a la altura interior del bote).

También se mide con todo cuidado la altura del borde exterior de la paja sobre la mesa ( $X$  en la figura 16-24).

## CALCULOS

Para calcular el índice de refracción del agua  $n_{H_2O}$  es muy importante que tengas claros tus conocimientos de las funciones trigonométricas (consulta el texto de matemáticas).

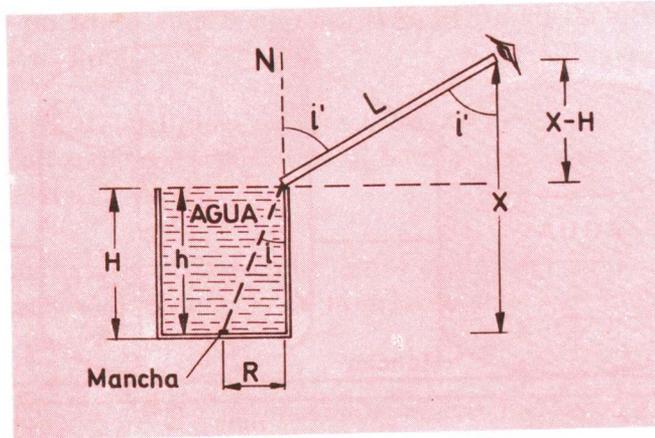


FIG. 16-25

Si te fijas en la figura 16.25

$$\text{tag } \hat{i}' = \frac{R}{h}$$

de donde buscando en unas tablas trigonométricas (o bien usando algunas calculadoras de bolsillo) puedes saber el valor del ángulo de incidencia  $\hat{i}'$ .

Por otra parte

$$\cos \hat{i}' = \frac{X-H}{L}$$

y teniendo en cuenta que

$$\text{sen}^2 \hat{i}' + \cos^2 \hat{i}' = 1$$

puedes calcular el valor de  $\text{sen } \hat{i}'$ .

Finalmente, aplica la ley de Snell.

Con este experimento se pueden obtener resultados buenos, pero se necesita por parte del operador cierta habilidad manual y cierta dosis de paciencia.

## 16.6 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

● Emparejar los términos de la izquierda con las definiciones que le correspondan de la derecha (12 puntos):

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Luz absorbida. ( )         | A) Proyección oscura producida por un cuerpo opaco al interferir los rayos de luz. |
| 2. Cuerpo luminoso. ( )       | B) Emite luz propia.   |
| 3. Haz de rayos. ( )          | C) Se produce cuando la superficie reflectante no es lisa.                         |
| 4. Optica geométrica. ( )     | D) Difunde la luz que recibe.  |
| 5. Cuerpo opaco. ( )          | E) Varía según el medio.   |
| 6. Cuerpo iluminado. ( )      | F) Es menor en el agua que en el vacío.  |
| 7. Velocidad de la luz. ( )   | G) Conjunto de rayos que salen de un punto luminoso.                               |
| 8. Sombra. ( )                | H) No importa la naturaleza ondulatoria o corpuscular para su estudio.             |
| 9. Penumbra. ( )              | I) Deja pasar la luz a su través.  |
| 10. Índice de refracción. ( ) | J) Depende de la naturaleza y del espesor de la sustancia.                         |
| 11. Reflexión difusa. ( )     | K) Que no transmite la luz.  |
| 12. Cuerpo transparente. ( )  | L) Se produce cuando el foco luminoso es extenso.                                  |

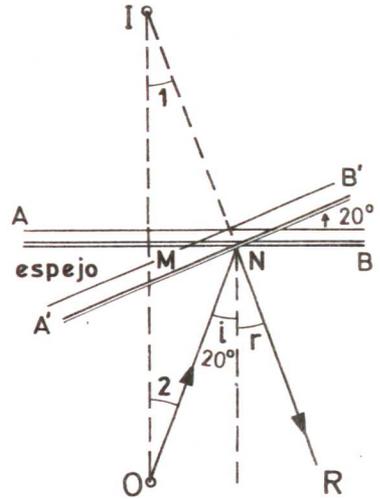
● **Cuestiones de opción única (27 puntos):**

En la figura adjunta, el observador situado en R observa por reflexión a través de un espejo AB a un objeto situado en O.

13. La imagen la ve en:

- A) En el punto I.
- B) Al otro lado del espejo.
- C) Todo lo dicho anteriormente.
- D) Nada de lo dicho.
- E) Es una imagen virtual; por tanto, no puede verla.

13



14. Si el ángulo de incidencia vale  $20^\circ$  alguna de las siguientes afirmaciones es falsa:

- A) El ángulo r vale  $20^\circ$ .
- B) El ángulo 2 vale  $20^\circ$ .
- C) El ángulo 1 vale  $20^\circ$ .
- D) El rayo incidente forma con el espejo un ángulo mínimo de  $110^\circ$ .

14

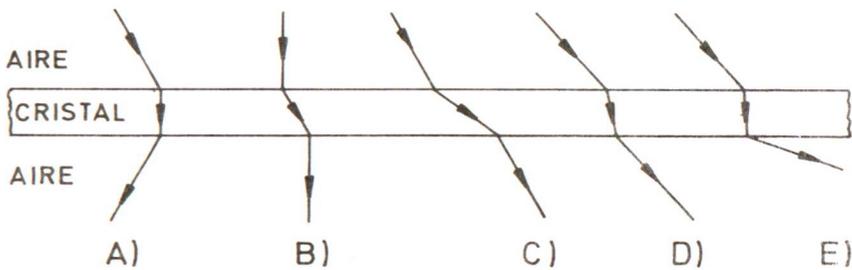
15. Si el espejo AB gira, alrededor de un eje perpendicular al plano de la figura anterior en el punto N, un ángulo de  $20^\circ$  en sentido contrario a las agujas del reloj, el rayo reflejado por el punto luminoso O en el mismo punto N del espejo (estando éste en la nueva posición A'B', ver figura):

- A) Se desplazará  $20^\circ$  hacia la derecha del observador situado en R.
- B) Se desplazará  $20^\circ$  hacia la izquierda.

- C) Se desplazará  $40^\circ$  a la derecha.
- D) Se desplazará  $40^\circ$  hacia la izquierda.
- E) Nada de lo dicho.

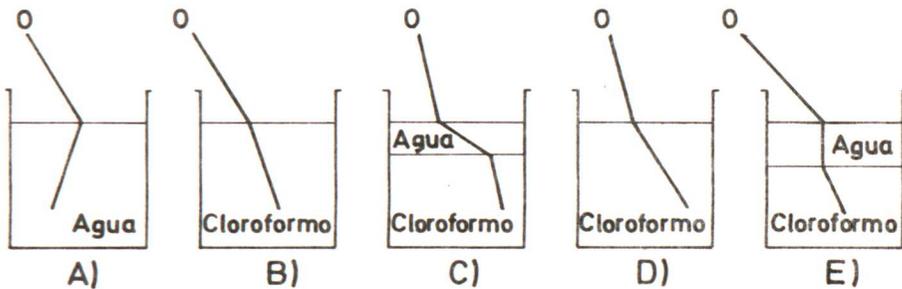
15

16. ¿Cuál de los siguientes diagramas indica el paso correcto de un rayo de luz a través de un cristal de paredes paralelas?



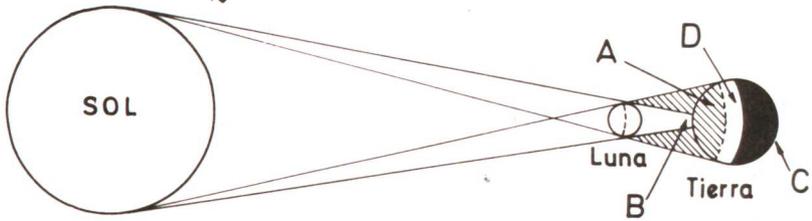
16

17. El índice de refracción del agua es 1,33 y el del cloroformo 1,45. ¿Cuál de estas figuras representa correctamente la marcha de un rayo procedente de O?



17

18. En la figura adjunta puede afirmarse que se produce un eclipse parcial en



- A) B) C) D)

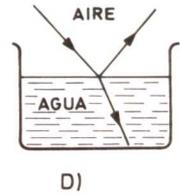
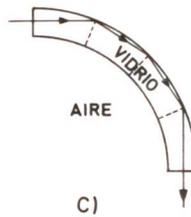
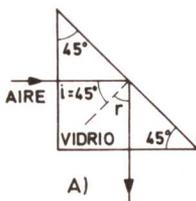
18

19. Eclipse total en la figura anterior en

- A) B) C) D)

19

20. Uno de los siguientes dibujos no representa la reflexión total



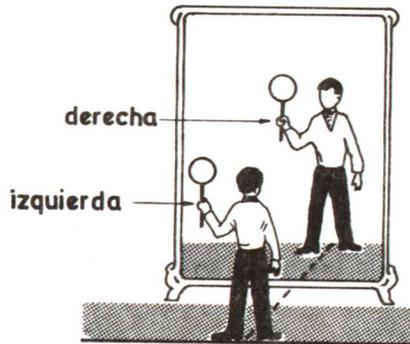
20

21. Los índices de refracción del aire, agua, diamante y cloroformo son respectivamente:

1,0; 1,33; 2,4; 1,45.



24. El muchacho de la figura está situado a 1,50 m del espejo. Su imagen está situada:



- A) En el espejo.  
B) Es virtual y a 1,5 detrás del espejo.  
C) Es real y a 1,5 detrás del espejo.  
D) En ninguna de las posiciones indicadas.

24

25. Si el muchacho se aleja del espejo 0,5 m de su posición anterior, la imagen se encuentra ahora a:

- A) A 1,5 metros detrás del espejo.  
B) A 2 m del muchacho detrás del espejo.  
C) A 4 m del muchacho detrás del espejo.  
D) A 3,5 m del muchacho detrás del espejo.

25

26. Si un haz de rayos de luz amarilla incide sobre un cristal plano con un ángulo de incidencia y se produce una desviación del haz

representada por  $d$ , cuando se coloquen cinco cristales juntos la desviación para el mismo ángulo de incidencia del haz de rayos será:

- A)  $d/5$       B)  $5d$       C)  $5$       D)  $d\sqrt{5}$

26

27. El ángulo incidente y reflejado suman  $60^\circ$  al incidir sobre un espejo. Si el rayo incidente mantiene su dirección y sentido, pero el espejo gira un ángulo de  $30^\circ$  en el sentido de disminuir el ángulo agudo que antes formaba el rayo incidente con el espejo, ahora la suma del ángulo incidente y reflejado valdrá:

- A)  $90^\circ$       B)  $120^\circ$       C)  $30^\circ$       D)  $145^\circ$       E)  $0^\circ$

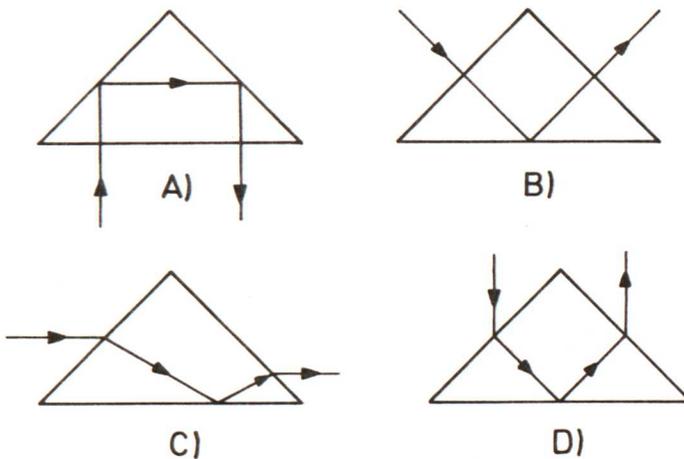
27

28. El índice de refracción (absoluto) del diamante vale  $12/5$ , y el del agua,  $4/3$ . El índice de refracción relativo del agua respecto del diamante es:

- A)  $5/9$       B)  $16/5$       C)  $5/3$       D)  $3/5$       E)  $1/3$

28

*Un rayo incide sobre un prisma rectangular de ángulo de refringencia  $90^\circ$  e índice de refracción  $1,41$  (ver figuras adjuntas).*



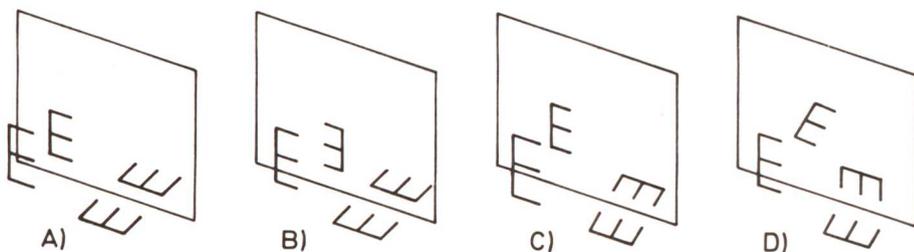
29. ¿Cuál de estas situaciones es imposible? 29

30. ¿Qué caso se usa en los periscopios? 30

31. ¿En qué caso el rayo cambia de sentido? 31

32. ¿En qué caso el ángulo de desviación es prácticamente nulo? 32

33. El diagrama muestra unas letras de alambre colocadas frente a un espejo plano. ¿Cuál es la imagen correcta?



33

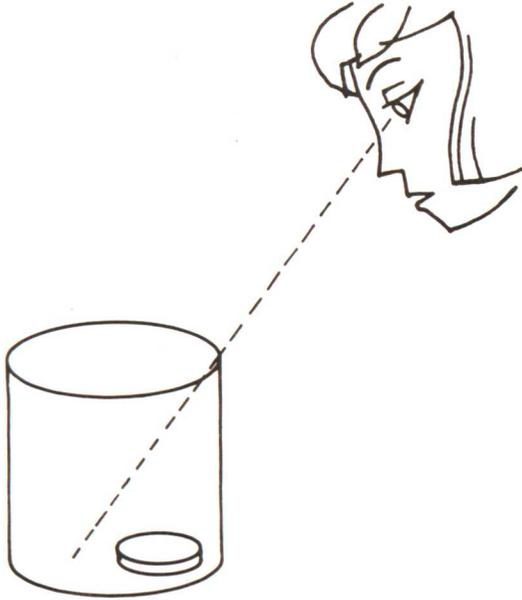
34. La muchacha de la figura no ve la moneda del fondo del bote por estar fuera de su línea de visión, pero si alguien va llenando cuidadosamente el bote con un líquido transparente, parece como si la moneda se levantara y ahora ya la ve. Esto se explica diciendo que:

A) Es un fenómeno de reflexión.

B) La luz se propaga en línea recta.

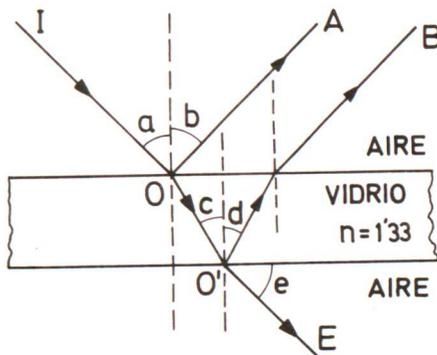
C) Es un fenómeno de refracción.

- D) Los rayos luminosos se curvan en el líquido y ya no se propagan por tanto en línea recta.



34

35. La figura indica un rayo de luz que incide sobre un cuerpo transparente de caras paralelas (vidrio,  $n=1,33$ ). ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es FALSA?:



- A) Los rayos A y B emergentes por reflexión son paralelos.
- B) El ángulo  $\hat{e}$  vale  $(90 - b)^\circ$ .
- C) En O y en O' tiene lugar un fenómeno de reflexión total.
- D) El rayo I y el rayo E son paralelos.
- E) El ángulo  $\hat{c}$  varía con el índice de refracción.

35

36. Una de las leyes de la reflexión establece que:

- A) El ángulo de incidencia se mide entre la normal y el rayo incidente.
- B) La normal es una línea perpendicular a la superficie reflectante.
- C) La velocidad de la luz incidente es igual a la velocidad de la luz reflejada.
- D) El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.
- E) Los ángulos de incidencia son siempre entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ .

36

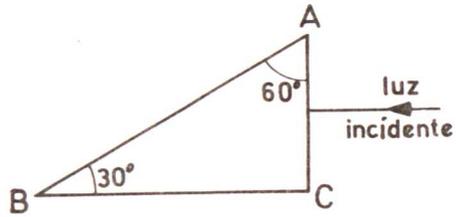
37. Un rayo de luz se aproxima generalmente a la normal cuando pasa del aire al vidrio debido a que:

- A)  $\frac{\text{seno ángulo incidencia}}{\text{seno ángulo de refracción}} = \text{una constante.}$
- B) El vidrio es ópticamente menos denso que el aire.
- C) La luz tiene mayor velocidad en el aire que en el vidrio.
- D) El rayo incidente, el rayo refractado y la normal están en el mismo plano.
- E) El ángulo de incidencia es mayor que el ángulo de refracción.

37

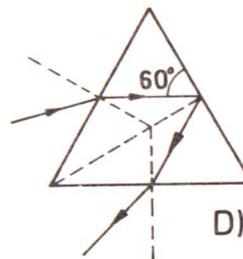
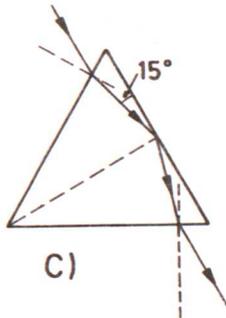
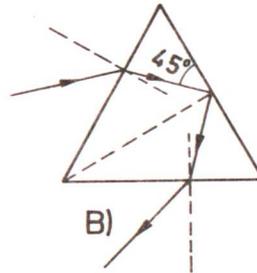
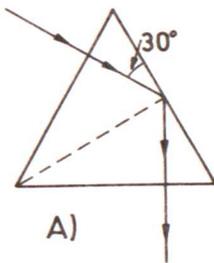
38. La luz incidente normal a la cara AC de un prisma de vidrio de índice de refracción 1,5, presenta reflexión interna total en la(s) cara(s):

- A) Sólo en AC.
- B) Sólo en BC.
- C) Sólo en AB.
- D) En AB y en BC.
- E) En AB y en AC.
- F) En AC y en BC.



38

39. Se trata de un prisma equilátero con un ángulo límite de  $42^\circ$ . ¿En cuál de las siguientes situaciones NO se produce reflexión total, pues una de las figuras está equivocada?



39

## 16.7 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

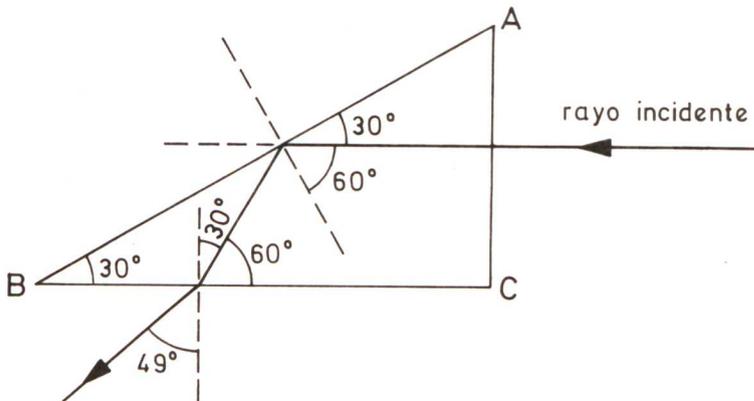
- |       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
| 1. J  | 14. D     | 27. B     |
| 2. B  | 15. C     | 28. A     |
| 3. G  | 16. D     | 29. D     |
| 4. H  | 17. B     | 30. B     |
| 5. K  | 18. A     | 31. A     |
| 6. D  | 19. B     | 32. C     |
| 7. F  | 20. D     | 33. C     |
| 8. A  | 21. D     | 34. C     |
| 9. L  | 22. D     | 35. C     |
| 10. E | 23. B     | 36. D     |
| 11. C | 24. B     | 37. C     |
| 12. I | 25. C     | 38. C (2) |
| 13. C | 26. B (1) | 39. D     |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 39 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 30 puntos.*

(1) Repasa el problema 12 del apartado 16.3 del tema 16 del Documento.

(2)





## TEMA 17

### OBJETIVOS

- Describir en una lente sus elementos geométricos y ópticos.
- Describir y dibujar las clases de lentes.
- Memorizar normas sobre notaciones y signos empleadas en las fórmulas de las lentes y en las representaciones gráficas de construcción de imágenes.
- Construir gráficamente la imagen de un objeto situado a cualquier distancia de una lente convergente o divergente.
- Aplicar las fórmulas de las lentes a la resolución de problemas numéricos.

## Optica geométrica (II)

### INDICE

#### 17.1. CONTENIDOS BÁSICOS

#### 17.2. ORIENTACIONES

17.2.1. Acercos de conceptos importantes sobre lentes

17.2.2. Acercos del convenio de signos

17.2.3. Acercos de los ránkulos de curvatura de las lentes





## OBJETIVOS

- Describir en una lente sus elementos geométricos y ópticos.
- Describir y dibujar las clases de lentes.
- Memorizar normas sobre notaciones y signos empleados en las fórmulas de las lentes y en las representaciones gráficas de construcción de imágenes.
- Construir gráficamente la imagen de un objeto situado a cualquier distancia de una lente convergente o divergente.
- Aplicar las fórmulas de las lentes a la resolución de problemas numéricos.

## INDICE

### 17.1 CONTENIDOS BASICOS

### 17.2 ORIENTACIONES

17.2.1 Acerca de conceptos importantes sobre lentes

17.2.2 Acerca del convenio de signos

17.2.3 Acerca de los radios de curvatura en las lentes

- 17.2.4 Acerca de las fórmulas de las lentes delgadas
- 17.2.5 Acerca de la distancia objeto y distancia imagen en las lentes delgadas. Aumento lateral
- 17.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 17.4 PROBLEMAS ADICIONALES
- 17.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 17.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 17.1 CONTENIDOS BASICOS

- Lente (T, D).
- Centro de curvatura (T, D).
- Eje principal (T, D).
- Centro óptico (T, D).
- Foco objeto (T, D).
- Foco imagen (T, D).
- Distancia focal objeto e imagen (T).
- Imagen real e imagen virtual (T).
- Construcción gráfica de imágenes en lentes convergentes (T).
- Convenios de signos en óptica (T).
- Fórmulas de las lentes (T, D).
- Aumento lateral (T, D).
- Construcción gráfica de imágenes en lentes divergentes (T).
- Convergencia o potencia de una lente: dioptría (T).

## 17.2 ORIENTACIONES

### 17.2.1 Acerca de conceptos importantes sobre lentes

Las lentes son elementos ópticos capaces de controlar y dirigir los rayos luminosos. La mayor parte de los instrumentos ópticos, como las cámaras fotográficas, proyectores, telescopios, microscopios, etc., se construyen con lentes, que en esencia son materiales refringentes

de determinadas formas con las que se puede lograr que los rayos de luz que pasen a su través converjan o diverjan a su salida.

La multitud de aplicaciones que tienen las lentes, tienen como fundamento la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \hat{i} = n_2 \text{ sen } \hat{r}$$

Las lentes están formadas por un medio transparente, de determinada refringencia, limitado por dos caras, o dos superficies, de las cuales, por lo menos una ha de ser esférica.

En el apartado 1.2 del texto puedes encontrar la serie de tipos diferentes de lentes que cabe considerar.

También en el texto podrás estudiar sin dificultades todo lo concerniente a la formación de imágenes y su construcción gráfica, tanto en las lentes convergentes, como en las divergentes, pero nos parece interesante hacer aquí unas consideraciones previas a la formación de imágenes, que te ayudarán a comprenderlas.

### 1. Elementos geométricos de una lente

En una lente cabe considerar tres elementos geométricos a los que hay que referirse constantemente en su manejo y que tienen un significado geométrico en la constitución de la lente.

*Centro de curvatura.* Anteriormente hemos dicho que las lentes están formadas por dos superficies, de las cuales, una por lo menos, es esférica. Pues bien, llamamos centro de curvatura al centro de la esfera a la que corresponde la superficie de la lente.

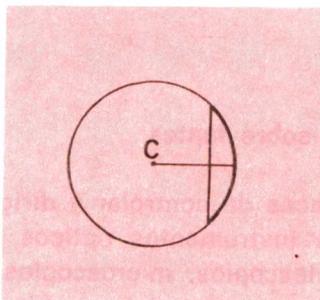


FIG. 17-1

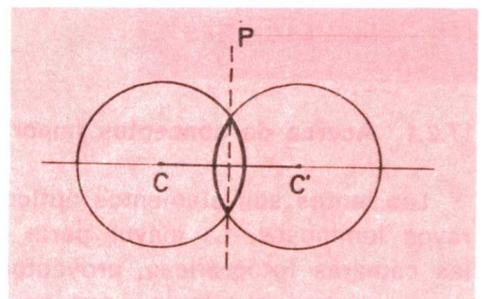


FIG. 17-2

En la figura 17-1 tenemos una lente plano convexa, donde hemos señalado el centro de curvatura correspondiente a la superficie esférica de la lente. En la figura 17-2 hemos señalado los dos centros de curvatura  $C$  y  $C'$ , correspondientes a las dos superficies curvas que forman las respectivas caras de una lente biconvexa.

*Eje principal.* Es la recta que une los centros de curvatura. El espesor de una lente mide la distancia entre las dos caras medida sobre el eje principal. Si este espesor es despreciable comparado con los radios de curvatura, la lente se llama delgada y en caso contrario, lente gruesa. En este curso estudiaréis solamente las lentes delgadas.

*Plano principal.* El plano que divide a la lente verticalmente, se llama plano principal, en la figura 17-2 representado por  $P$ . En general, en las construcciones geométricas, las lentes se representan por su plano principal terminado por flechas, cuyo sentido sirve para consignar si se trata de una lente convergente o divergente, así lo podemos ver en la figura 17-3.

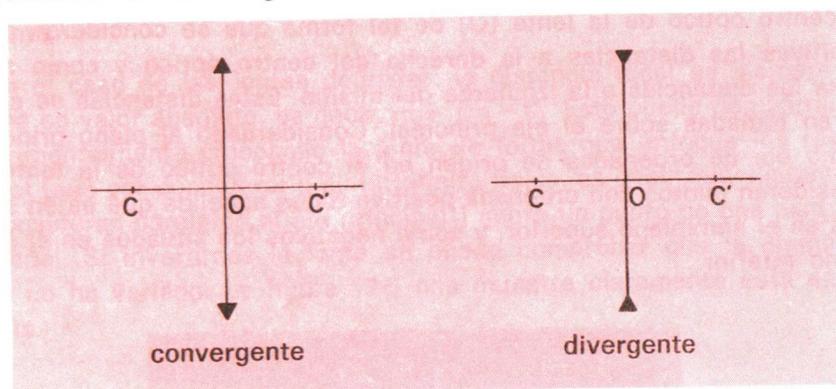


FIG. 17-3

Representación de los elementos geométricos de las lentes.

## 2. Elementos ópticos de una lente

Existen dos puntos, en las lentes, de gran importancia considerados ópticamente, y son:

*Centro óptico*, señalado en las figuras 17-3 por  $O$ , y que es el punto en que el eje principal corta al plano principal (estamos conside-

rando lentes delgadas). El centro óptico goza de la importante propiedad de que todo rayo de luz que atraviesa una lente pasando por su centro óptico no sufre ninguna desviación.

**Focos de una lente.** En las lentes existen dos puntos llamados focos, situados simétricamente respecto al centro óptico y que designaremos  $F$  y  $F'$ . Mira en el texto, apartado 2.2, lo referente a sus propiedades.

### 17.2.2 Acerca del convenio de signos (\*)

Para la comprensión de su significado vamos a hacer una serie de consideraciones, necesarias en óptica, para establecer un criterio o convenio a seguir en las distintas denominaciones. En primer lugar, diremos que siempre vamos a considerar que la luz se propaga de izquierda a derecha.

En la medida de las distancias, se toma como origen de coordenadas al centro óptico de la lente ( $O$ ) de tal forma que se consideran como positivas las distancias a la derecha del centro óptico y como negativas las distancias a la izquierda del mismo. Estas distancias se consideran tomadas sobre el eje principal. Considerando al plano principal, como eje de ordenadas de origen en el centro óptico de la lente, se consideran puntos con ordenada positiva todos aquellos que estén situados en el semiplano superior, y como negativos los situados en el semiplano inferior.

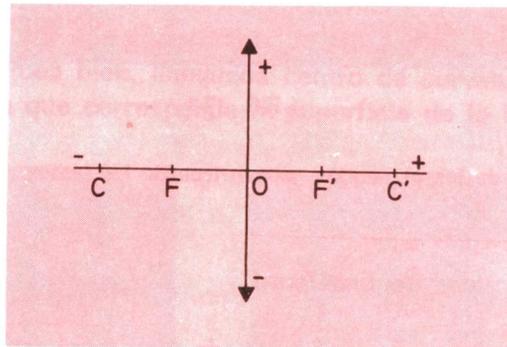


FIG. 17-4

(\*) Según normas DIN; no seguiremos el texto.

En la figura 17-4 hemos representado el criterio o convenio establecido para los signos en las distancias que se han de manejar en lo sucesivo.

También hemos de señalar que en los aparatos ópticos se trabaja con los rayos que están muy próximos al eje, es decir, se considera una determinada zona de lentes, llamada ZONA PARAXIAL o de GAUSS, porque en ella las imágenes formadas por las lentes, digamos que son más puras, empleando un término físico diríamos que en esa zona se pueden considerar las lentes como *sistemas estigmáticos*, es decir que a un punto objeto, corresponde un solo punto imagen.

Trabajando en la zona paraxial, los ángulos, medidos en radianes, se pueden confundir con sus senos y tangentes.

### 17.2.3 Acerca de los radios de curvatura en las lentes

Las dos superficies esféricas de una lente no tiene por qué ser siempre de igual radio, podemos llamar  $R_1$  y  $R_2$  a los radios de las superficies esféricas correspondientes a la primera y la segunda cara, respectivamente.

En el caso de las lentes delgadas, la distancia focal es siempre la misma en valor absoluto, es decir, que  $f = -f'$ . Esto puede demostrarse experimentalmente colocando la lente de forma que enfoque los rayos del sol (que por considerarlo en el infinito físico, es decir muy distantes, se consideran paralelos al eje principal)) sobre un punto de una pantalla de papel. Si invertimos la lente se puede comprobar que la distancia focal no ha variado. La figura 17-5 nos muestra claramente esta experiencia.

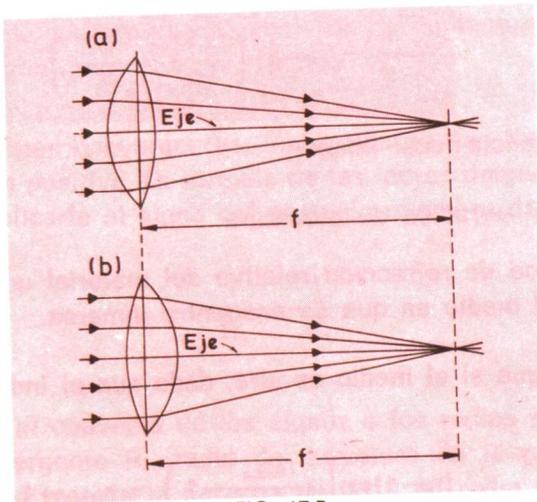


FIG. 17-5

Los radios de curvatura influyen en la distancia focal de la lente, de forma que cuanto más pequeños son los radios de curvatura, menor es la distancia focal de la lente y viceversa (figura 17-6).

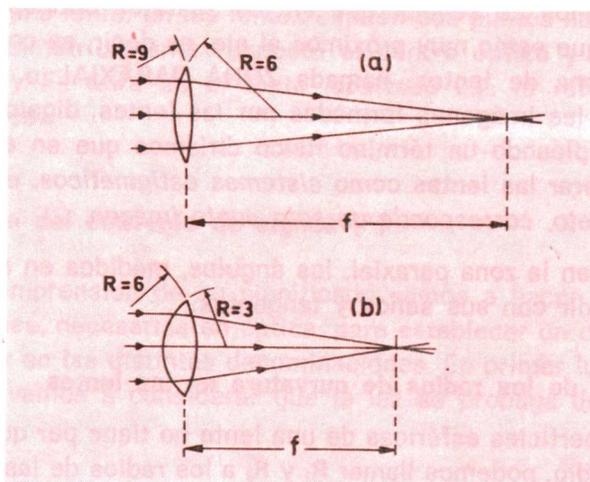


FIG. 17-6

#### 17.2.4 Acerca de la fórmula de las lentes delgadas

Por aplicación de la ley de Snell de la refracción a las superficies esféricas que constituyen una lente delgada, y sucesivas consideraciones trigonométricas, se llega a una expresión, llamada *fórmula de las lentes delgadas*, que relaciona la distancia focal con el índice de refracción y los radios de curvatura, según:

$$\frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

donde  $f'$  = distancia focal imagen

$R_1$  y  $R_2$  → radios de curvatura

$n$  = índice de refracción relativo del material que forma la lente y el medio en que se encuentra inmersa.

De forma que si el medio es aire, dado que el índice de refracción del aire es 1

$$(n - 1) = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{aire}}} - 1 \right) = n_{\text{lente}} - 1$$

Si el medio es agua:

$$(n-1) = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{agua}}} - 1 \right)$$

Por tanto, se puede observar que la distancia focal de la lente variará según el medio en que ésta se haya situado. Luego lo aclararemos con un ejemplo en un problema.

No nos parece adecuado la deducción de la fórmula de las lentes delgadas, dado que requiere una serie de conocimientos básicos que creemos que no tenéis bien maduros. Por tanto, eso lo dejaremos para un nivel más avanzado en el estudio de la física.

Queremos insistir algo más en el significado de la fórmula de las lentes delgadas, para que luego podáis manejarla sin dificultad en la resolución de algunos problemas sencillos.

En la fórmula hemos puesto  $1/f'$  donde  $f'$  = distancia focal imagen. Sería igualmente válida, utilizando la distancia focal objeto, lo único que no podemos olvidar es que  $f = -f'$ , y es preciso por tanto transcribir el signo menos a la ecuación. En los problemas de lentes es muy importante tener muy claras las ideas acerca del convenio de signos que se ha adoptado y aplicarlas con rigor, ya que el poner mal un signo, puede conducirnos a resultados disparatados.

La fórmula de las lentes delgadas se aplica tanto para las lentes convergentes, como para las divergentes.

Todas las lentes convergentes, insistimos en que tienen una distancia focal imagen positiva. La fórmula de las lentes delgadas lo confirma. En efecto, al aplicarle el signo del segundo miembro dependerá de

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}$$

Apliquemos el convenio de los signos a los radios de curvatura. En una lente convergente  $R_1$ , radio de curvatura de la primera cara, es siempre positivo (está a la derecha de O) y  $R_2$ , radio de curvatura de

la segunda cara, situado a la izquierda de O, es siempre negativo (figura 17-7), por tanto, expresando el valor de los signos:

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

resultará siempre positivo.

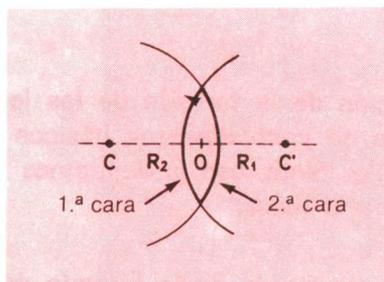


FIG. 17-7

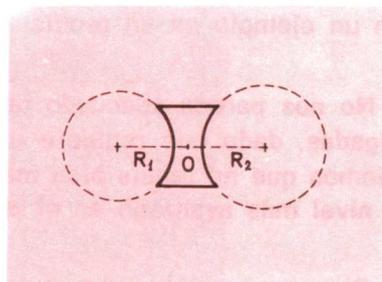


FIG. 17-8

En el caso de las lentes divergentes, la distancia focal imagen  $f'$  es siempre negativa, ya que  $R_1$  es negativo (está a la izquierda de O), mientras que  $R_2$  es positivo (está a la derecha) (Fig. 17-8).

Por tanto:

$$\frac{1}{(-R_1)} - \frac{1}{R_2} = -\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}$$

dando un valor negativo para  $f'$ .

### 17.2.5 Acerca de la distancia objeto y distancia imagen en las lentes delgadas. Aumento lateral

La distancia que hay entre el centro óptico y el objeto se denomina *distancia objeto* y se suele representar por la letra  $S$ . Ya habéis visto la importancia que tiene en la formación de las imágenes de las lentes el valor de esta distancia, tanto respecto a su tamaño como a que la imagen salga real o virtual, en el caso de las lentes convergentes.

La distancia que existe entre el centro óptico y la imagen se denomina *distancia imagen* y se suele representar por  $S'$ . Las distancias

objeto e imagen están relacionadas con la distancia focal mediante la expresión:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'}$$

que es la llamada *fórmula de los focos conjugados*.

Hay que tener siempre muy presente el convenio de los signos al sustituir  $S'$  y  $S$  por sus respectivos valores numéricos.

*Aumento lateral* es la relación entre los tamaños de la imagen y el objeto (figs. 17-9 y 17-10):

$$\text{aumento lateral} = \frac{-y'}{y} \quad (\text{fig. 17-9})$$

$$\text{aumento lateral} = \frac{y'}{y} \quad (\text{fig. 17-10})$$

Observa que hemos tenido en cuenta el convenio de signos del apartado 17.2.2, que también utilizamos en los razonamientos que siguen.

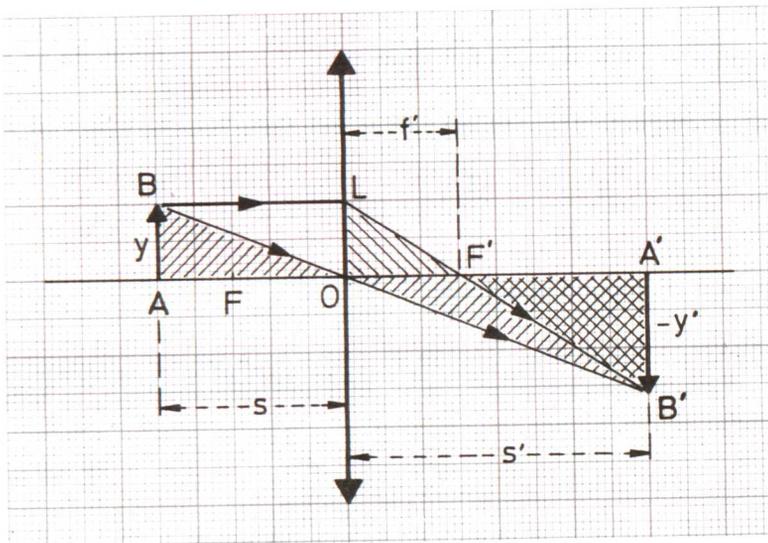


FIG. 17-9

Veamos la relación del *aumento lateral* con la distancia objeto  $S$  y con la distancia imagen  $S'$ .

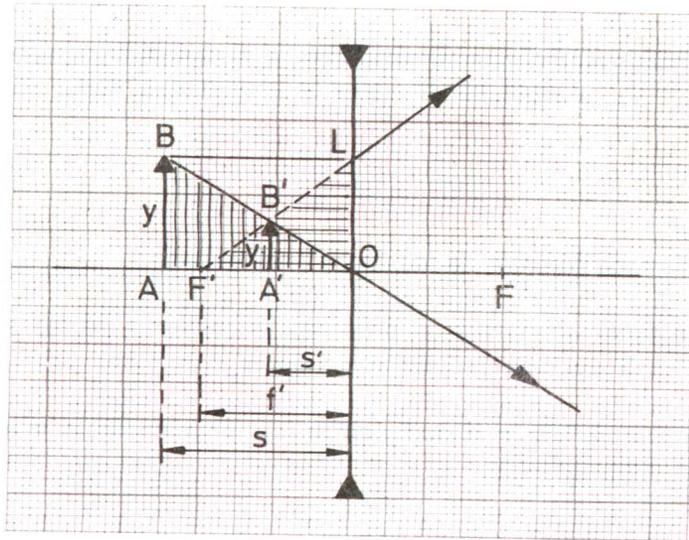


FIG. 17-10

En ambas figuras, los triángulos  $\widehat{BAO}$  y  $\widehat{B'A'O}$  son semejantes, y podemos establecer las siguientes proporciones (tenemos en cuenta los signos):

Lente convergente (fig. 17-9):

$$\frac{-y'}{y} = \frac{S'}{-S} ;$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S}$$

Lente divergente (fig. 17-10):

$$\frac{y'}{y} = \frac{-S}{-S} ;$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S}$$

} [1]

Llegamos al mismo resultado.

Observemos en ambas figuras la semejanza de los triángulos  $\widehat{LOF'}$  y  $\widehat{B'A'F'}$ . Podemos establecer, para una lente convergente, la siguiente proporción:

$$\frac{-y'}{y} = \frac{S' - f'}{f'}$$

Multiplicamos ambos miembros de la igualdad por  $-1$ :

$$\frac{y'}{y} = \frac{f' - S'}{f'}$$

[1]

Esta última expresión puede escribirse directamente por la semejanza de los triángulos  $\widehat{LOF'}$  y  $\widehat{B'A'F'}$  en la figura 17-10 correspondiente a la lente divergente.

Podemos relacionar [1] y [2]:

$$\frac{S'}{S} = \frac{f' - S'}{f'}$$

y de aquí:

$$S'f' = Sf' - SS'$$

Dividiendo por  $SS'f'$ :

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S'} - \frac{1}{f'}$$

es decir:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'} \quad [3]$$

que es la fórmula de los focos conjugados que hemos visto antes.

Una fórmula general para las lentes delgadas, por tanto, será:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad [4]$$

### 17.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

#### ● Cuestión 1

Una lente convergente es más gruesa en el centro que en los bordes, mientras que a una lente divergente le pasa al revés, es más gruesa en los bordes. Esta cualidad se observa perfectamente al tacto.

Al hacer llegar a una lente convergente un haz de rayos solares, se observa que se concentran, después de refractados, en un punto, que

es justamente el foco imagen de la lente. En las lentes divergentes, los rayos salen divergentes de la lente.

Al observar un objeto con una lente convergente, siempre que el objeto se sitúe a una distancia menor que la distancia focal objeto, se observa una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño; tal es el caso de la observación directa con una lupa, mientras que con una lente divergente, la imagen, también virtual y derecha, es de menor tamaño.

### ● Problema 2

Al ser la convergencia positiva (5 dioptrías), la lente es convergente.

La convergencia de la lente viene dada por la inversa de la distancia focal tomada en metros. Por tanto:

$$C = \frac{1}{f'} ; \quad f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{5} = 0,20 \text{ m} = \boxed{20 \text{ cm}}$$

Como, por otra parte, la fórmula de las lentes delgadas nos relaciona la distancia focal con el índice de refracción y los radios de curvatura según:

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

(En las orientaciones, apartado 17.2.4, está claramente explicado el signo de los radios de curvatura en las lentes.)

$$\frac{1}{20} = 0,5 \frac{2}{R_1}$$

$$\boxed{R_1 = 20 \text{ cm}}$$

$$\boxed{R_2 = -20 \text{ cm}}$$

### ● Problema 3

La fórmula de las lentes delgadas debidamente aplicada nos resuelve este problema:

$$C = \frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

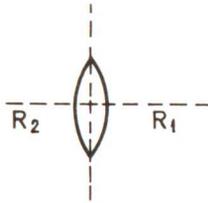
Caso a):

La aplicación directa de la fórmula para hallar la convergencia requiere expresar la distancia en metros.

Lente biconvexa:

$$R_1 = +30 \text{ cm}$$

$$R_2 = -50 \text{ cm}$$

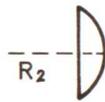


$$C = \frac{1}{f'} = (1,50 - 1) \left( \frac{1}{0,30} - \frac{1}{-0,50} \right)$$

$$C = \frac{1}{f'} = 0,50 \frac{0,50 + 0,30}{0,15} = 2,67 \text{ dioptrías}$$

$$f' = \frac{1}{2,67} = 0,375 \text{ m} = 37,50 \text{ cm}$$

Caso b):



$$R_1 = \infty ;$$

$$R_2 = -30 \text{ cm}$$

$$C = \frac{1}{f'} = (1,50 - 1) \left( \frac{1}{\infty} - \frac{1}{-0,30} \right)$$

$$C = \frac{1}{f'} = 0,5 \cdot \frac{1}{0,30} = 1,67 \text{ dioptrías}$$

$$f' = \frac{1}{1,67} = 0,60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

**Observación.** Lo mismo en el caso *a* que en el caso *b*, son lentes convergentes, y conviene que te fijes que tanto la convergencia como la distancia focal imagen salen positivas. Veamos ahora cómo en el caso *c*, que es el de una lente divergente, nos han de salir *C* y *f'* con signo negativo:

Caso c):



Los radios son iguales en valor absoluto.

$R_1$  es negativo =  $-40$  cm

$R_2$  es positivo =  $+40$  cm

$$C = \frac{1}{f'} = (1,5 - 1) \left( \frac{1}{-0,40} - \frac{1}{0,40} \right)$$

$$C = \frac{1}{f'} = 0,5 \left( -\frac{0,40 + 0,40}{0,16} \right) = -2,5 \text{ dioptrías}$$

$$f' = \frac{1}{-2,5} = -0,40 \text{ m} = -40 \text{ cm}$$

● **Problema 4** (ver figura 17-11)

La fórmula completa o general de las lentes delgadas es:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

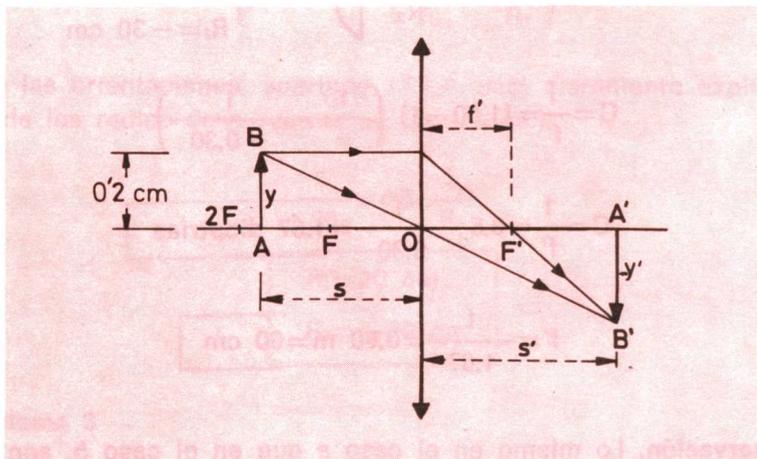


FIG. 17-11

$f'$  = distancia focal imagen.

$$f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ m} = \boxed{25 \text{ cm}} ; \quad f = \boxed{-25 \text{ cm}}$$

S = distancia objeto, que está a la izquierda del centro óptico, por eso será una distancia negativa.

$$S = -40 \text{ cm.}$$

S' = distancia imagen que está a la derecha de O; por tanto, en el cálculo nos ha de salir positiva.

La distancia focal objeto sería:

$$f = -f' = -25 \text{ cm}$$

Calculemos ahora la posición de la imagen S'. Para ello:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'}$$

Sustituyendo los valores de S y f' conocidos y teniendo en cuenta los signos, resulta:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{-40} = \frac{1}{25} ; \quad \frac{1}{S'} + \frac{1}{40} = \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{25} - \frac{1}{40} = \frac{40 - 25}{1000} = 0,015$$

$$S' = \boxed{66,7 \text{ cm}}$$

Como vemos, el cálculo nos ha dado para la distancia imagen el valor positivo de 66,7 cm. La imagen es *real*, *invertida* y *mayor*, todo ello *previsible*, dado que la distancia objeto está comprendida entre 2F y F.

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Como nos dicen que las caras de la lente son de igual curvatura,

$R_1$  y  $R_2$  son iguales en valor absoluto, pero  $R_1$  es positivo y  $R_2$  es negativo; por tanto:  $R_2 = -R_1$ .

$$\frac{1}{25} = (1,5 - 1) \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{-R_1} \right)$$

$$\frac{1}{25} = 0,5 \frac{2}{R_1}$$

$$R_1 = 25 \text{ cm}$$

$$R_2 = -25 \text{ cm}$$

También podremos calcular el aumento sufrido por la imagen, sin más que establecer la relación del apartado 17.2.5 [1]:

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} ; \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{s'}{s}$$

donde  $AB = y = \text{tamaño del objeto} = 2 \text{ mm}$ , y  $A'B' = -y'$ , tamaño de la imagen que vamos a calcular.

El signo menos se debe a que con arreglo al criterio establecido para los signos, la ordenada es negativa.

Sustituyendo valores:

$$\frac{y'}{y} = \frac{66,6}{-40} = -1,67$$

Como vemos, nos sale un signo negativo que indica que la imagen tiene ordenada negativa, es decir, una *imagen invertida* del objeto.

La relación  $\frac{y'}{y} = -1,67$  nos dice además que el tamaño de la *imagen es 1,67 veces mayor que el objeto*. El valor absoluto del tamaño de la imagen será:

$$y' = 0,20 \text{ cm} \cdot 1,67 = 0,33 \text{ cm}$$

o bien:

$$y' = 3,3 \text{ mm}$$

● Problema 5

La convergencia de una lente divergente es negativa, luego  $C=4$  dioptrías. En este caso, la distancia focal imagen es negativa (ver figura 17-12):

$$f' = \frac{1}{-4} = -0,25 \text{ m} = -25 \text{ cm}; \quad f = +25 \text{ cm}$$

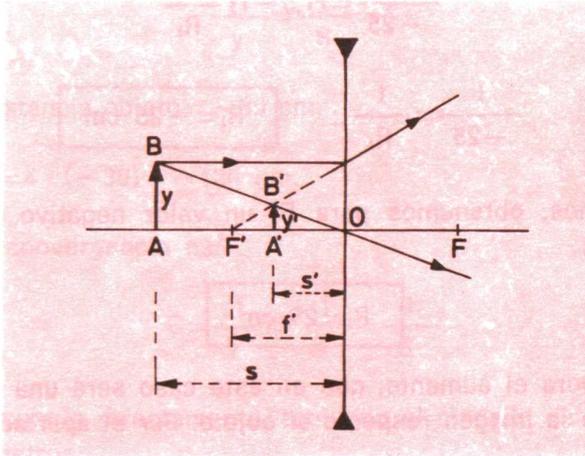


FIG. 17-12

En la figura 17-12 hemos construido geoméricamente la imagen, y ya vemos que sale virtual, menor y derecha.

$S$  = distancia objeto, que es negativa.

$$S = -40 \text{ cm.}$$

$y' = A'B'$  es el tamaño de la imagen. Esta magnitud tiene ordenada positiva; por tanto, nos ha de salir positiva en el cálculo.

$S'$  = distancia imagen, a la izquierda del centro óptico; por tanto, nos saldrá un valor negativo. Vamos a calcularlo:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'} \quad || \quad \frac{1}{S'} - \frac{1}{-40} = \frac{1}{-25}$$

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{40} = \frac{65}{-1000}$$

$$S' = -15,4 \text{ cm}$$

Los radios de curvatura son iguales en valor absoluto, pero si la lente es bicóncava,  $R_1$  será negativo y  $R_2$  será positivo, de forma que  $R_2 = -R_1$ . Entonces:

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{-R_1} \right)$$

$$\frac{1}{-25} = (1,5-1) \frac{2}{R_1}$$

$$\frac{1}{-25} = \frac{1}{R_1} ; \quad R_1 = -25 \text{ cm}$$

Como vemos, obtenemos para  $R_1$  un valor negativo. El valor de  $R_2 = -R_1$  será:

$$R_2 = 25 \text{ cm}$$

Veamos ahora el aumento, que en este caso será una disminución, del tamaño de la imagen respecto al objeto. Por el apartado 17.2.5 [1] sabemos que:

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S}$$

donde:

$y$  = tamaño objeto

$y'$  = tamaño imagen

$S$  = distancia objeto =  $-40$  cm

$S'$  = distancia imagen =  $-15,3$  cm

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S} ; \quad \frac{y'}{y} = \frac{-15,3}{-40} = 0,38$$

La relación  $y'/y$  nos sale positiva, lo que indica que la imagen  $y'$  es derecha y  $0,38 < 1$ ; por tanto,  $y' < y$ . El valor de  $y'$  será:

$$y' = 2 \cdot 0,38 = 0,76 \text{ mm}$$

● Problema 6

Una lente biconvexa es convergente y tiene el radio de la primera cara  $R_1$  positivo y el de la segunda cara negativo. Si las caras son de igual curvatura, hemos de tener en cuenta que  $R_2 = -R_1$ .

La relación entre el tamaño de la imagen y la del objeto es 4; por tanto:

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S} = 4$$

donde  $S = \text{distancia objeto} = -30 \text{ cm}$ .

Luego  $S' = 4 \cdot (-30) = -120 \text{ cm}$ .

Como la convergencia es:

$$C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{S'} - \frac{1}{S}$$

podemos calcularla directamente, teniendo el cuidado de poner las distancias en metros:

$$C = \frac{1}{-1,2} - \frac{1}{-0,30} = \frac{-0,30 + 1,2}{0,36} = 2,5 \text{ dioptrías}$$

La distancia focal:

$$f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{2,5} = 0,40 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

Esta distancia no la pide el problema, pero, como vamos a hacer la reconstrucción geométrica de la imagen, nos conviene saberla.

Cálculo de los radios:

$$C = \frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Sustituyendo valores y teniendo en cuenta que  $R_2 = -R_1$ , resulta:

$$\frac{1}{40} = (1,42 - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{-R_1} \right)$$

O sea:

$$\frac{1}{40} = 0,42 \frac{2}{R_1}$$

$$R_1 = 33,6 \text{ cm}$$

Por tanto,

$$R_2 = -33,6 \text{ cm}$$

La construcción geométrica de la imagen la podéis ver en la figura 17-13.

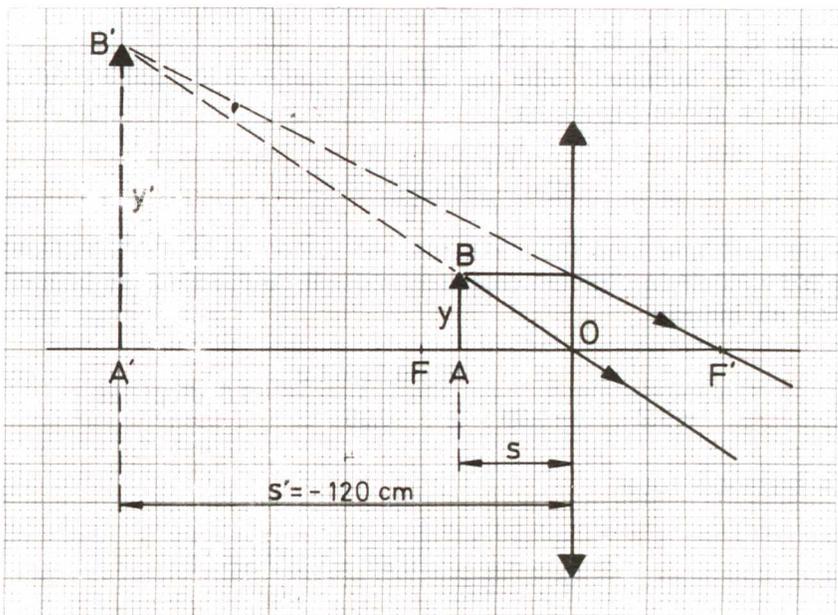


FIG. 17-13

### ● Problema 7

La lente es convergente:  $C=4$  dioptrías.

$$C = \frac{1}{f'} ; \quad f' = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

$$\frac{y'}{y} = 5 = \frac{S'}{S} ; \quad S = \frac{S'}{5}$$

Por tanto, aplicamos:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{S'} - \frac{1}{S}$$

Sustituyendo valores:

$$\frac{1}{25} = \frac{1}{S'} - \frac{1}{\frac{S'}{5}}$$

$$\frac{1}{25} = \frac{1}{S'} - \frac{5}{S'} = \frac{-4}{S'}$$

$$S' = -100 \text{ cm}$$

$$S = \frac{-100}{5} = -20 \text{ cm}$$

La construcción geométrica puede verse en la figura 17-14.

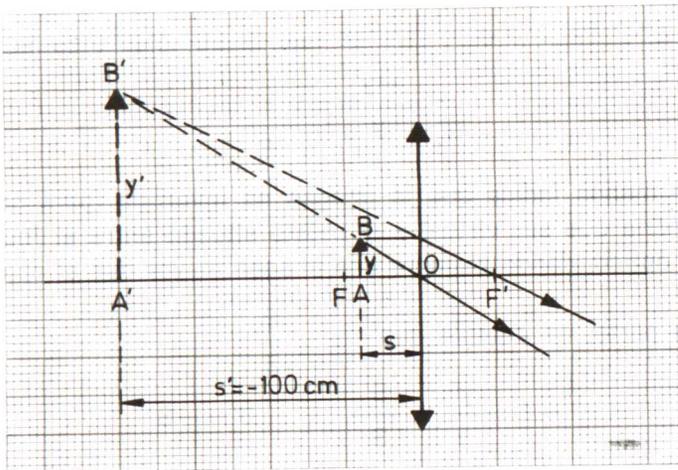


FIG. 17-14

● Problema 8.

(Preferimos no incluir este tipo de problemas en este curso.)

● Problema 9

En una lente convergente, para que se produzca imagen de igual tamaño, ya habéis visto en teoría (apartado 2.1, tema 17 del texto) que la distancia a la que se debe colocar el objeto es justamente el doble de la distancia focal. Véase la figura 17-15.

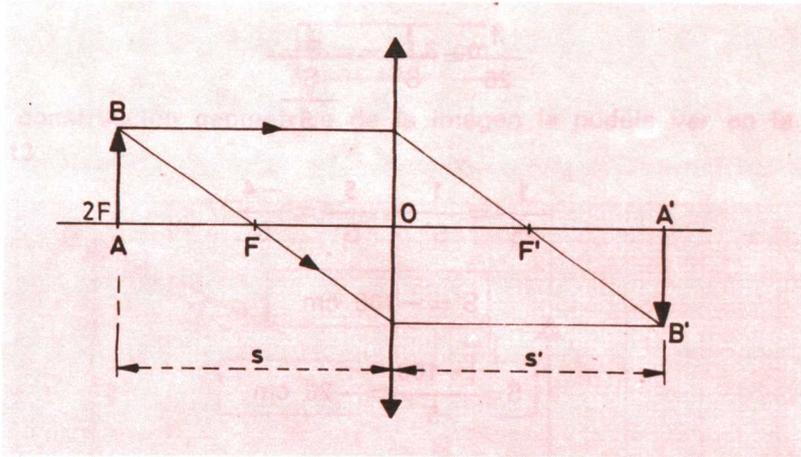


FIG. 17-15

La condición es:

$$\frac{-y'}{y} = 1$$

El signo menos indica que la imagen es invertida (para que fuese derecha tendría que ser virtual y el objeto situado entre el foco objeto y el centro óptico, dando siempre una imagen mayor que el objeto).

Por otra parte, se cumple que:

$$-1 = \frac{y'}{y} = \frac{S'}{S} ; \quad S' = -S$$

y

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'} ; \quad \frac{1}{S'} - \frac{1}{-S} = \frac{1}{f'}$$

de donde

$$S' = 2f'$$

y, por tanto:

$$S = -2f' = 2f$$

● Problema 10

En una lente divergente, la imagen es siempre virtual y derecha. La condición impuesta por el problema es:

$$\frac{y'}{y} = \frac{1}{2}$$

Como, por otra parte:

$$\frac{y'}{y} = \frac{S'}{S},$$

resulta:

$$\frac{S'}{S} = \frac{1}{2}; \quad S' = \frac{S}{2}$$

Al sustituir este valor de  $S'$  en

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'}$$

resulta:

$$\frac{1}{\frac{S}{2}} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f'}$$

de donde

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{f'}$$

luego  $f' = S$ , y, por tanto:

$$S' = \frac{f'}{2}$$

La construcción de la imagen se ve en la figura 17-16.

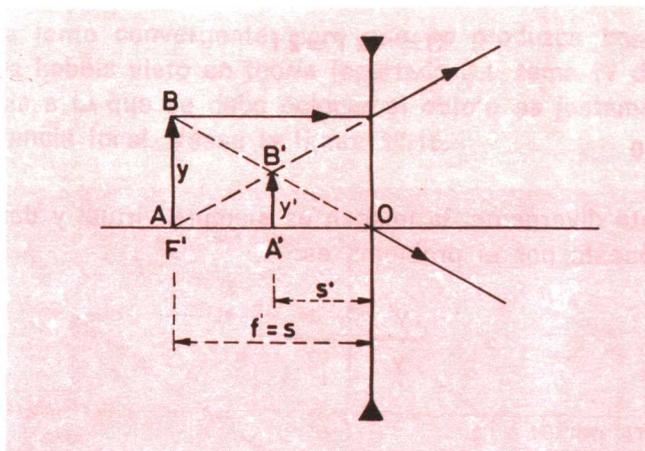


FIG. 17-16

#### 17.4 PROBLEMAS ADICIONALES

##### ● Problema 1

Una lente, de índice de refracción 1,50, tiene una distancia focal imagen en el aire de 20 cm. Calcúlese el valor de la distancia focal de dicha lente, cuando se la sumerge en agua, teniendo en cuenta que el índice de refracción del agua es 1,33.

Aplicando la fórmula de las lentes, para el caso de que la lente esté en el aire:

$$\frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Sustituyendo:

$$\frac{1}{20} = (1,50 - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad [a]$$

Ahora bien, al introducir la lente en el agua, es preciso recordar que  $n$  representa un índice de refracción relativo al medio; por tanto:

$$n = \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{agua}}} = \frac{1,50}{1,33}$$

Por tanto:

$$\frac{1}{f'} = \left( \frac{1,50}{1,33} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Dividiendo miembro a miembros las expresiones [a] y [b] resulta:

$$\frac{\frac{1}{20}}{\frac{1}{f'}} = \frac{(1,50 - 1)}{\frac{1,50}{1,33} - 1}$$

$$\frac{f'}{20} = \frac{0,5}{0,17} \cdot 1,33$$

de donde:

$$f' = \frac{20 \cdot 0,5 \cdot 1,33}{0,17} = 78,2 \text{ cm}$$

### ● Problema 2

La distancia focal de una lente convergente biconvexa es de 20 cm. Sus caras tienen igual curvatura, siendo el radio de 25 cm en valor absoluto. Calcúlese el índice de refracción de la lente.

$$R \rightarrow n = 1,63$$

### ● Problema 3

Delante de una lente convergente debe situarse un objeto, de forma que su imagen sea virtual y cuatro veces mayor que el objeto. Calcúlese la distancia a que habría que situarlo, sabiendo que la focal de la lente es de 25 cm.

$$R \rightarrow S = -18,75 \text{ cm}$$

## 17.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Sigue para su ejecución las normas dadas en autoevaluaciones anteriores.

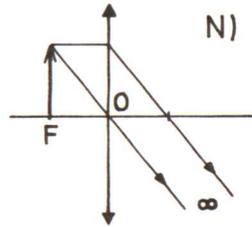
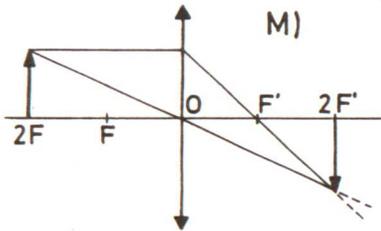
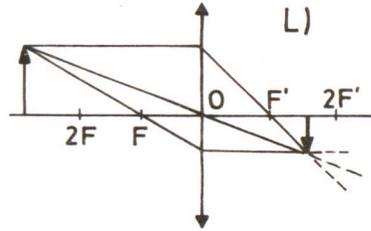
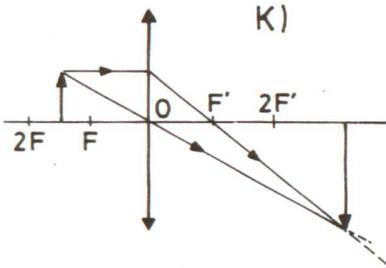
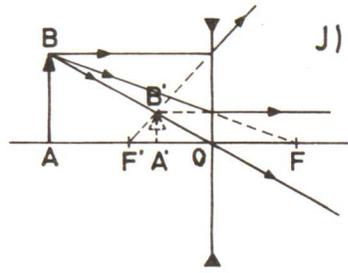
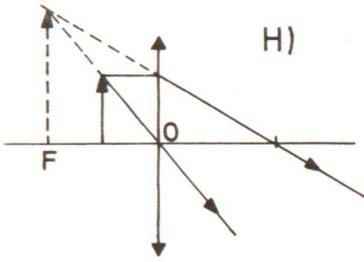
### ● Cuestiones de identificación o de emparejamiento

*Dadas las lentes siguientes, identificar cada letra con el nombre que le corresponde:*



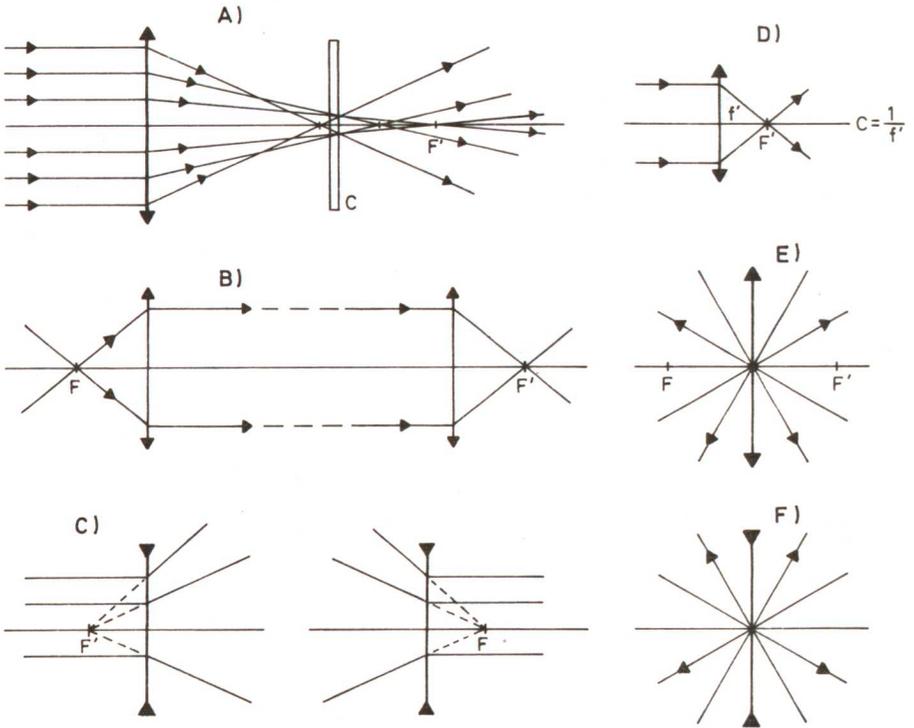
1. Biconvexa (    )
2. Plano-convexa (    )
3. Cóncavo-convexa o menisco convergente (    )
4. Convexa-cóncava o menisco divergente (    )
5. Bicóncava (    )
6. Plano-cóncava (    )
7. De las lentes anteriores son convergentes (cítense las letras):  
.....
8. De las lentes anteriores son divergentes (cítense las letras):  
.....

*Dadas las siguientes construcciones gráficas de imágenes en lentes convergentes y divergentes, identificarlas con las características siguientes:*



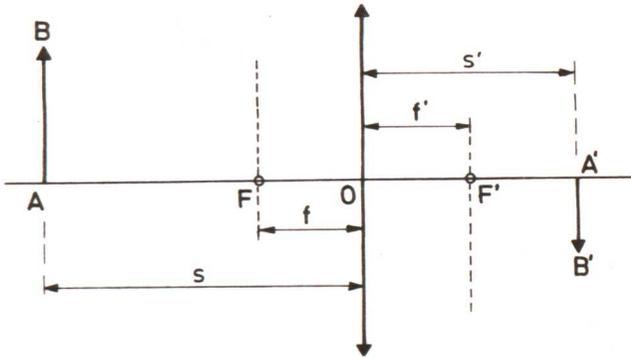
9. Objeto situado entre  $\infty$  y F. Imagen real, invertida menor entre  $F'$  y  $2F'$  ( )
10. Objeto en  $2F$ . Imagen real, invertida igual, en  $2F'$  ( )
11. Objeto entre  $2F$  y  $F$ . Imagen real, invertida, mayor, entre  $2F'$  e  $\infty$  ( )
12. Objeto en F. Imagen en infinito ( )
13. Objeto entre  $F'$  e infinito. Imagen virtual, derecha, menor, entre  $F'$  y O ( )
14. Objeto entre F y O. Imagen virtual, derecha, mayor, entre  $\infty$  y O ( )
15. Construcción de imágenes en lentes divergentes ( )
16. Lente que funciona como lupa ( )

Identificar los siguientes conceptos o puntos con las figuras correspondientes:



17. Centro óptico en una lente convergente (atención, en el libro de texto hay una errata) ( )
18. Foco imagen y foco objeto en lentes divergentes ( )
19. Foco objeto y foco imagen en lentes convergentes (atención, hay una errata en el libro de texto) ( )
20. Centro óptico en una lente divergente ( )
21. Convergencia de una lente convergente ( )
22. Aberración de esfericidad ( )

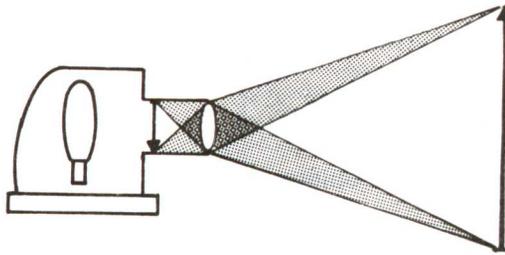
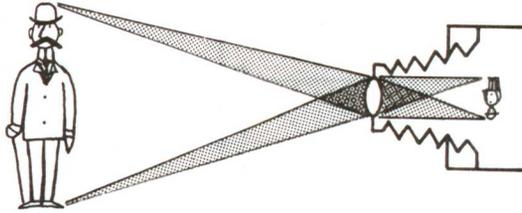
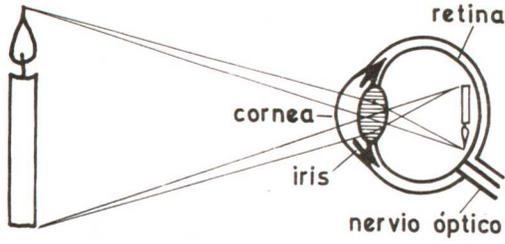
Obsérvese el sistema de coordenadas adjunto:



23. Según el convenio de signos aceptado,  $S$  es .....
24. El signo de  $f$  es .....
25. El signo de  $f'$  y  $S'$  es .....
26. El signo de tamaño del objeto será .....
27. El signo del tamaño de la imagen es .....

● **Completar las palabras que faltan**

28. Las figuras adjuntas representan el funcionamiento y esquema simplificado del ojo humano, de la cámara fotográfica y de un aparato de proyección de diapositivas. Los tres utilizan lentes .....  
 ....., en el proyector el ..... es menor que la .....  
 En todos los casos la imagen es .....  
 e .....



● **Cuestiones de opción única**

29. Una lente plano-cóncava de distancia focal 0,2 m produce una imagen real a una distancia del objeto de:
- A) 0,2 m
  - B) 0,25 m
  - C) 0,40 m
  - D) 0,10 m
  - E) Ninguna, pues no se produce imagen real.

29

30. Una lente convergente tiene una potencia de +10 dioptrías. Se utiliza para formar una imagen de un objeto situado a 0,12 m de la lente. Esta imagen es:

- A) Real, derecha y mayor.
- B) Real, invertida y menor.
- C) Virtual, invertida y mayor.
- D) Real, invertida y mayor.
- E) Virtual, derecha y menor.

30

31. Para producir una imagen derecha a 0,3 m de una lente convergente de distancia focal 0,15 m, el objeto debe estar situado a una distancia de la lente de:

- A) 0,1 m                      C) 0,20 m                      E) 0,45 m
- B) 0,15 m                      D) 0,30 m

31

32. La distancia entre un objeto y su imagen formada por una lente convergente de distancia focal 10 cm, cuando el objeto está a 20 cm de la lente, es de:

- A) 6,66 cm                      C) 26,66 cm                      E) 40 cm
- B) 20 cm                      D) 30 cm

32

33. La distancia a la que debe colocarse un objeto de una lente convergente de cuatro dioptrías para que se produzca una imagen virtual doble es de:

- A) 0,375 m                      C) 0,25 m
- B) 0,125 m                      D) 0,50 m

33

34. Cinco lentes están fabricadas con la misma clase de vidrio. Los radios de curvatura de cada una de sus caras se dan a continuación. ¿Cuál tiene la menor distancia focal?
- A) 20 cm convexa y 30 cm convexa.
  - B) Una cara convexa 15 cm y la otra cara plana.
  - C) Una cara convexa 5 cm y la otra cóncava 10 cm.
  - D) Las dos caras convexas de 10 y 15 cm.
  - E) Una cara plana y la otra 20 cm convexa.

34

## 17.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Ejercicios de identificación

- |            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 1. D       | 10. M | 19. B        |
| 2. F       | 11. K | 20. F        |
| 3. B       | 12. N | 21. D        |
| 4. E       | 13. J | 22. A        |
| 5. A       | 14. H | 23. Negativo |
| 6. C       | 15. J | 24. Negativo |
| 7. D, B, F | 16. H | 25. Positivo |
| 8. A, C, E | 17. E | 26. Positivo |
| 9. L       | 18. C | 27. Negativo |

### ● Completar las frases...

28. convergentes, objeto, imagen, real, invertida

### ● Cuestiones de opción única

- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 29. E | 31. A | 33. B |
| 30. D | 32. E | 34. D |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 34 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 28 puntos.*



## TEMA 18

### OBJETIVOS

### Electrostática

- Explicar en qué consiste el potencial eléctrico y por qué se define así.
- Definir la unidad de carga eléctrica en el SI.
- Describir los fundamentos de atracción y repulsión entre cargas eléctricas.
- Enunciar la ley de Coulomb y escribir la fórmula correspondiente.
- Escribir el valor (la expresión) de la constante de proporcionalidad de la ley de Coulomb según el medio en que se encuentren las cargas.
- Definir campo eléctrico, líneas de fuerza y unidad de intensidad de campo eléctrico en el SI.
- Definir el concepto de potencial eléctrico y su unidad en el SI.
- Escribir la expresión que nos permite calcular el trabajo eléctrico en función de la carga y de las diferencias de potencial.
- Aplicar las nociones y fórmulas estudiadas a la resolución de cuestiones y problemas numéricos.





## OBJETIVOS

- Explicar en qué consiste la electrización por frotamiento y por inducción.
- Definir la unidad de carga eléctrica en el SI.
- Describir los fenómenos de atracción y repulsión entre cargas eléctricas.
- Enunciar la ley de Coulomb y escribir la fórmula correspondiente.
- Escribir el valor (la expresión) de la constante de proporcionalidad de la ley de Coulomb según el medio en que se encuentran las cargas.
- Definir campo eléctrico, líneas de fuerza y unidad de intensidad de campo eléctrico en el SI.
- Definir el concepto de potencial eléctrico y su unidad en el SI.
- Escribir la expresión que nos permite calcular el trabajo eléctrico en función de la carga y de las diferencias de potencial.
- Aplicar las nociones y fórmulas estudiadas a la resolución de cuestiones y problemas numéricos.

## **INDICE**

- 18.1 CONTENIDOS BASICOS
- 18.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 18.3 PROBLEMA ADICIONAL
- 18.4 EXPERIMENTO CASERO
- 18.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 18.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 18.1 CONTENIDOS BASICOS

- Electrización por frotamiento (T).
- Aisladores y conductores (T).
- Cuerpos cargados con electricidad positiva, negativa. Cuerpos neutros (T).
- Electroscopio (T).
- Electrización por inducción (T).
- Carga eléctrica: el culombio (T).
- Ley de Coulomb (T).
- Permitividad (T).
- Campo eléctrico (T).
- Líneas de fuerza (T).
- Intensidad de campo eléctrico (T).
- Unidad de campo eléctrico (T).
- Potencial eléctrico (T).
- Unidad de potencial eléctrico: el voltio (T).
- Diferencia de potencial entre dos puntos (T).
- Superficies equipotenciales (T).
- Trabajo eléctrico (T).

## 18.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

El primer péndulo, al ser tocado con la barra de vidrio electrizada (electricidad positiva) queda cargado positivamente. Si al acercarse los dos péndulos se repelen, es que tienen electricidad del mismo signo,

por tanto el segundo péndulo quedó electrizado por un cuerpo de electricidad positiva.

### ● Cuestión 2

Esta cuestión no tiene dificultad si has estudiado bien los apartados 1-3 y 1-4 del texto. Realmente en ellos encontrarás la respuesta razonada a estas preguntas.

### ● Cuestión 3

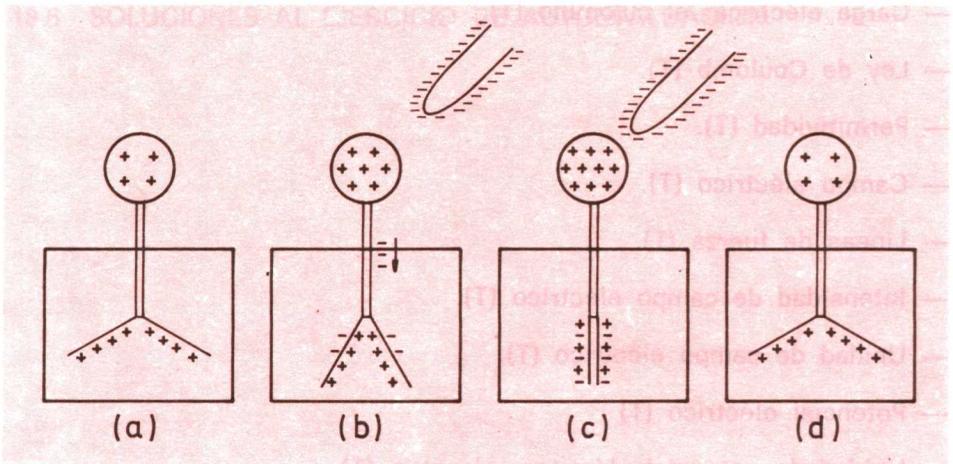


FIG. 18-1

En la figura 18.1 (a), el electroscopio está cargado positivamente. Esto quiere decir que, en el mismo, existe un **exceso de cargas positivas sobre las negativas** pero éstas también existen aunque no las hayamos representado en la figura (a). Como consecuencia, existe una fuerza electrostática de repulsión entre las hojas del electroscopio.

En la figura (b) representamos lo que sucede al acercar al electroscopio (sin tocarlo) un cuerpo con carga negativa intensa: emigran cargas negativas desde la bola superior a las hojas del electroscopio produciéndose en ellas una disminución del exceso de cargas positivas sobre las negativas y, por tanto, disminuye también la fuerza electrostática de repulsión haciendo que las hojas del electroscopio se acerquen. Al mismo tiempo, en la bola del electroscopio ha aumentado el exceso de cargas positivas sobre las negativas.

En la figura (c), al acercar aún más el cuerpo cargado negativamente al lectroscopio (pero sin tocarlo), aumenta el número de cargas negativas que emigran desde la bola a las hojas del electroscopio y puede suceder que en éstas el número de cargas positivas y negativas se igualen, con lo que la fuerza electrostática de repulsión se anula y las hojas quedan en posición vertical.

Por último, en (d) se ha retirado el cuerpo cargado negativamente, por lo que se produce en la bola y en las hojas del electroscopio una redistribución de cargas, quedando finalmente la situación como en (a).

● **Problema 4**

Para calcular la fuerza que ejercen entre sí dos cargas puntuales, usamos la ley de Coulomb.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qq'}{d^2}$$

Aplicando esta ecuación al caso de nuestro problema, que es el vacío, queda de la forma

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d^2}$$

siendo  $q$  y  $q'$  las cargas medidas en C,  $d$  la distancia entre ellas en m,  $\epsilon_0$  es la permitividad del vacío; el valor de

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$$

Aplicando, tenemos:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{10^{-6} \text{ C} \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(3 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m}^2} = 10^{-2} \text{ N}$$

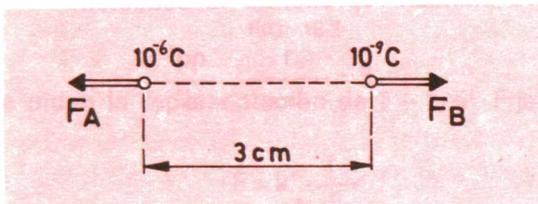


FIG. 18-2

Fíjate (fig. 18-2) que los vectores fuerzas están en la recta que une ambas cargas. Hay dos fuerzas:  $F_A$  de módulo  $10^{-2}$  N aplicada sobre la carga de  $10^{-6}$  C y la  $F_B$  de módulo  $10^{-2}$  N aplicada sobre la carga de  $10^{-9}$  C. Ambas fuerzas están aplicadas en cuerpos diferentes, una es la reacción de la otra.

● **Problema 5**

La resolución de este problema no ofrece dificultad si has entendido el problema anterior, Aplicamos la ley de Coulomb para los distintos casos, poniendo los resultados en forma de tabla.

distancia $d$ (m)	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq'}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}^2}{d^2} =$ $= 36 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{d^2} \text{ N}$
$2 \cdot 10^{-2}$	$F = 36 \cdot 10^{-3} \frac{1}{(2 \cdot 10^{-2})^2} = 90 \text{ N}$
$3 \cdot 10^{-2}$	$F = 36 \cdot 10^{-3} \frac{1}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 40 \text{ N}$
$4 \cdot 10^{-2}$	$F = 36 \cdot 10^{-3} \frac{1}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 22,5 \text{ N}$
$6 \cdot 10^{-2}$	$F = 36 \cdot 10^{-3} \frac{1}{(6 \cdot 10^{-2})^2} = 10 \text{ N}$
$12 \cdot 10^{-2}$	$F = 36 \cdot 10^{-3} \frac{1}{(12 \cdot 10^{-2})^2} = 2,50 \text{ N}$

Para hacer la representación  $F-d$  vamos a recordar lo que hiciste en el tema 2. Te mandan representar la ecuación:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d^2}$$

observa que:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} qq'$$

es constante, vale  $36 \cdot 10^{-3} = k'$ , luego la ecuación anterior la puedes escribir en la forma:

$$F = k' \frac{1}{d^2} \quad [1]$$

como  $d$  está elevado al cuadrado, la representación de  $F$  frente a  $d$  será una curva (fig. 18-3).

Si te fijas bien, encuentras cierto parecido entre esta ecuación y la que viste en cinemática:

$$s = \frac{1}{2} g t^2 ; \quad s = k'' t^2$$

Aquí ocurre que  $s$  es directamente proporcional al cuadrado del tiempo.

En la expresión [1], al dar valores crecientes a la variable  $d$ ,  $F$  disminuye, de tal manera que  $F$  es inversamente proporcional al cuadrado del tiempo. Si has olvidado las normas de construcción de gráficas, repasa lo que te dijimos en el tema 1.

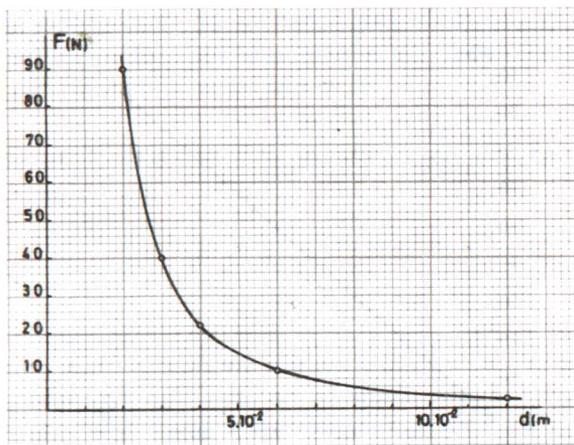


FIG. 18-3

También te piden la representación de  $F - 1/d^2$ . Fíjate en la ecuación

$$F = k' \frac{1}{d^2}$$

Como vamos a representar en el eje de las X los valores de  $1/d^2$  podemos poner que  $1/d^2=X$ , siendo X la variable. La ecuación anterior queda:

$$F = k' x$$

que es una ecuación de primer grado, luego la representación de  $F$  frente a  $x$  será una línea recta (fig. 18-4).

La tabla de valores de  $F$  y de  $1/d^2$  es la siguiente:

d (m)	$d^2$	$1/d^2$ ( $m^{-2}$ )	F (N)
$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	2500	90
$3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$	1111	40
$4 \cdot 10^{-2}$	$16 \cdot 10^{-4}$	625	22,5
$6 \cdot 10^{-2}$	$36 \cdot 10^{-4}$	278	10
$12 \cdot 10^{-2}$	$144 \cdot 10^{-4}$	69,4	2,5

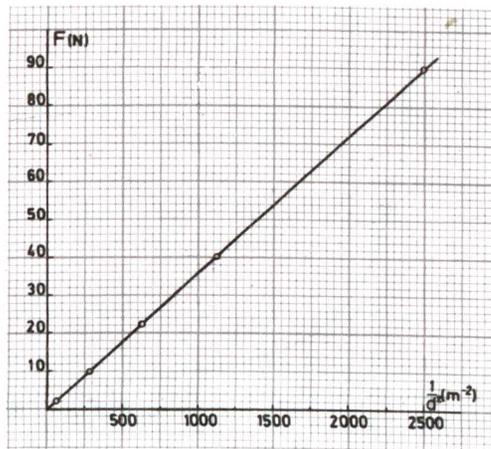


FIG. 18-4

### ● Problema 6

Para resolver este problema debes mirar en el texto lo que es campo

eléctrico y lo que significa intensidad de campo eléctrico (tema 18, apartado 5.1).

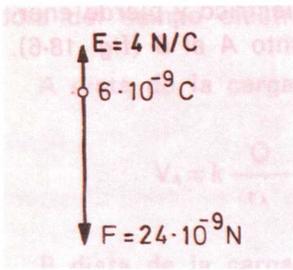


FIG. 18-5

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{luego}$$

$$E = \frac{24 \cdot 10^{-9} \text{ N}}{-6 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = -4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

¿Qué significa el signo negativo? Sencillamente que  $E$  es un vector y se define como la fuerza que sufre la *unidad de carga positiva*. Como en el problema te dan una carga negativa  $q$  el valor  $-4 \text{ N/C}$  significa que  $E$  es un vector que tiene la dirección de la fuerza, sentido contrario a ella (por tanto, vertical hacia arriba) y de módulo  $4 \text{ N/C}$  (fig. 18-5).

### ● Problema 7

Si has entendido el problema anterior, éste puedes resolverlo tú solo. Necesitas saber cuál es la carga del electrón, ya que los rayos catódicos están formados por electrones en movimiento; búscala en el libro de texto (tema, 18 apartado 2.2).

El resultado es  $F = 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ N}$ , en dirección del campo eléctrico y en sentido contrario.

### ● Problema 8

Para resolver este problema debes recurrir a la expresión de la diferencia de potencial, que está en el apartado 6.6, tema 18, del texto, que dice «el trabajo es igual a la carga transportada por la diferencia de potencial entre los puntos», luego

$$\mathcal{E} = 10^{-6} \text{ C} \cdot (+500) \text{ V} = +5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

El problema que se plantea aquí es el siguiente: ¿ $\mathcal{E}$  es un trabajo que yo tengo que realizar? Veamos: Las cargas positivas van espontáneamente de los mayores a los menores potenciales, por tanto, tú no

tienes que realizar trabajo. Una piedra cae espontáneamente de mayor a menor altura, tú no intervienes en el proceso que es espontáneo, luego el trabajo de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$  lo realiza el campo eléctrico y pierde energía; la carga positiva va espontáneamente del punto A al B (fig. 18-6).

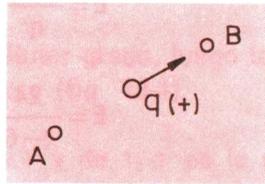


FIG. 18-6

Si ahora vas de B a A, el trabajo en valor absoluto es el mismo, es decir  $5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ . ¿Cuál es la diferencia con el caso anterior? De la misma manera que no es un fenómeno espontáneo que una piedra se eleve una altura  $h$  sobre el suelo, tampoco lo es que las cargas positivas pasen de menor a mayor potencial. En definitiva, ahora tú tienes que realizar un trabajo para llevar una carga positiva desde el menor al mayor potencial y ese trabajo queda acumulado en el campo.

*En resumen:*

Si A tiene mayor potencial que B, la carga positiva va espontáneamente de A a B y el trabajo lo realiza el campo.

Si vamos de B a A, la carga positiva no va espontáneamente, hemos de realizar un trabajo para llevarlo de B a A.

Por consiguiente: Las cargas positivas se mueven espontáneamente de los mayores a los menores potenciales de un campo eléctrico.

¿Qué ocurre si la carga que se transporta es negativa?

Las cargas negativas se mueven espontáneamente de los menores a los mayores potenciales.

Por tanto, la carga negativa no va espontáneamente del mayor potencial al menor, si eso ocurre es preciso que nosotros realicemos un trabajo de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ , que queda almacenado en el campo eléctrico.

De menor a mayor potencial (B a A), el proceso es espontáneo y el trabajo vale  $5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ , pero es realizado por el campo eléctrico.

Finalmente, un gráfico (fig. 18-7) te ayudará a comprender el movimiento espontáneo de las cargas. Q representa una carga positiva creadora del campo eléctrico.

A dista de la carga  $r_A$ , luego:

$$V_A = k \frac{Q}{r_A}$$

B dista de la carga  $r_B$ , luego:

$$V_B = k \frac{Q}{r_B}$$

Como  $r_A < r_B$

$$V_A > V_B$$

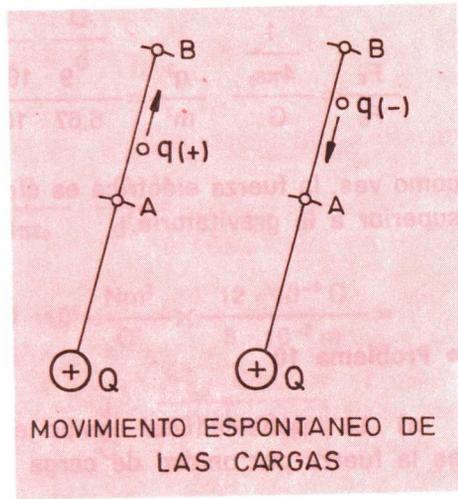


FIG. 18-7

Fíjate que una carga  $+q$  es repelida por  $Q$ , luego tiende a moverse de A hacia B, o sea, de mayor a menor potencial.

Si la carga es negativa  $-q$  es atraída por  $Q$ , luego se movería de B hacia A, es decir de los menores a los mayores potenciales.

### ● Problema 9

La ley de Coulomb es:

$$F_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d^2}$$

$q$  y  $q'$  carga de los cuerpos, siendo  $q = q' = 2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  en este caso.

La ley de la gravitación universal es:

$$F_G = G \frac{mm'}{d^2}$$

$m$  y  $m'$  masa de los cuerpos; aquí  $m = m' = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

Para comparar ambas fuerzas no tenemos más que dividir ambas expresiones y ver cuántas veces es mayor una fuerza que la otra:

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}}{G} \frac{q^2}{m^2} = \frac{9 \cdot 10^9}{6,67 \cdot 10^{-11}} \frac{(3,2 \cdot 10^{-19})^2}{(6,68 \cdot 10^{-27})^2} = 3,1 \cdot 10^{35}$$

como ves, la fuerza eléctrica es cientos y cientos de millones de veces superior a la gravitatoria.

### ● Problema 10

a) La intensidad del campo eléctrico  $E$  es un vector, su módulo es la fuerza por unidad de carga positiva.

En el punto medio  $A$  (fig. 18-8) imagínate que estuviese la unidad de carga positiva. El campo eléctrico debido a la carga situada en  $P$ , es un vector  $\vec{E}_P$  dirigido hacia la derecha. El campo eléctrico debido a la carga situada en  $P'$  es un vector  $\vec{E}_{P'}$  dirigido hacia la izquierda.

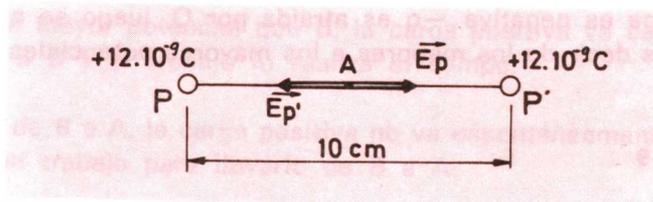


FIG. 18-8

Puesto que las cargas son iguales, los módulos de  $E_P$  y  $E_{P'}$  son iguales, luego la suma vectorial de ambos vectores es cero. El campo es nulo en  $A$ .

El potencial es un escalar. El potencial en  $A$  debido a la carga colocada en  $P$  vale:

$$V = K \frac{Q}{d} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d}$$

(expresión del apartado 6.1 del tema 18 del texto) siendo  $d = 10/2 = 5 \text{ cm}$ .

El potencial debido a la carga colocada en P' vale lo mismo:

$$V' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d}$$

luego

$$\begin{aligned} V_A &= V + V' = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d} = \\ &= 2 \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} \frac{Q}{d} = 2 \times 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \times \frac{12 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{5 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = \\ &= 43,2 \cdot 10^2 \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = 43,2 \cdot 10^2 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 43,2 \cdot 10^2 \text{ V} \end{aligned}$$

b) Al igual que en el caso anterior, imagínate que en A (fig. 18-9) está situada la unidad de carga positiva. El campo debido a la carga situada en P es un vector ( $\vec{E}_P$ ) dirigido hacia la derecha, y el campo debido a la carga situada en P' es  $\vec{E}_{P'}$ , también dirigido hacia la derecha, pues la carga situada en P' es negativa, por tanto la fuerza sobre la unidad de carga positiva situada en A es atractiva, es decir en el sentido de A a P'.

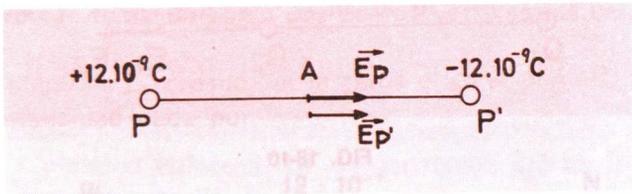


FIG. 18-9

En este caso  $\vec{E}_P$  y  $\vec{E}_{P'}$  son dos vectores que tienen la misma dirección y el mismo sentido

$$E_A = E_P + E_{P'}$$

El módulo de  $\vec{E}_P$  vale:

$$E_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{12 \times 10^{-9}}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 4,32 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

El módulo de  $\vec{E}_P$  vale lo mismo que el de  $\vec{E}_{P'}$ , pues las cargas son iguales en valor absoluto, luego

$$E_A = 8,64 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

siendo  $\vec{E}_A$  un vector dirigido de A hacia el punto P'.

Los potenciales en el punto A son iguales y de signo contrario, por tanto, resulta  $V_A = 0$ .

c) El caso es análogo al a), sólo que cambia el medio, pero a efectos del valor del campo en el punto A, no afecta el medio. En cualquier medio, la intensidad del campo en A será nulo, puesto que es el resultado de actuar dos vectores iguales de la misma dirección y sentido contrario.

En cuanto al potencial, vendrá afectado en el sentido de que al estar en un medio de permitividad, 81 veces mayor que en el vacío, el potencial será 81 veces menor.

d) Suponemos que ambas cargas están en el vacío (fig. 18-10).

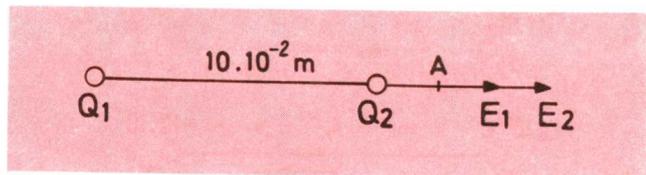


FIG. 18-10

En el punto A, colocado en la dirección de la recta que une las cargas, a 2 cm de  $Q_1$ , y por tanto, a 12 cm de  $Q_2$ , la intensidad de campo será la suma de las intensidades  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$  en dicho punto, debidas respectivamente a las cargas  $Q_1$  y  $Q_2$ . Como son vectores de igual dirección y sentido, su suma es sencilla.

$$E_1 = k \frac{Q}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-9}}{12^2 \cdot 10^{-4}} = 7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-4}} = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 270 \cdot 10^3$$

Por tanto

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_A = 277,5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

En cuanto al potencial en A, será la suma de los potenciales  $V_1$  y  $V_2$

$$V_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-9}}{12 \cdot 10^{-2}} = 9 \cdot 10^2 \text{ V}$$

$$V_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-2}} = 54 \cdot 10^2 \text{ V}$$

$$V = 6\,300 \text{ V}$$

### 18.3 PROBLEMA ADICIONAL

Dos cargas puntuales de  $Q_1 = +12 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  y  $Q_2 = -12 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ , están separadas 10 cm y en el vacío. Calcular la intensidad y la dirección del campo eléctrico creado por ellas en el tercer vértice del triángulo equilátero formado tomando como dos de sus vértices las cargas dadas.

El campo eléctrico  $\vec{E}_1$ , creado por la carga  $q_1$  en el punto C (fig. 18-11) tendrá una intensidad dada por

$$E_1 = K \frac{q_1}{d_1^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-9}}{10^{-2}} = 1,08 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Este valor es el del módulo del vector campo  $\vec{E}_1$ ; su dirección y sentido están indicados en la figura.

El campo eléctrico  $\vec{E}_2$ , creado por la carga  $q_2$  en el punto C, será:

$$E_2 = K \frac{q_2}{d_2^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(12 \cdot 10^{-9})}{10^{-2}} = 1,08 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Vemos que el módulo de  $\vec{E}_2$  es igual al de  $\vec{E}_1$  pero su dirección y sentido son los de la figura.

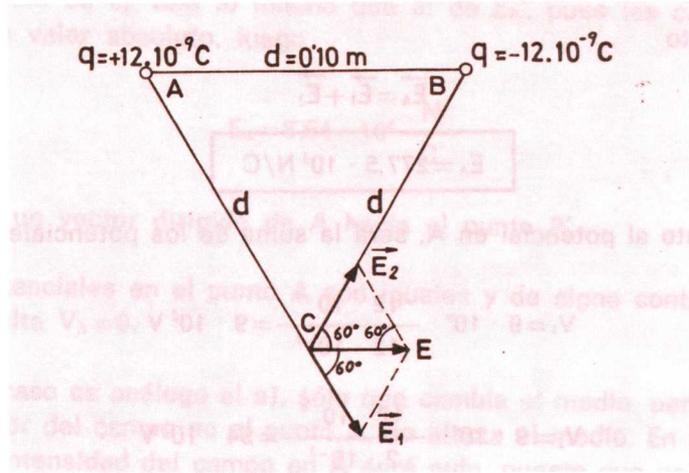


FIG. 18-11

Para saber cuál es el valor del campo en C habrá que sumar vectorialmente  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$ .

Dado que es un triángulo equilátero, el ángulo C será de  $60^\circ$  y el formado por los dos campos (exterior del triángulo) será de  $120^\circ$ .

El campo total  $\vec{E}$  es la diagonal del paralelogramo formado por  $\vec{E}_1$  y  $\vec{E}_2$ , que son de igual módulo. Podemos observar que en el triángulo  $CE_2E$  resulta el ángulo  $E_2CE = CBA$  del triángulo formado por las cargas, por tanto es de  $60^\circ$ . Por otra parte, el ángulo  $CEE_2$  es igual al  $CAB$ , y por tanto, también de  $60^\circ$ . Luego, el ángulo  $CE_2E$  ha de ser también de  $60^\circ$  y el triángulo  $CE_2E$  resulta ser equilátero, entonces el módulo del campo E será igual al de los componentes, su dirección paralela a la línea que une las cargas y su sentido, el marcado por la flecha.

## 18.4 EXPERIMENTO CASERO

### CONSTRUCCION DE UN ELECTROSCOPIO

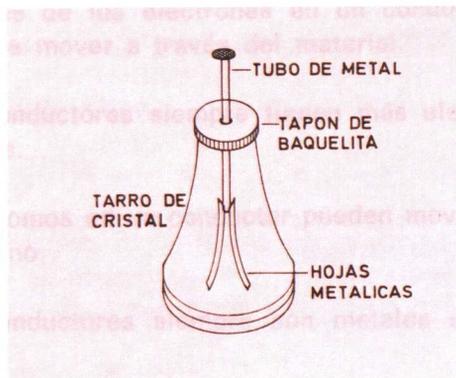
#### MATERIALES

Un bote de cristal con tapa de baquelita (son muy adecuados los botes de «Nescafé»).

Un trozo de metal (puede ser un clavo grande, un trozo de tubería de cobre de las conducciones de butano, tc.).

Papel metálico (sirve el de las chocolatinas o el que se vende en las tiendas para envolver alimentos).

En la figura adjunta te damos una idea de un electroscopio muy sencillo. El tubo de metal debe entrar con cierta dificultad a través del tapón. El agujero sobre el tapón se hace fácilmente calentando al gas de una cocina un trozo de alambre y luego, por medio de unas tenazas que lo sostienen, aplicándolo sobre él.



Las hojas metálicas las cortas iguales y estrechas. Las fijas al tubo metálico por medio de papel adhesivo transparente. Es muy importante que tengan un tamaño adecuado, ni muy pesadas ni demasiado pequeñas; tras varios intentos encontrarás el tamaño idóneo.

Los experimentos de Electroestática siempre fallan si la humedad del ambiente es elevada; en días secos y fríos se obtienen los mejores resultados. Antes de realizar los experimentos con el electroscopio, debes calentar el aire del interior con un secador de aire caliente (los que emplean las señoras para el arreglo del cabello).

Toma una regla de plástico y un trozo de paño de lana. Frota la regla y toca el extremo metálico del electroscopio. Anota tus observaciones y compáralas con las indicaciones del libro de texto.

Repite la operación varias veces y cuando hayas logrado cargar las hojas del electroscopio, toca con tu mano el tubo de metal y anota tus observaciones.

Frota con el paño de lana la regla de plástico y toca la hoja de un cuchillo por un extremo de la regla mientras el otro está en contacto con el tubo de metal (en esta operación debes coger el cuchillo por el mango y no tocar la hoja metálica con la mano). Da una explicación del fenómeno (ayúdate del libro de texto).

Repite el experimento anterior usando otros materiales, tales como trozos de plástico, de madera, tornillos, tijeras, etc. Clasifica, en función de la respuesta del electroscopio, en materiales conductores y no conductores.

## 18.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Sigue para su ejecución las normas dadas en los ejercicios de auto-evaluación anteriores.

### ● Cuestiones de opción única (22 puntos):

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es CIERTA?:

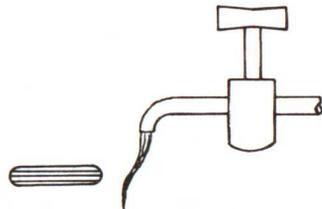
- A) Los aisladores no contienen electrones.
- B) Algunos de los electrones en un conductor son libres para poderse mover a través del material.
- C) Los conductores siempre tienen más electrones que los aisladores.
- D) Los átomos en un conductor pueden moverse, pero en un aislador, no.
- E) Los conductores siempre son metales sólidos.

1

2. Un chorro delgado de agua que sale de un grifo puede desviarse de la forma que se muestra en la figura, si colocamos una barra de plástico o un peine, previamente frotados, cerca del mismo.

El peine o la barra de plástico

- A) Es el polo norte de un imán.
- B) Es el polo sur de un imán.
- C) Están cargados con electricidad estática.
- D) Es una sustancia magnética.
- E) Está conectada con un cable a tierra.



2

3. Hay dos clases de carga electrostática. Esto se puede probar experimentalmente mediante uno de los siguientes hechos:
- A) Dos barras de ebonita cargadas se repelen entre sí.
  - B) Dos barras de vidrio cargadas se repelen entre sí.
  - C) Una barra de ebonita cargada atrae a una barra de vidrio cargada.
  - D) No se conoce una sustancia cargada que repele a ambos cuerpos cargados.
  - E) Todo lo anterior.

3

4. A menos que se aisle una sustancia metálica no se puede cargar electrostáticamente, ya que:
- A) Su carga se distribuye por toda su superficie.
  - B) No tiene electrones libres.
  - C) Su carga se pierde en los cuerpos que hacen contacto con él.
  - D) Las cargas positivas y negativas se neutralizan entre sí.

4

5. Se quiere probar la carga electrostática de un cuerpo con un electroscopio. El cuerpo toca el borne del electroscopio y se ve que la separación de las hojas:
- A) Aumenta si el cuerpo es neutro y las hojas están cargadas negativamente.
  - B) Disminuye si el cuerpo es negativo y las hojas son positivas.
  - C) Disminuye si el cuerpo es negativo y las hojas son positivas.

- D) Aumenta si el cuerpo es positivo y las hojas son negativas.  
 E) Disminuye si el cuerpo es positivo y las hojas son positivas.

5

6. Un cuerpo cargado positivamente tiene:

- A) Mayor número de electrones de lo que es normal en este cuerpo.  
 B) Deficiencia de electrones.  
 C) Exceso de cargas positivas o protones.  
 D) Igual número de protones que de electrones.  
 E) Nada de lo dicho.

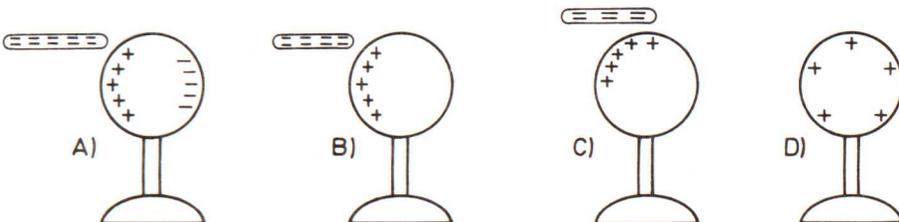
6

7. Si cuatro cuerpos P, Q, R y S están cargados de modo que por una parte P es atraído por R y por otra parte Q es repelido por S, ¿cuál de las siguientes listas de cargas es la correcta?:

- |    | P | Q | R | S |    | P | Q | R | S |
|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|
| A) | — | — | — | + | D) | + | — | — | — |
| B) | — | + | + | — | E) | — | + | — | + |
| C) | + | + | — | — |    |   |   |   |   |

7

8. Los siguientes cuatro diagramas representan las etapas seguidas para cargar un cuerpo por inducción.



¿En qué etapa se ha establecido contacto con el suelo para que el cuerpo quede al final cargado por inducción?

8

9. En tu libro de texto encontrarás que la unidad de carga natural sería la carga del electrón y que éste tiene una carga de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  culombios. Por tanto, recordando la definición de culombio en SI, cuando por una sección de conductor pasan 20 amperios significan el paso de la carga por segundo que corresponde a:

- A)  $20 \times 1,6 \times 10^{-19}$  electrones      C)  $1,6 \times 10^{-19}/20$  electrones  
B)  $20/1,6 \times 10^{-19}$  electrones      D)  $20/1,6 \times 10^{-19}$  electrones

9

10. Dos cargas eléctricas puntuales están separadas entre sí tres metros y sufren una repulsión de 10 N. Si se separan a seis metros, la fuerza de repulsión será:

- A) Dos veces mayor      C) 2,5 N  
B) Dos veces menor      D)  $10/3$  N  
E) 40 N

10

11. Las unidades de la constante de proporcionalidad K en el vacío de la ley de Coulomb para el sistema SI son:

- A)  $m^2 \cdot C^2/N$       C)  $N \cdot m/C^2$   
B)  $N^2 \cdot m/C^2$       D)  $N \cdot m^2/C^2$   
E)  $N \cdot m^2/C$

11

12. El valor de la permitividad del aire es aproximadamente igual a la del vacío, mientras que en el agua es 81 veces mayor. Por tanto, la fuerza electrostática entre dos partículas cargadas igualmente y a la misma distancia al sumergirlas en agua, en comparación con el aire,

- A) Aumenta 81 veces.
- B) Disminuye 81 veces.
- C) El efecto es despreciable.
- D) Aumenta 9 veces.
- E) Disminuye 9 veces.

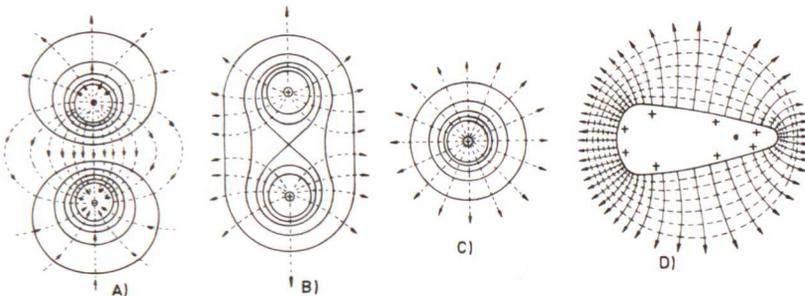
12

13. Las líneas circulares alrededor de una partícula estacionaria cargada eléctricamente, representan más correctamente a:

- A) Las líneas de fuerza de un campo eléctrico.
- B) Líneas de fuerza de un campo magnético.
- C) Líneas de fuerzas de un campo gravitatorio.
- D) Líneas equipotenciales.
- E) Nada de lo dicho.

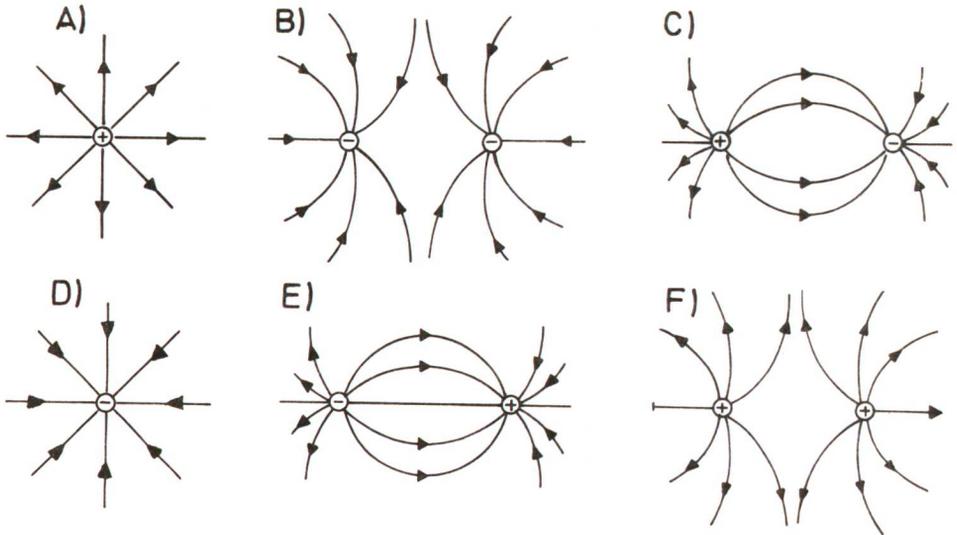
13

14. ¿En cuál de estas figuras las superficies equipotenciales están representadas por líneas de trazos (---) y las líneas de fuerza por líneas continuas?



14

15. ¿En cuál de estas figuras se representan de forma INCORRECTA los signos de las cargas eléctricas?



15

Para estos ejercicios y los siguientes tómesese  $K = 1/4 \pi \epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$ .

16. Dos cargas puntuales aisladas, X e Y, de  $+2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  y  $-4,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ , respectivamente, están situadas a una distancia entre sí de 6,0 m en el vacío. En un punto O intermedio a 4 m de Y el potencial eléctrico es:

A)  $\frac{(2 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{2} + \frac{(4 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{4} \text{ V}$

B)  $\frac{(2 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{2} - \frac{(4 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{4} \text{ V}$

C)  $\frac{(2 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{2^2} + \frac{(4 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{4^2} \text{ V}$

D)  $\frac{(2 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{2^2} - \frac{(4 \times 10^{-6}) (9 \times 10^9)}{4^2} \text{ V}$

$$E) \frac{(2 \times 10^{-12}) (9 \times 10^9)}{2} + \frac{(4^2 \times 10^{-12}) (9 \times 10^9)}{4} \text{ V}$$

16

17. En la cuestión anterior la fuerza entre X e Y es de tipo atractivo y vale:

A)  $0,5 \times 10^{-3} \text{ N}$       C)  $2,0 \times 10^{-3} \text{ N}$       E)  $72 \times 10^{-3} \text{ N}$

B)  $1,0 \times 10^{-3} \text{ N}$       D)  $12 \times 10^{-3} \text{ N}$

17

18. En la cuestión 16 el valor de la intensidad del campo eléctrico en O, expresado en N/C, es de:

A)  $1,0 \times 10^3$       C)  $4,5 \times 10^3$       E)  $9,00 \times 10^3$

B)  $2,25 \times 10^3$       D)  $6,75 \times 10^3$

18

19. La unidad adecuada para la medida de la intensidad del campo eléctrico en un punto es:

A)  $\text{Cm}^2$       C) N/C      E) A/m

B) A m      D) m/V

19

20. La unidad adecuada para medir el potencial eléctrico es el voltio y equivale a:

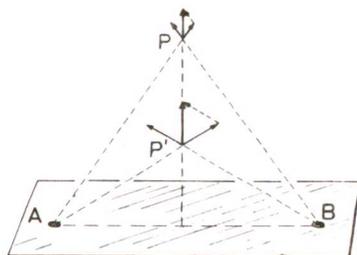
A) J m      C) J/C      E)  $\text{J} \cdot \text{s}/\text{A} \cdot \text{m}$

B) J/A      D) J m/C

20

21. Examina la figura adjunta. En los puntos A y B de un plano horizontal, están situadas dos cargas iguales,  $+Q_A$  y  $+Q_B$ . Estas dos cargas ejercen fuerzas de repulsión sobre una tercera carga  $+q$  que cambia de posición acercándose al plano sobre una vertical cuyos puntos equidistan de A y B. Cuando la carga  $+q$  se aproxima al plano, tanto la fuerza que ejerce  $+Q_A$  como la fuerza que ejerce la carga  $+Q_B$  se hacen cada vez mayores. Cuando la carga  $+q$  está juntamente en el plano, ¿cuánto vale la resultante de las fuerzas que ejercen ambas cargas  $+Q_A$  y  $+Q_B$ ?

- A) Cero.  
 B)  $4 K/r^2 Q (Q_A - Q_B)$   
 C)  $K/r^2 Q (Q_A - Q_B)$   
 D)  $4 K/r^2 Q (Q_A + Q_B)$   
 E)  $K/r^2 Q (Q_A + Q_B)$



21

22. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es FALSA?

- A) En todos los puntos de un conductor en equilibrio el potencial es el mismo.  
 B) En un conductor en equilibrio, las cargas eléctricas no se mueven.  
 C) En una superficie equipotencial el potencial es nulo.  
 D) El trabajo eléctrico para transportar una carga eléctrica a lo largo de una superficie equipotencial es nulo.  
 E) La diferencia de potencial entre A y B viene medida por el trabajo empleado para llevar de un punto A a otro B la unidad de carga positiva.

22

## 18.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Cuestiones de opción única

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. B | 9. D  | 16. B |
| 2. C | 10. C | 17. C |
| 3. E | 11. D | 18. D |
| 4. C | 12. B | 19. C |
| 5. B | 13. D | 20. C |
| 6. B | 14. D | 21. A |
| 7. D | 15. E | 22. C |
| 8. B |       |       |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 22 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente 16 puntos.*



## TEMA 19

### OBJETIVOS

- Describir el mecanismo de la corriente eléctrica dentro de un conductor metálico.
- Describir las diferencias existentes entre corriente continua y alterna.
- Dibujar un esquema de un circuito eléctrico cualquiera de corriente continua, señalar en el mismo el sentido de la corriente y describir qué hace el generador en relación con la energía.
- Escribir la expresión matemática que relaciona la intensidad de corriente con la cantidad de electricidad y el tiempo, y expresar en qué unidades del SI se miden las magnitudes que intervienen.
- Describir las características internas que definen si un aparato es un amperímetro o un voltímetro y la forma de instalarlos en un circuito.
- Manejar los conceptos de intensidad de corriente, diferencia de potencial, resistencia y la relación entre ellos (o ley de Ohm), en un circuito, y definir la unidad en el SI de resistencia eléctrica.
- Enumerar los factores de los que depende la resistencia de un conductor, en relación con éste; escribir la ecuación matemática correspondiente y definir qué representa la constante de proporcionalidad.



## OBJETIVOS

- Describir el mecanismo de la corriente eléctrica dentro de un conductor metálico.
- Describir las diferencias existentes entre corriente continua y alterna.
- Dibujar un esquema de un circuito eléctrico cualquiera de corriente continua, señalar en el mismo el sentido de la corriente y describir qué hace el generador en relación con la energía.
- Escribir la expresión matemática que relaciona la intensidad de corriente con la cantidad de electricidad y el tiempo, y expresar en qué unidades del SI se miden las magnitudes que intervienen.
- Describir las características internas que definen si un aparato es un amperímetro o un voltímetro y la forma de instalarlos en un circuito.
- Manejar los conceptos de intensidad de corriente, diferencia de potencial, resistencia y la relación entre ellos (o ley de Ohm), en un circuito, y definir la unidad en el SI de resistencia eléctrica.
- Enumerar los factores de los que depende la resistencia de un conductor, en relación con éste; escribir la ecuación matemática correspondiente y definir qué representa la constante de proporcionalidad.

- Escribir las ecuaciones que expresan la resistencia equivalente a otras asociadas en serie o en derivación.
- Escribir la expresión matemática que relaciona el trabajo eléctrico con la diferencia de potencial, la intensidad de corriente y el tiempo.
- Escribir la relación matemática que expresa la energía transportada por unidad de tiempo en un circuito.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en el tema a la resolución de problemas y ejercicios.

## **INDICE**

### **19.1 CONTENIDOS BASICOS**

### **19.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO**

### **19.3 PROBLEMAS ADICIONALES**

### **19.4 EXPERIMENTOS CASEROS**

#### **19.4.1 Experimento 1.º**

#### **19.4.2 Experimento 2.º**

#### **19.4.3 Experimento 3.º**

### **19.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION**

### **19.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION**

## 19. 1 CONTENIDOS BASICOS

- Corriente eléctrica (T).
- Diferencia de potencial (T).
- Sentido de la corriente (T).
- Corriente alterna y continua (T).
- Generador eléctrico (T).
- Efectos de una corriente eléctrica: calorífico, químico y magnético (T).
- Intensidad de la corriente: Amperio (T).
- Amperímetros y voltímetros (T).
- Ley de Ohm (T).
- Resistencia eléctrica: Ohmio (T).
- Factores de que depende la resistencia eléctrica (T).
- Resistencia equivalente. En *serie* y en *derivación* (T).
- Energía y potencia eléctricas (T).
- Ley de Joule (T).

## 19.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

*Primera figura:* El sentido de la corriente es del polo positivo de ( -- ——— | | ——— -- ) la pila al negativo, por el circuito externo.

Siguiendo el sentido de la corriente, los elementos de este circuito son:

1. Pila.
2. Interruptor, que está abierto, por tanto también el circuito estará abierto.
3. Dos bombillas, que están en serie, intercaladas en el circuito.

*Segunda figura:* Siguiendo el sentido de la corriente, que siempre es del polo positivo de la pila al negativo, los elementos de este circuito son:

1. Dos pilas conectadas en serie.
2. Interruptor abierto (circuito abierto).
3. Dos bombillas (en derivación).

*Tercera figura:* Siguiendo el sentido de la corriente, los elementos de este circuito son:

1. Pila.
2. Interruptor cerrado (circuito cerrado).
3. Dos resistencias en serie.
4. Una bombilla en serie.

## ● Cuestión 2

La goma o el plástico son materiales aislantes e impiden que se produzca un cortocircuito. Igualmente el mango de los destornilladores es de plástico para evitar que un contacto del metal con el cable de conducción le produzca una descarga al electricista. En cuanto a los pájaros, no les pasa nada; mientras no hagan contacto con tierra simultáneamente, o bien con otro cable.

## ● Cuestión 3

De la figura 19-11 del texto, el circuito bien dibujado es el último, ya que el amperímetro ha de conectarse en serie y el voltímetro en

derivación entre los puntos M y N. La intensidad de la corriente es medida por el amperímetro; la diferencia de potencial se mide por el voltímetro y ambas magnitudes están relacionadas por la ley de Ohm:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R}$$

siendo R la resistencia del circuito entre los puntos donde está conectado el voltímetro.

#### ● Problema 4

- a) Las resistencias están las tres en serie.
- b)  $V_o - V_p = R_2 \cdot I$

Tenemos que calcular en primer lugar la intensidad de la corriente. Para ello fíjate que en la primera resistencia, dan la diferencia de potencial de 20 V  $V = V_M - V_N$ , entre los extremos de una resistencia de 10  $\Omega$ , por tanto:

$$I = \frac{20 \text{ V}}{10 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Esta intensidad será la misma que la que circule por la segunda resistencia, ya que están en serie, por tanto:

$$V_o - V_p = R_2 I = 20 \cdot 2 = 40 \text{ V}$$

- c) Teniendo en cuenta lo expuesto en el tema 19 del texto, apartado 5.2 b), podemos establecer:

$$V_A - V_B = (V_M - V_N) + (V_O - V_P) + (V_Q - V_S)$$

$$120 \text{ V} = 20 + 40 + (V_Q - V_S)$$

$$V_Q - V_S = 120 - 60 = 60 \text{ V}$$

- d) Podemos hallar la resistencia QS por dos procedimientos:
  - 1) Si conocemos la resistencia total del circuito,  $R_t$ , ya que las

otras dos tienen un valor conocido y las tres resistencias del circuito están en serie (tema 19 del texto, apartado 5.3):

$$R_1 = \frac{V_A - V_B}{I} = \frac{120 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 60 \ \Omega$$

$$R_{QS} = 60 - (10 + 20) = 30$$

2) Aplicando la ley de Ohm a la resistencia  $R_{QS}$ :

$$\frac{V_Q - V_S}{I} = R_{QS} ; \quad \frac{60 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 30 \ \Omega$$

### ● Problema 5

Es obvio decir que las resistencias están en derivación. La intensidad de la corriente (3A) se bifurca al llegar a la derivación de las resistencias, llamaremos  $I_1$  a la intensidad que pasa por la resistencia MN, que es de  $60 \ \Omega$  e  $I_2$  a la que pasa por la resistencia OP, de valor desconocido.

$$I_1 = \frac{V_A - V_B}{R_1} = \frac{120}{60} = 2 \text{ A}$$

Como la intensidad total  $I = I_1 + I_2$ , resulta  $I_2 = I - I_1 = 3 - 2 = 1 \text{ A}$

Conocida  $I_2$  podemos conocer la resistencia OP

$$R_{op} = \frac{V_A - V_B}{I_2} = \frac{120}{1} = 120 \ \Omega$$

### ● Problema 6

Dado que la resistencia de un conductor viene dada por:

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

Para un mismo material, en nuestro caso *constantán*, e igual longitud ( $\ell = 74,5 \text{ cm}$ ), la resistividad  $\rho$  y la longitud  $\ell$  es la misma para todos los alambres conductores, llamando al producto  $\rho \cdot \ell = K$

$$R = K \frac{1}{S}$$

esta expresión nos dice que la resistencia de dichos conductores variará en razón inversa a la sección. La gráfica correspondiente es la de la figura 19-1.

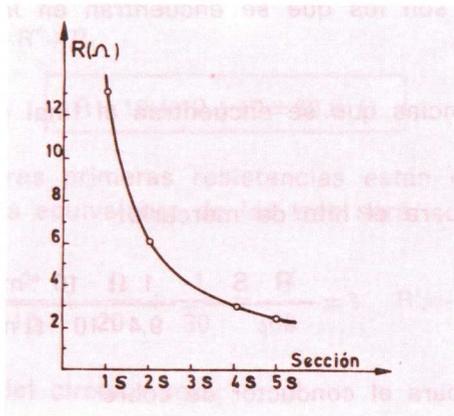


FIG. 19-1

Por el contrario, la resistencia será directamente proporcional a la inversa de la sección (ver figura 19-2).

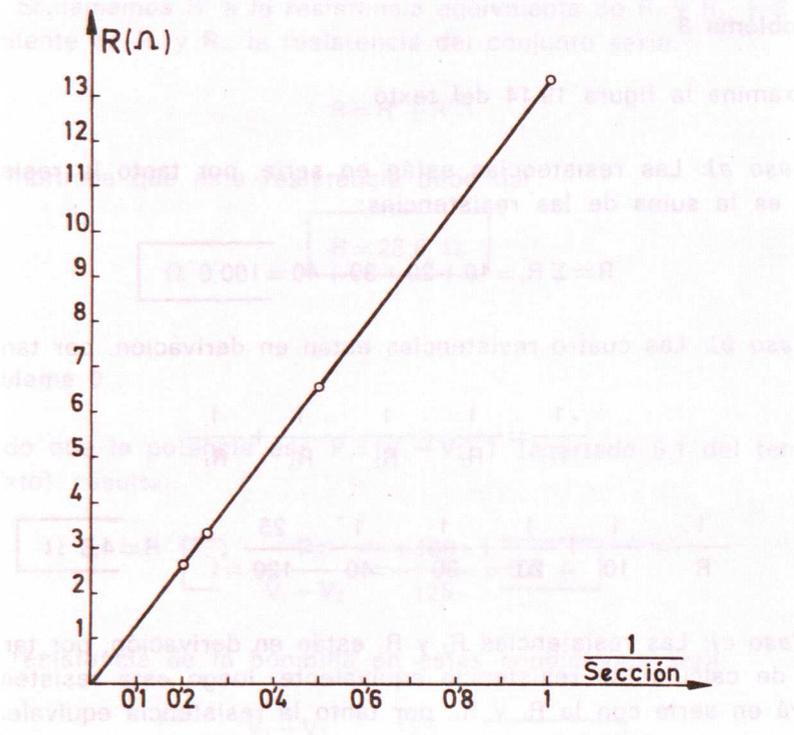


FIG. 19-2

### ● Problema 7

a) Los metales mejores conductores serán los que tienen menor resistividad, que son los que se encuentran en la parte superior de la tabla.

b) Las sustancias que se encuentran al final de la tabla son aisladores.

c) Longitud para el hilo de mercurio:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} ; \quad \ell = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{1 \, \Omega \cdot 10^{-6} \, \text{m}^2}{9,4 \cdot 10^{-7} \, \Omega \, \text{m}} = 1,06 \, \text{m}$$

d) Longitud para el conductor de cobre:

$$\ell = \frac{1 \, \Omega \cdot 10^{-6} \, \text{m}^2}{1,7 \cdot 10^{-8} \, \Omega \, \text{m}} = 58,8 \, \text{m}$$

### ● Problema 8

Examina la figura 19-14 del texto.

*Caso a):* Las resistencias están en serie, por tanto la resistencia total es la suma de las resistencias:

$$R = \Sigma R_i = 10 + 20 + 30 + 40 = 100,0 \, \Omega$$

*Caso b):* Las cuatro resistencias están en derivación, por tanto:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{40} = \frac{25}{120} ; \quad R = 4,8 \, \Omega$$

*Caso c):* Las resistencias  $R_2$  y  $R_3$  están en derivación, por tanto hemos de calcular su resistencia equivalente, luego esta resistencia  $R'$  estará en serie con la  $R_1$  y  $R_4$ , por tanto la resistencia equivalente de las cuatro se obtendrá sumando las tres.

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} ; \quad \frac{1}{R'} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{5}{60} ; \quad R' = 12,0 \, \Omega$$

Luego:  $R = R_1 + R' + R_4$

$$R = 10 + 12 + 40 = 62,0 \, \Omega$$

*Caso d):* Las tres primeras resistencias están en derivación, por tanto, la resistencia equivalente de las tres será:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{11}{60} ; \quad R' = \frac{60}{11} \, \Omega$$

La resistencia del circuito será:

$$R = R' + R_4 = \frac{60}{11} + 40 = 45,5 \, \Omega$$

*Caso e):* En este caso hay dos conjuntos en derivación asociados en serie. Si llamamos  $R'$  a la resistencia equivalente de  $R_1$  y  $R_2$ , y  $R''$  a la equivalente de  $R_3$  y  $R_4$ , la resistencia del conjunto sería:

$$R = R' + R''$$

Comprueba que esta resistencia debe dar:

$$R = 23,8 \, \Omega$$

### ● Problema 9

Dado que la potencia es:  $P = (V_1 - V_2) I$  (apartado 6.1 del tema 19 del texto), resulta:

$$I = \frac{P}{V_1 - V_2} = \frac{100}{125} = 0,8 \, \text{A}$$

La resistencia de la bombilla en estas condiciones será:

$$R = \frac{V_1 - V_2}{I} = \frac{125}{0,8} = 156,25 \, \Omega$$

En el caso de que el voltaje descienda a 100 V, la intensidad sería (la resistencia siempre será la misma):

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} = \frac{100 \text{ V}}{156,25 \Omega} = 0,64 \text{ A}$$

y la potencia:

$$P = (V_1 - V_2) I = 100 \cdot 0,64 = 64 \text{ W}$$

En el caso de que  $V_1 - V_2 = 150 \text{ V}$ , la intensidad de la corriente será:

$$I = \frac{150 \text{ V}}{156,25 \Omega} = 0,96 \text{ A}$$

Luego, la potencia:

$$P = 150 \cdot 0,96 = 144 \text{ W}$$

Por último, la energía consumida en un mes con un gasto de cinco horas diarias será (apartado 6.1 del tema 19 del texto):

$$\mathcal{E} = I V t = P \cdot t$$

donde

$$t = \frac{5 \text{ horas}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 150 \text{ horas}$$

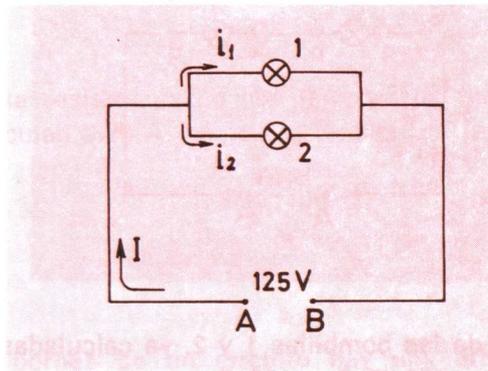
$$\mathcal{E} = 100 \text{ W} \cdot 150 \text{ h} = 15000 \text{ Wh} = 15,0 \text{ kWh}$$

o bien

$$\mathcal{E} = 100 \text{ W} \cdot (150 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s/h}) = 5,4 \cdot 10^7 \text{ J}$$

● Problema 10

a) Primer caso:



Para la bombilla 1:

$$P_1 = 100 \text{ W} ; \quad i_1 = \frac{P_1}{V_A - V_B} = \frac{100}{125} = 0,8 \text{ A}$$

Conocida la intensidad  $i_1$  la resistencia de la bombilla 1 será:

$$R_1 = \frac{V_A - V_B}{i_1} = \frac{125}{0,8} = 156,25 \text{ } \Omega$$

Para la bombilla 2:

$$P_2 = 25 \text{ W} = i_2 (V_A - V_B)$$

$$i_2 = \frac{25 \text{ W}}{125 \text{ V}} = 0,2 \text{ A} \quad || \quad R_2 = \frac{125}{0,2} = 625 \text{ } \Omega$$

Por tanto, la bombilla de mayor resistencia es la segunda, y por ella pasa una intensidad de corriente menor.

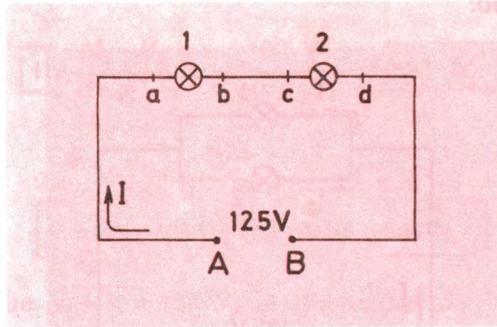
La energía eléctrica consumida por la primera bombilla en una hora será:

$$\mathcal{E}_1 = P_1 t = 100 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

y la segunda bombilla consumirá en el mismo tiempo:

$$\mathcal{E}_2 = 25 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 9,0 \cdot 10^4 \text{ J}$$

b) Segundo caso:



Las resistencias de las bombillas 1 y 2, ya calculadas anteriormente son, respectivamente:  $156,25 \Omega$  y  $625 \Omega$ .

La intensidad de la corriente que circula por cada una de ellas, será la misma, ya que están en serie:

$$I = \frac{V_A - V_B}{R_1 + R_2} = \frac{125 \text{ V}}{(156,25 + 625) \Omega} = 0,16 \text{ A}$$

Para saber la potencia de cada bombilla, necesitamos saber la diferencia de potencial entre sus extremos:

$$1.^\circ \text{ bombilla: } V_a - V_b = I R_1 = 0,16 \text{ A} \cdot 156,25 \Omega = 25 \text{ V}$$

$$2.^\circ \text{ bombilla: } V_c - V_d = I R_2 = 0,16 \text{ A} \cdot 625 \Omega = 100 \text{ V}$$

Luego sus respectivas potencias serán:

$$P_1 = (V_a - V_b) I = 25 \text{ V} \cdot 0,16 \text{ A} = 4 \text{ W}$$

$$P_2 = (V_c - V_d) I = 100 \text{ V} \cdot 0,16 \text{ A} = 16 \text{ W}$$

En este caso la bombilla que ilumina más es la segunda (16 W), justamente al revés de lo que ocurría en el primer caso, que la de mayor potencia era la segunda.

### 19.3 PROBLEMAS ADICIONALES

#### ● Problema 1

Calcúlese la resistencia de una lámpara de filamento de wolframio por la que circulan 0,20 A, siendo la tensión de la línea de 220 V.

$$R = 1100 \ \Omega$$

#### ● Problema 2

Entre los bornes de un circuito hay una diferencia de potencial de 100 V y la intensidad de la corriente que circula entre ellos es de 10 A. Calcular el valor de la resistencia del circuito.

$$R = 10 \ \Omega$$

#### ● Problema 3

Siendo la resistividad de la plata de  $1,5 \cdot 10^{-8}$  ( $\Omega$  m), calcular la resistencia que opone al paso de la corriente un alambre de plata de 25 m de longitud y  $0,5 \text{ mm}^2$  de sección.

$$R = 0,75 \ \Omega$$

#### ● Problema 4

Sabiendo que un cable conductor tiene  $32,5 \ \Omega$  de resistencia, calcúlese la resistencia de otro cable de la misma naturaleza, pero de doble longitud y de una sección cuatro veces menor.

$$R = 260 \ \Omega$$

#### ● Problema 5

Se desea pasar una corriente de 10 A, a través de un circuito conectado con la red industrial a 380 V. Se pide: 1.º) La resistencia que es preciso intercalar. 2.º) Si queremos construir dicha resistencia con

alambre de aluminio, cuya resistividad es  $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ } (\Omega \text{ m})$  y de sección tal que su diámetro es de 1,20 cm, calcúlese la longitud del alambre que es preciso utilizar.

$$1.^{\circ}) \quad R = 38 \text{ } \Omega$$

$$2.^{\circ}) \quad \ell = 1,65 \cdot 10^5 \text{ m}$$

### ● Problema 6

Sabiendo que la resistencia de una plancha eléctrica es de  $30 \text{ } \Omega$  y se intercala en una red de 220 V, calcúlese la intensidad de la corriente que circula a su través, la potencia consumida y la energía gastada en una hora de funcionamiento.

$$I = 7,3 \text{ A}$$

$$P = 1606 \text{ W}$$

$$\mathcal{E} = 5781600 \text{ J}$$

### ● Problema 7

Una resistencia de  $10 \text{ } \Omega$  se introduce en un calorímetro que contiene un litro de agua a  $10^{\circ} \text{ C}$ . Se hace pasar una corriente de dos amperios durante cincuenta minutos. Calcúlese la temperatura adquirida por el agua. Recuerda del tema 10 que el calor específico del agua es:

$$c = \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T = 38,7^{\circ} \text{ C}$$

### ● Problema 8

A una tensión de 220 V, la cantidad de electricidad que circula por un motor es de 600 culombios. Sabiendo que el rendimiento del motor es del 90 por 100, calcúlese el trabajo que puede realizar.

$$R = 1,19 \cdot 10^5 \text{ J}$$

## 19.4 EXPERIMENTOS CASEROS

### 19.4.1 Experimento 1.º

#### OBJETIVO

Descripción y despiece de los elementos de una pila eléctrica.

#### MATERIAL

Una pila eléctrica gastada de las llamadas de «petaca».

Unas tijeras fuertes.

Un destornillador.

Una hoja de papel de periódico.

#### MODO DE OPERAR Y CUESTIONARIO

— Extiende el papel de periódico sobre la mesa donde vayas a trabajar. Procura ser cuidadoso de manera que todos los materiales estén sobre el papel, también debes prestar atención para no manchar tu traje.

Dibuja la pila y anota los datos en ella que te parezcan importantes ...

¿Qué significan los signos más y menos? .....

¿Qué diferencia de potencial tiene una pila nueva entre sus extremos?

Quita cuidadosamente el cartón exterior. ¿Cuántos cilindros hay? ...

¿Están unidos de alguna manera? .....

¿A dónde está unida la lámina corta de latón, al cilindro o a la barra de grafito interior? .....

¿A dónde va unida la lámina larga de latón? .....

— Toma uno de los cilindros y con la ayuda del destornillador quita la pasta negra que cubre el cilindro de metal y procura vaciar el polvo que hay dentro sin que se rompa la barra del centro (si tienes dificultad

corta el envase con las tijeras). Separa y pon aparte sobre el papel el envase metálico, los polvos y la barra.

¿Qué color tiene el envase metálico? .....

¿Es duro? ..... ¿Se dobla con facilidad? .....

¿Qué metal es? .....

¿Qué color tiene la barra? ..... ¿De qué material está formada? .....

¿Por qué supones que es conductora? .....

No tires la barra, te servirá para otros experimentos.

¿Qué color tiene el polvo interior del cilindro? ..... La parte más abundante de este polvo es dióxido de manganeso (IV)  $MnO_2$ , ¿observas algún componente? ..... ¿Son una sustancia homogénea o heterogénea? ..... ¿Crees que son conductores? ..... No los tires, ya que los emplearás en otro experimento.

Los tres cilindros constituyen cada uno una pila, ¿cómo están asociados entre sí? ..... Si el voltaje total es de 4,5 V, ¿cuál será el voltaje de cada elemento? ..... ¿De qué material está constituido el polo positivo y el negativo? .....

#### 19.4.2 Experimento 2.º

OBJETIVO: HACER UN MONTAJE EN SERIE

MATERIAL

Una pila de petaca (4,5 V).

Dos bombillas pequeñas (3,5 V).

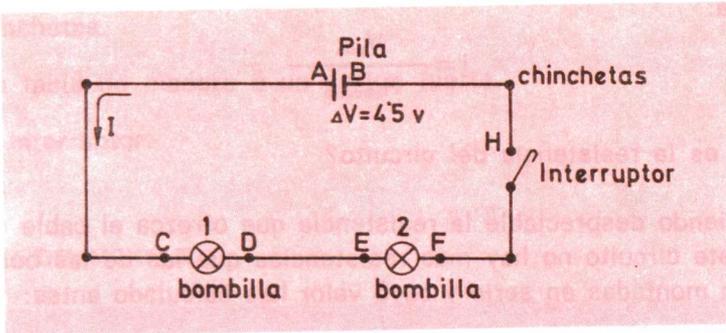
Cable de conducción forrado de plástico.

Chinchetas.

Una tabla de madera o un cartón fuerte.

Un interruptor.

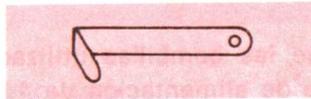
## ESQUEMA DEL MONTAJE



## MODO DE OPERAR Y CUESTIONARIO

Sobre una tabla realizarás el circuito en la forma que indica el esquema de la figura.

El interruptor puedes fabricártelo tú mismo con un trozo de hojalata que cortas con unas tijeras, como te indica el dibujo de la figura.



El agujero lo puedes hacer con un clavo y un martillo. El otro extremo está un poco vuelto hacia arriba.

El extremo del cable del circuito (punto G del esquema) se mete por el agujero del interruptor, dándole un par de vueltas para que quede bien sujeto. Cuando el extremo libre del interruptor toca la chincheta H (ver esquema), en la que termina el cable del montaje, habrás cerrado el circuito y lucirán las bombillas.

¿Podrías calcular la intensidad de corriente que circula por el circuito?

Es evidente que para ello necesitas conocer la resistencia de las bombillas. Suele venir indicada en las bombillas grandes el voltaje y la potencia y en las minibombillas, el voltaje y la intensidad. En ambos casos puedes calcular la resistencia de la bombilla. Generalmente, las bombillas pequeñas de 3,5 V suelen indicar 0,25 A; por tanto, ¿cuál es el valor de la resistencia de la bombilla?

R=

Entonces la intensidad que circula por el circuito que tú has montado sería:

$$I = \frac{V_{\text{pila}}}{R_{\text{circuito}}}$$

¿Cuál es la resistencia del circuito?

Suponiendo despreciable la resistencia que ofrezca el cable conductor, en este circuito no hay más resistencias que las de las bombillas, que están montadas en serie y cuyo valor has calculado antes:

$$R_{\text{circuito}} =$$

Entonces:

$$I = \frac{4,5 \text{ V}}{R_{\text{circuito}}} =$$

Después de realizada la experiencia, podrías contestar a esta pregunta:

¿Cómo es posible que las bombillas utilizadas, que son de 3,5 V, se conecten a una fuente de alimentación de 4,5 V y no se fundan?

Piensa que en el circuito debe cumplirse la ley de Ohm. Tú conoces previamente:

$$V_A - V_B = 4,5 \text{ V}$$

¿Cuánto valen  $(V_C - V_D)$  y  $(V_E - V_F)$ ?

Calcula su valor y podrás responder a nuestra pregunta.

Por último, afloja una de las bombillas, ¿qué pasa con la otra? No luce, ¿por qué no luce si esa bombilla no la has aflojado?

### 19.4.3 Experimento 3.º

OBJETIVO: HACER UN MONTAJE MIXTO

MATERIAL

Una pila de petaca (4,5 V).

Tres bombillas pequeñas (3,5 V).

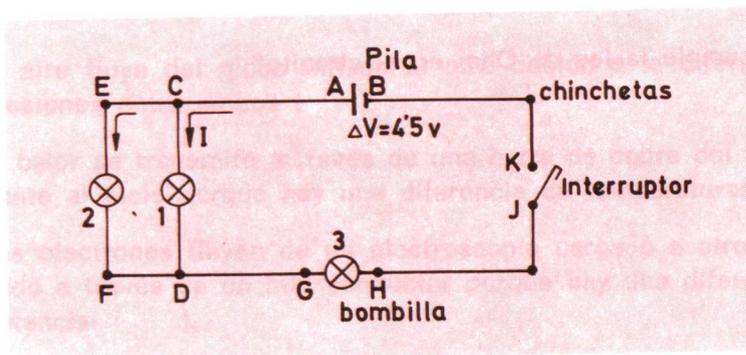
Cable de conducción forrado de plástico.

Chinchetas.

Una tabla de madera o un cartón fuerte.

Un interruptor.

#### ESQUEMA DEL MONTAJE



#### MODO DE OPERAR Y CUESTIONARIO

Sobre una tabla de madera retalizas el montaje de la figura.

Como ves, es un montaje mixto en el que las bombillas 1 y 2 están en derivación y la bombilla 3, en serie. Si has realizado la práctica anterior conoces ya las resistencias de las bombillas; por tanto, cuando cierras el interruptor, ¿qué pasa con la intensidad al llegar al nudo C del circuito?

¿Cuánto vale la intensidad que circula por la bombilla 1? ¿Y por la bombilla 2?

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

¿Cuánto vale la intensidad de la corriente que circula por la bombilla 3?

$$I_3 =$$

Supongamos que aflojas la bombilla 1, ¿qué pasa con las otras?

Supongamos que aflojas la bombilla 3, ¿qué pasa con las otras?

Di primero lo que observas y explica a continuación la interpretación física de tu observación.

¿Cuál es la diferencia de potencial  $V_G - V_A$ ?

¿Cuánto valen  $V_E - V_D$  y  $V_E - V_F$ ?

¿Se cumple la ley de Ohm en el circuito?

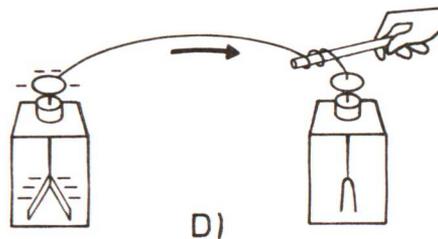
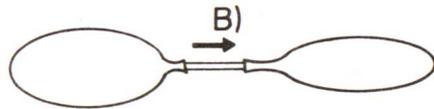
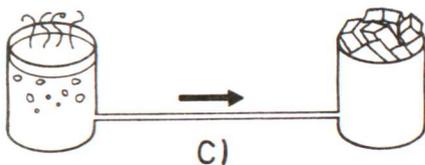
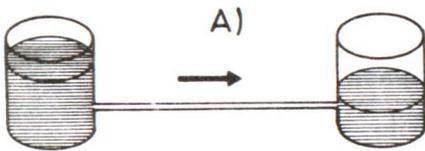
## 19.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Sigue para su resolución las normas dadas en los ejercicios de auto-evaluación anteriores.

### ● Ejercicios de identificación (16 puntos):

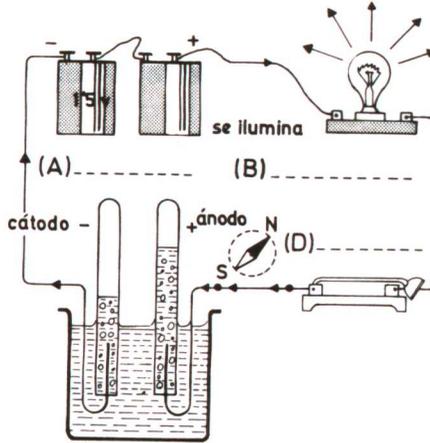
— Las frases corresponden a cada una de las figuras. Asigne el lugar correcto:

1. El aire fluye del globo inflado al otro debido a la diferencia de presiones entre ambos ( ).
2. El calor se transmite a través de una barra de cobre del agua caliente al hielo porque hay una diferencia de temperaturas ( ).
3. Los electrones fluyen de un electroscopio cargado a otro descargado a través de un hilo conductor porque hay una diferencia de potencial ( ).
4. El agua pasa del depósito más lleno al que lo está menos, a través de una tubería porque hay una diferencia de alturas ( ).



— En la figura adjunta, señala el lugar en donde se encuentran los objetos o se producen los efectos siguientes:

5. Generadores de corriente (     ).
6. Efecto calorífico de la corriente (     ).
7. Efecto químico de la corriente (     ).
8. Efecto magnético de la corriente (     ).

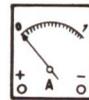


— Repite el mismo tipo de ejercicio para la figura adjunta:

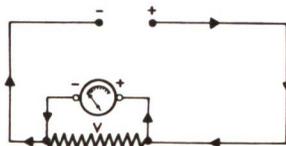
9. Instrumento con poca resistencia (     ).
10. Voltímetro en derivación (     ).
11. Amperímetro en serie (     ).
12. Instrumento con mucha resistencia (     ).



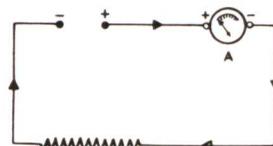
A) .....



B) .....

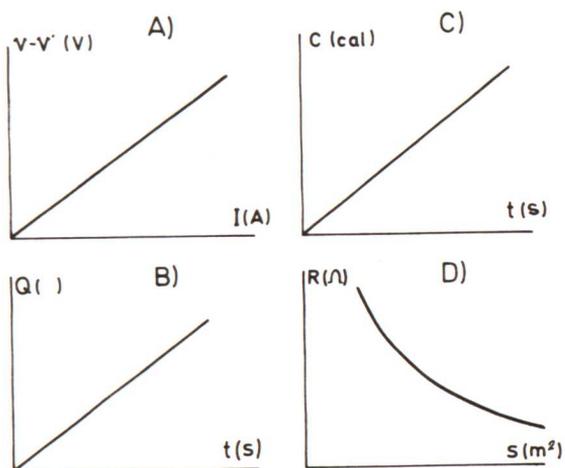


C) .....



D) .....

— Señala las gráficas que corresponden a las afirmaciones siguientes:



13. La ley de Ohm se representa en el gráfico ( ).
14. La ley de Joule ( ).
15. La resistencia en función de la sección del conductor ( ).
16. La carga frente al tiempo ( ).

● **Ejercicios de opción única (9 puntos):**

17. La intensidad de la corriente eléctrica se mide en:

- |              |               |
|--------------|---------------|
| A) Vatios.   | D) Ohmios.    |
| B) Voltios.  | E) Culombios. |
| C) Amperios. |               |

17

18. El calor generado por un calentador eléctrico se puede medir en:

- A) Watios.
- B) Julios.
- C) Culombios.
- D) Amperios.
- E) Voltios.

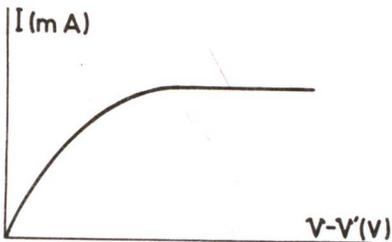
18

19. ¿En cuál de los siguientes casos se desarrolla más energía:

- A) Una estufa de 3 kilovatios en una hora.
- B) Una estufa de 2 kilovatios durante dos horas.
- C) Una estufa de 1 kilovatios en cuatro horas.
- D) Una lámpara de 250 watios encendida durante veinte horas.

19

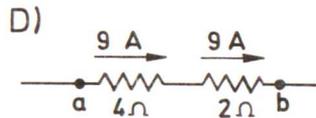
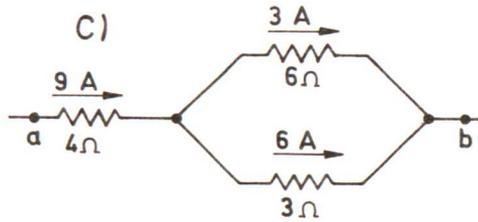
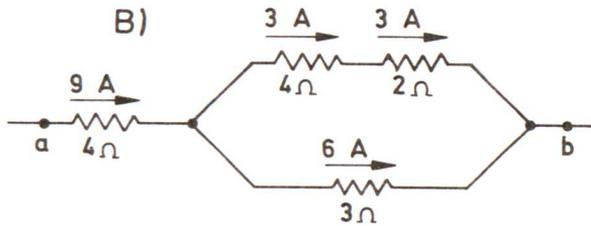
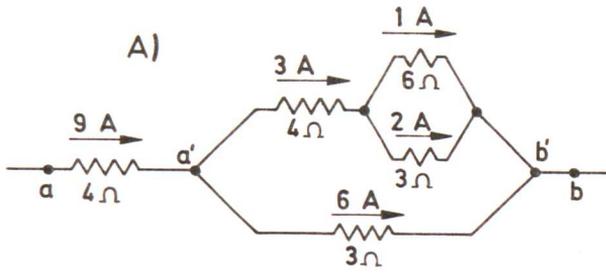
20. El gráfico adjunto muestra la relación entre intensidad de la corriente y el potencial par un determinado aparato eléctrico. De la forma de la gráfica se puede deducir que:



- A) Hay un máximo de intensidad que no se puede sobrepasar por más que se aumenta el potencial.
- B) En este caso, no se cumple la ley de Ohm.
- C) Todo lo anterior.
- D) La intensidad de la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial.
- E) Nada de lo dicho.

20

21. Dados los esquemas A, B, C y D en cuál de ellos el valor de  $V_a - V_b$  es mayor:



E) Es el mismo en todos.

21

22. La resistencia equivalente en B es de:

A)  $15 \Omega$

C)  $12 \Omega$

B)  $6 \Omega$

D)  $25 \Omega$

22

23. El valor de la resistencia equivalente en el tramo a'b' del circuito A es de:

A)  $25 \Omega$

D)  $2 \Omega$

B)  $12 \Omega$

E)  $15 \Omega$

C)  $12,5 \Omega$

23

24. La potencia consumida en el tramo del circuito D es de:

A)  $972 \text{ W}$

C)  $500 \text{ W}$

B)  $243 \text{ W}$

D)  $486 \text{ W}$

24

25. ¿Cuántas calorías se desprenderían en el caso anterior durante veinte minutos?:

A) 139968

D) 777,6

B) 15552

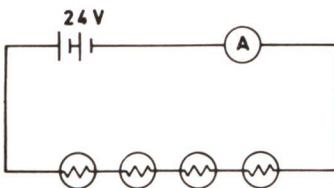
E) 2437776

C) 259,2

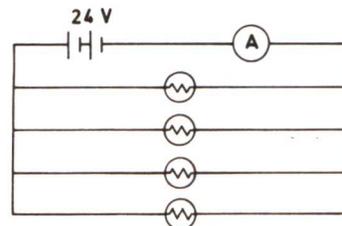
25

● **Situación problema (13 puntos):**

— Las cuestiones a responder se referirán a los dos esquemas 1) y 2), adjuntos.



1)



2)

En el esquema 1) las lámparas (resistencias) son iguales entre sí y lo mismo en el esquema 2), aunque no iguales a las del esquema 1). En cada caso, la lectura del amperímetro es de 0,1 A. La resistencia del generador se considera prácticamente nula.

26. La resistencia del conjunto de lámparas en el esquema 1) es .....
27. La resistencia del conjunto de lámparas en el esquema 2) es .....
28. La resistencia de cada lámpara en el esquema 1) es .....
29. La resistencia de cada lámpara en el esquema 2) es .....
30. La caída de potencial en cada lámpara del esquema 1) es de .....
31. La caída de potencial en cada lámpara del esquema 2) es de .....
32. La potencia que consume una lámpara del esquema 1) es de .....
33. Análogamente, la potencia de las lámparas en el esquema 2) es de ...
34. Para consumir un kW-hora en el esquema 1) se necesitan ..... horas
35. Análogamente, se necesitarían en el esquema 2) ..... horas
36. Si se quita una lámpara del circuito 1) y se cortocircuita, es decir, se sustituye por un conductor, la intensidad de la corriente será ahora de .....
37. Si se suprime una lámpara en el circuito 2), daría una intensidad de .....
38. ¿En cuál de los dos circuitos si se funde una lámpara siguen funcionando las otras? ..... ¿Por qué? .....

## 19.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### Ejercicios de identificación

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. B | 7. C  | 12. A |
| 2. C | 8. D  | 13. A |
| 3. D | 9. B  | 14. C |
| 4. A | 10. C | 15. D |
| 5. A | 11. D | 16. B |
| 6. B |       |       |

### Ejercicio de opción única

- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 17. C | 20. C | 23. D |
| 18. B | 21. E | 24. D |
| 19. D | 22. B | 25. A |

### Situación problema

- |                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| 26. 240 $\Omega$ | 33. 0,6 W                   |
| 27. 240 $\Omega$ | 34. $4,2 \times 10^2$ horas |
| 28. 60 $\Omega$  | 35. $4,2 \times 10^3$ horas |
| 29. 960 $\Omega$ | 36. 0,13 A                  |
| 30. 6 V          | 37. 0,075 A                 |
| 31. 24 V         | 38. 2; están en paralelo    |
| 32. 0,6 W        |                             |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 38 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 28 puntos.*



## TEMA 20

### OBJETIVOS

- Poner de manifiesto el sentido de las fuerzas que se ejercen entre dos imanes rectos.
- Describir las experiencias más significativas que permitan poner de manifiesto efectos magnéticos de la corriente eléctrica cuando circula por un conductor rectilíneo o en forma de espira.
- Memorizar las reglas de la mano derecha y de Maxwell en relación a efectos magnéticos producidos por la corriente eléctrica de un conductor rectilíneo.
- Memorizar la regla que señala la cara que actúa como polo norte magnético en una espira y la cara que actúa como polo sur.
- Describir las experiencias más significativas que permitan obtener corrientes eléctricas inducidas en una espira o en un solenoide (con o sin movimiento del conductor) a partir de variaciones del campo magnético.
- Enunciar la ley de Lenz y aplicarla a circuitos inducidos.

## Electromagnetismo

### INDICE

20.1 CONTENIDOS BÁSICOS

20.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO





## OBJETIVOS

- Poner de manifiesto el sentido de las fuerzas que se ejercen entre dos imanes rectos según se enfrenten sus polos.
- Describir las experiencias más significativas que permiten poner de manifiesto efectos magnéticos de la corriente eléctrica cuando circula por un conductor rectilíneo o en forma de espira.
- Memorizar las reglas de la mano derecha y de Maxwell en relación a efectos magnéticos producidos por la corriente eléctrica de un conductor rectilíneo.
- Memorizar la regla que señala la cara que actúa como polo norte magnético en una espira y la cara que actúa como polo sur.
- Describir las experiencias más significativas que permiten obtener corrientes eléctricas inducidas en una espira o en un solenoide (con o sin movimiento del conductor) a partir de variaciones del campo magnético.
- Enunciar la ley de Lenz y aplicarla a circuitos inducidos.

## INDICE

20.1 CONTENIDOS BASICOS

20.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

20.3 CUESTIONES ADICIONALES

20.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

20.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 20.1 CONTENIDOS BASICOS

- Imanes naturales y artificiales, temporales y permanentes (T).
- Polaridad de los imanes (T).
- Campo magnético. Líneas de fuerza. Espectro magnético (T).
- Campo magnético terrestre (T).
- Efectos magnéticos de la corriente (T).
- Experiencia de Oersted (T).
- Regla de la mano derecha (T).
- Campo magnético de una corriente rectilínea. Regla de Maxwell (T).
- Campo magnético de una espira (T).
- Campo magnético de un solenoide. Electroimán (T).
- Inducción electromagnética. Corriente inducida (T).
- Sentido de la corriente inducida. Ley de Lenz (T).

## 20.2 CUESTIONES DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

La contestación es afirmativa. Enrolla el hilo de cobre sobre un objeto cilíndrico, por ejemplo un lapicero, de manera que las vueltas no se toquen entre sí, los extremos del arrollamiento los unes a los polos de la pila y tienes un imán.

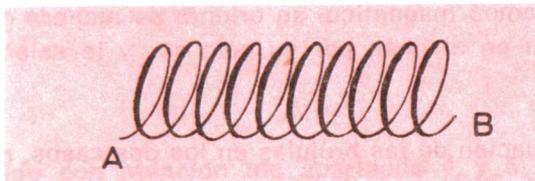


FIG. 20-1

Si las vuletas te quedan como en la figura 20-1, y A lo unes al polo positivo de la pila y B al negativo, indica cuáles son los polos del imán.

● **Cuestión 2**

Hay dos fenómenos que debes tener en cuenta:

- a) Un imán atrae a los materiales ferromagnéticos.
- b) Polos del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen.

Si la aguja magnética está muy débilmente imanada el efecto de repulsión es menos acusado que el efecto de atracción sobre todo el material de que está hecha la aguja, es decir predomina el efecto a) sobre el b).

● **Cuestión 3**

Puedes tú solo resolverla.

● **Cuestión 4**

Si por un conductor circula una corriente, en las proximidades del mismo se crea un campo magnético. Las líneas de fuerza de dicho campo magnético son circunferencias (mira las figuras), el sentido de las líneas de fuerza lo puedes predecir por la regla del sacacorchos o de Maxwell (apartado 2.3, tema 20 del texto).

Si tienes en cuenta que una brújula no es más que un imán, éste al estar dentro del campo magnético, se orienta de manera que las líneas de fuerza penetran en el imán por su polo sur y le salen por su cara norte.

Fijate en la situación de las brújulas en los dos casos, representados en los dibujos (fig. 20-2).

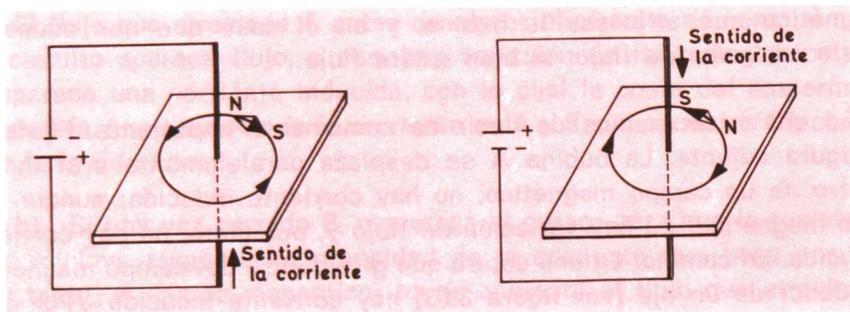


FIG. 20-2

● **Cuestiones 5 y 6**

Puedes responder a las cuestiones siempre que hayas entendido la cuestión cuatro.

● **Cuestión 7**

A la primera pregunta puedes responder perfectamente; si no recuerdas lo que es un electroimán, mira el apartado 3.2, tema 20, del texto.

Si en una bobina de hilo introduces un *núcleo de hierro dulce*, cuando pasa la corriente por el hilo se produce un imán con sus polos N y S perfectamente localizados en los extremos. Cuando cesa la corriente, desaparece tal imán. Si introduces un núcleo de acero en vez de hierro dulce, al pasar la corriente eléctrica aparece un imán, pero cuando cesa la corriente no desaparece el imán. Así decimos que el hierro dulce adquiere una imanación temporal, mientras que en el acero la imanación es permanente.

Si has entendido el párrafo anterior, ¿sabrías «fabricar» un imán?

No hay ningún inconveniente en alimentarlo con corriente alterna, pues lo que ocurre es que el polo N se convierte en S, y viceversa; pero, como tú sabes, una lámina metálica es atraída tanto por el polo sur como por el polo norte.

● **Cuestión 8**

Si has leído con atención los apartados 4 y 5 del texto, puedes contestar que no se producen corrientes inducidas. La condición para que existan corrientes inducidas es que haya VARIACION del flujo

magnético que atraviesa la bobina, y en el caso que nos ocupa no existe *variación* de flujo, si bien existe flujo.

Lo que te acabamos de decir es sumamente importante. Fíjate en la figura adjunta. La bobina A se desplaza paralelamente a sí misma dentro de un campo magnético, no hay corriente inducida; aunque hay flujo magnético, no hay variación de flujo y, por tanto, no hay corriente inducida. En cambio, en una espira que gire dentro del campo magnético, alrededor de un eje (ver figura 20-3) hay corriente inducida. ¿Por qué?

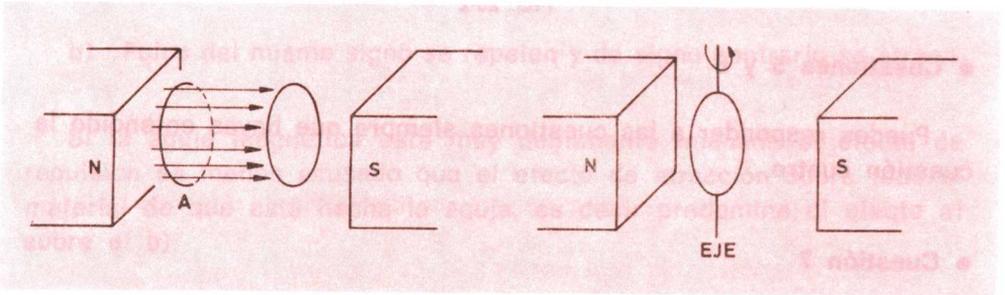


FIG. 20-3

● **Cuestión 9**

Esta cuestión puedes resolverla si has entendido los apartados 6.1 y 6.2 del texto.

● **Cuestión 10**

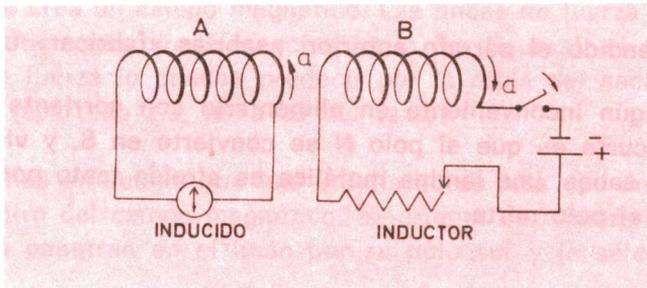


FIG. 20-4

a) Si cierras el circuito del inductor empieza a circular corriente. B crea un campo magnético, que influye sobre A (fig. 20-4).

El flujo que atraviesa A antes de cerrar el circuito es cero; al cerrar el circuito aparece flujo, o sea, hay *variación* de flujo magnético en A y aparece una corriente inducida, con lo cual la aguja del amperímetro se desvía. Los sentidos de la corriente en A y B son opuestos (flechas *a*), por la ley de Lenz.

b) Si una vez cerrado B, movemos el cursor para que la resistencia sea mínima, aumenta la intensidad de la corriente que pasa por B y, por tanto, el campo magnético; luego aumenta el flujo que atraviesa A y la aguja del amperímetro se mueve en el mismo sentido que lo hizo en el caso *a*).

c) Si mantienes el circuito en esas condiciones durante cinco minutos, la aguja del amperímetro no indica nada, pues, aunque pase corriente por B, y haya flujo sobre A, no hay *variación* de flujo y, por tanto, no hay corriente inducida.

d) Si abres el circuito, resulta que desaparece la corriente que pasa por B y, por tanto, el campo magnético; luego hay *variación* de flujo sobre A, y la aguja del amperímetro se desvía en sentido contrario a como lo hizo en *a*), porque, según la ley de Lenz, al haber *variación* del flujo magnético sobre A por disminución y desaparición de la intensidad de corriente en B, se produce en el circuito A una oposición a esa disminución y desaparición de corriente en B, por lo que aparece en A una corriente inducida del mismo sentido que la que había en B.

### ● Cuestión 11

Supongamos que acercamos un imán con su polo N apuntando al extremo A de la bobina. En el extremo A (fig. 20-5) se formará una cara N y en B una cara S. A medida que el imán penetra en la bobina ocurre que de la cara A se aleja un polo N y se acerca un polo S, luego hay una inversión en el sentido de la corriente. Cuando el imán se aleja del extremo B, se aleja de él un polo sur y el extremo B será una cara sur.

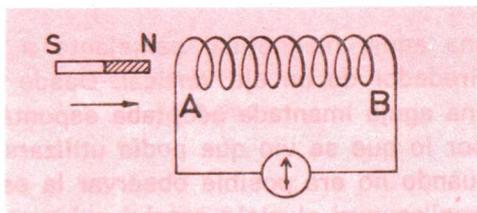


FIG. 20-5

La aguja del amperímetro sensible se desviará en una dirección, volverá a la posición cero y luego se desviará en sentido contrario.

● **Cuestión 12**

Según la ley de Lenz, si la bobina móvil tiene un sentido de la corriente eléctrica, la bobina fija sufre una variación de flujo, de modo que aparece en ella una corriente de tal sentido que las caras enfrentadas de ambas bobinas forman el mismo polo.

● **Cuestión 13**

Puedes resolver este problema tú solo.

### 20.3 CUESTIONES ADICIONALES

● **Cuestión 1**

¿Qué representa la figura 20-6?

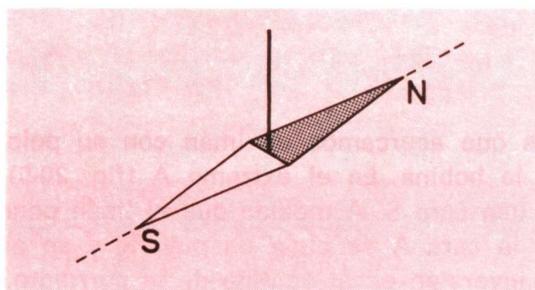


FIG. 20-6

Representa una aguja magnética, semejante a la de una brújula, capaz de girar alrededor de un eje vertical. Desde muy antiguo se ha observado que una aguja imantada adoptaba espontáneamente la dirección Norte-Sur, por lo que se vio que podía utilizarse en la navegación durante el día, cuando no era posible observar la estrella polar, y también en las noches en que el cielo estaba cubierto por las nubes. La idea de comparar la Tierra con un imán surgía así de modo natural. Sin

embargo, el establecimiento del origen del magnetismo terrestre y **sus cambios en el transcurso del tiempo** ocupa todavía la investigación de los científicos. No obstante, para fines prácticos, puede afirmarse que el campo magnético terrestre es principalmente dipolar, lo que no significa necesariamente que dicho campo magnético sea producido por un imán en forma de barra o por un solenoide en la Tierra, sino que cualquiera que sea el origen o la explicación que se dé del campo magnético terrestre, las líneas magnéticas de dicho campo magnético terrestre son semejantes a las que presenta un imán en forma de barra, con polos norte y sur magnéticos.

Por eso es conveniente, en las representaciones gráficas, como la de la figura 20-7, *imaginar* un imán en la Tierra, que se considera situado en el centro de la misma, como puede verse en la figura 20-7, pero no sigue exactamente la dirección del eje Norte-Sur de la Tierra o eje de rotación de la misma, sino que forma con este eje un ángulo de unos  $11^\circ$ . La dirección en la que está situado el imán corta la superficie de la Tierra en los denominados polos geomagnéticos (en la figu-

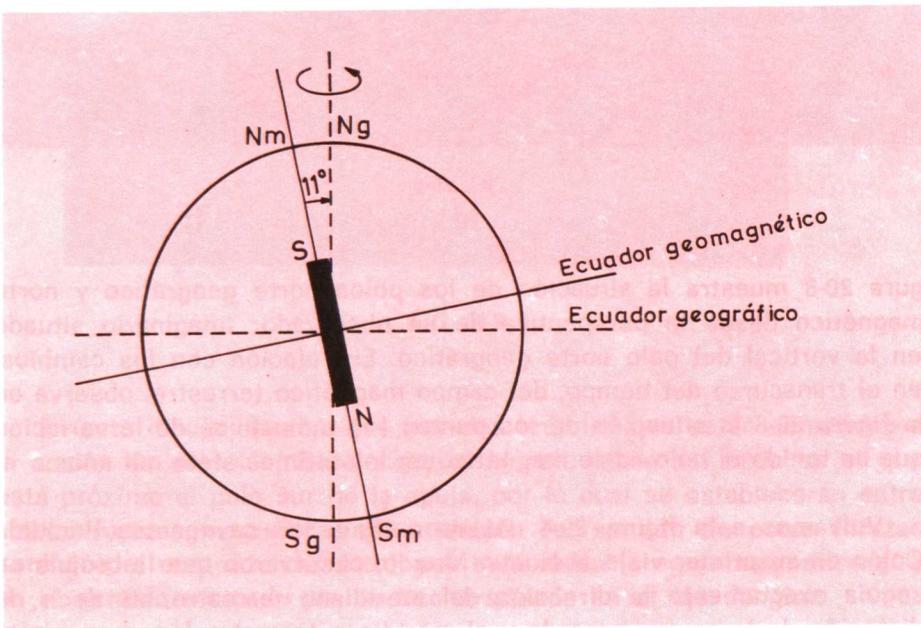


FIG 20-7

ra,  $N_m$  y  $S_m$ ). Observa, en la figura 20-7, que lo que llamamos polo norte magnético corresponde al polo sur del imán terrestre, y viceversa. La fi-

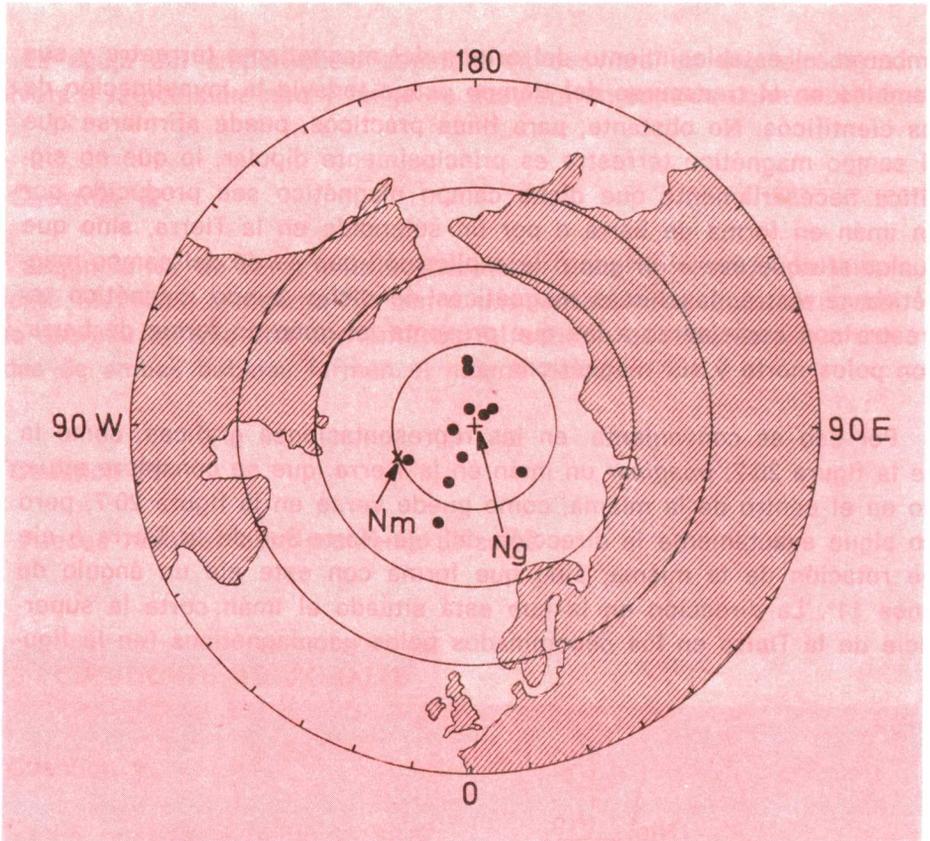


FIG. 20-8

gura 20-8 muestra la situación de los polos norte geográfico y norte magnético desde la perspectiva de un observador imaginario situado en la vertical del polo norte geográfico. En relación con los cambios, en el transcurso del tiempo, del campo magnético terrestre, observa en la figura 20-8 la situación de los puntos (•) indicativos de la variación que ha tenido el polo norte magnético en los últimos siete mil años.

Volvamos a la figura 20-6. Desde antiguo los navegantes, incluido Colón en su primer viaje al Nuevo Mundo, observaron que la brújula no seguía exactamente la dirección del meridiano terrestre, es decir, la dirección de la aguja imantada y el meridiano terrestre forma un cierto ángulo que varía de unos lugares a otros y recibe el nombre de **declinación magnética**. Las líneas trazadas sobre un mapa uniendo los puntos que tienen la misma *declinación* reciben el nombre de *líneas isógenas*, y las líneas que pasan por los puntos de declinación nula reciben el nombre de *líneas agónicas*.

Si se dispone la aguja magnética en la dirección en que espontáneamente se orienta, pero de tal manera que pueda girar libremente sobre un eje horizontal, se observa que la aguja forma un cierto ángulo con la horizontal que pasa por su eje de giro. Dicho ángulo recibe el nombre de *inclinación*. Las líneas que en los mapas unen los puntos de la misma inclinación se denominan *isóclinas*.

● **Cuestión 2**

¿Qué representa la figura 20-9?

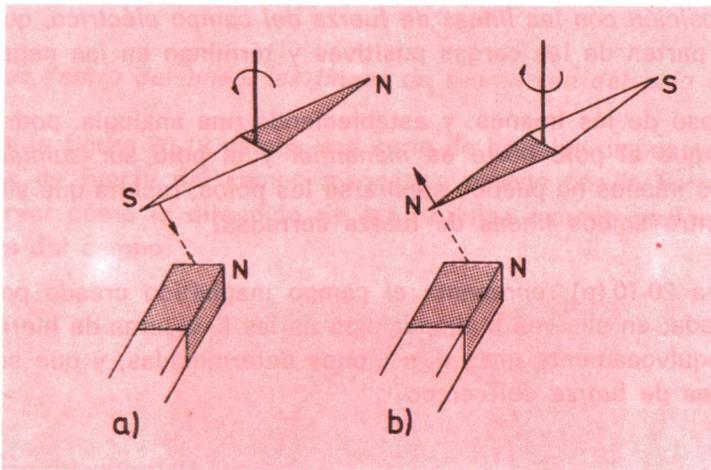


FIG. 20-9

En este dibujo observa que hay dos brújulas que están sometidas a la acción de un imán. En el caso a) el polo norte del imán es el que está próximo al polo sur de la aguja, por lo cual se establecerán entre ambos fuerzas magnéticas de atracción (el sentido de estas fuerzas será uno el contrario del otro), por esta razón la aguja magnética gira en el sentido marcado por la flecha situada en el eje de giro.

En el caso b) el polo norte del imán es el que está próximo al polo norte de la aguja, se establecerán igualmente fuerzas magnética entre ambos, pero ahora estas fuerzas serán repulsivas (del mismo sentido) y la aguja gira en sentido contrario al caso a), produciéndose el alejamiento entre los polos.

### ● Cuestión 3

¿Cómo podrías poner de manifiesto las líneas de fuerza del campo magnético creado por un imán?

Espolvoreando con limaduras de hierro la zona próxima a un imán, se pone de manifiesto la existencia de un campo magnético; veremos que las limaduras se orientan y adquieren en su conjunto una determinada disposición, la cual cambia con la forma del imán. La disposición adquirida por las limaduras de hierro en cada caso, marcarán las líneas de fuerza del campo magnético creado por el imán. Se toma como convenio que las líneas de fuerza salen del imán por el polo norte y entran por el polo sur. *En un campo magnético, las líneas de fuerza son cerradas, en contraposición con las líneas de fuerza del campo eléctrico, que son líneas que parten de las cargas positivas y terminan en las negativas.*

En el caso de los imanes, y estableciendo una analogía, podríamos considerar que el polo norte es *manantial* y el polo sur *sumidero*, y como en los imanes no pueden separarse los polos, resulta que se establecerán entre ambos líneas de fuerza cerradas.

La figura 20-10 (a) representa el campo magnético creado por una barra imanada; en ella ves la disposición de las limaduras de hierro que marcan inequívocamente unas direcciones determinadas, y que son las de las líneas de fuerza del campo.

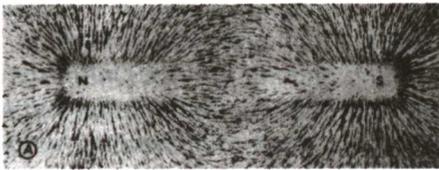


FIG. 20-10 (a)

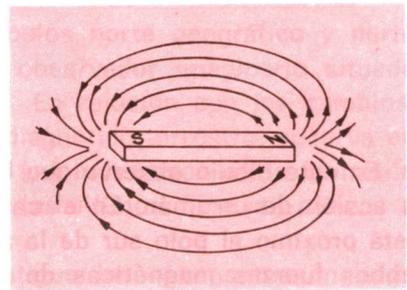


FIG. 20-10 (b)

En la figura 20-10 (b) ves un dibujo esquemático del campo creado por una barra imanada, señalando el sentido de las líneas de fuerza. La dirección del campo magnético en cada punto es tangente a la línea de fuerza que pasa por el punto y del mismo sentido (fig. 20-11).

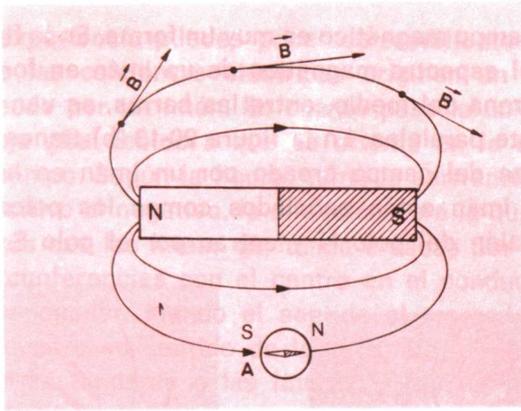


FIG. 20-11

*Por dentro del imán, las líneas de fuerza van del polo sur al norte.*

En la figura 20-12 vemos una serie de brújulas dispuestas según las líneas de fuerza del campo magnético creado por la barra. Se puede observar cómo la dirección de las brújulas marcan perfectamente las líneas del campo.

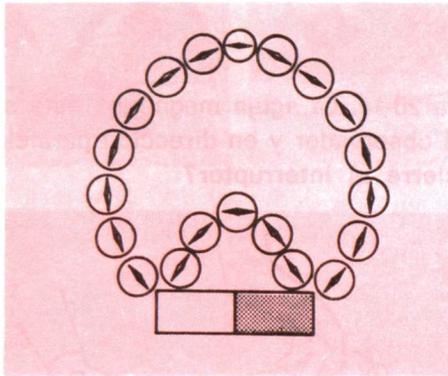


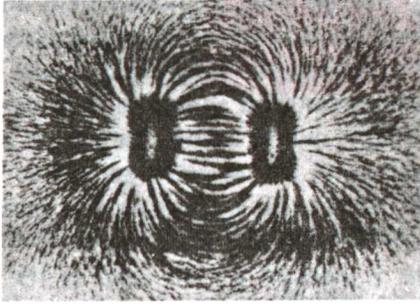
FIG. 20-12

● **Cuestión 4**

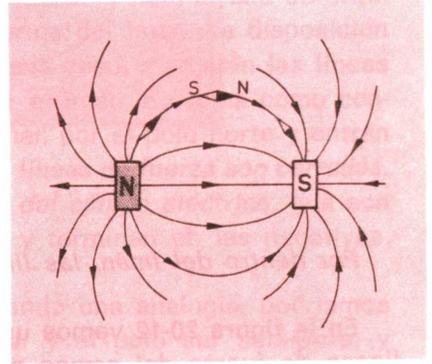
En muchas experiencias se suelen utilizar imanes en forma de herradura. ¿Sabes por qué?

La explicación es sencilla. Con un imán dispuesto en esta forma se consigue una zona, la situada entre las dos direcciones paralelas del

imán, en la que el campo magnético es muy uniforme. En la figura 20-13 (a) puedes observar el espectro magnético de un imán en forma de herradura, donde en la zona del medio, entre las barras, se ven las líneas de fuerza prácticamente paralelas. En la figura 20-13 (b) tienes un dibujo de las líneas de fuerza del campo creado por un imán en herradura. Los dos extremos del imán están señalados como los polos N y S; las líneas de fuerza salen del polo N y entran por el polo S.



(a)



(b)

FIG. 20-13

● **Cuestión 5**

Fíjate en la figura 20-14. La aguja magnética está situada debajo del hilo que mantiene el observador y en dirección paralela al mismo. ¿Qué pasará cuando se cierre el interruptor?

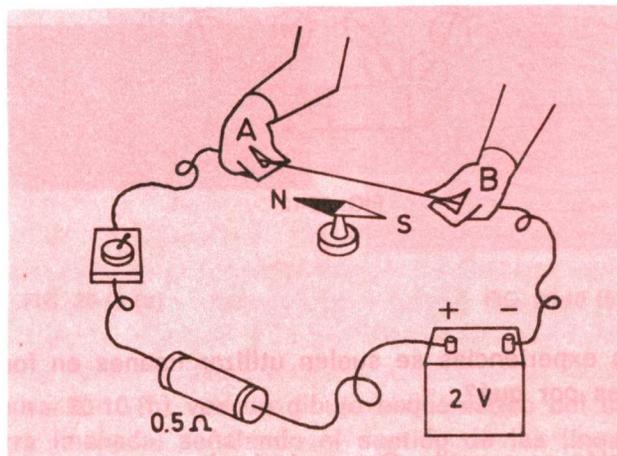


FIG. 20-14

Con esta experiencia puedes poner de manifiesto el hecho trascendental de que las corrientes eléctricas originan un campo magnético análogo al creado por un imán. En cuanto pasa la corriente por el conductor, la aguja gira debido a que se orienta en la dirección marcada por el nuevo campo. Según la figura, como la corriente se considera que va del polo positivo al negativo, la dirección será la que va de la mano A a la B. Recuerda que las líneas de fuerza creadas por una corriente rectilínea son circunferencias con el centro en el conductor y situadas en un plano perpendicular, siendo el sentido el marcado por la regla del sacacorchos (avanza en sentido de la corriente) \*. El campo magnético en cada punto es tangente a las líneas de fuerza; por tanto, la aguja de la figura girará hasta ponerse casi perpendicular al conductor, y de forma que el polo norte señalará hacia el exterior del circuito. En la figura 20-15 (a) ves un circuito análogo al del dibujo, antes de pasar la corriente, y en la 20-15 (b) ves la posición de la aguja después, cuando la corriente pasa por el conductor.

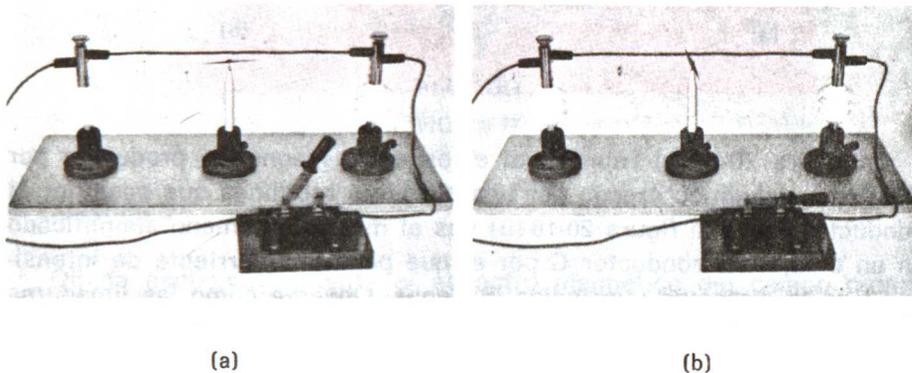


FIG. 20-15

Esta experiencia es la que realizó Oersted en 1820, y tuvo una gran trascendencia en el avance de la física, ya que con ella se pone de manifiesto por primera vez la íntima relación existente entre los fenómenos eléctricos y los magnéticos.

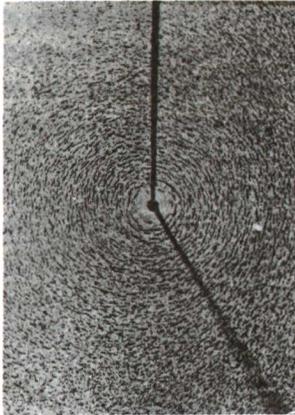
Variando la intensidad de la corriente que pasa por el circuito, podrías observar que la intensidad del campo magnético que crea la co-

---

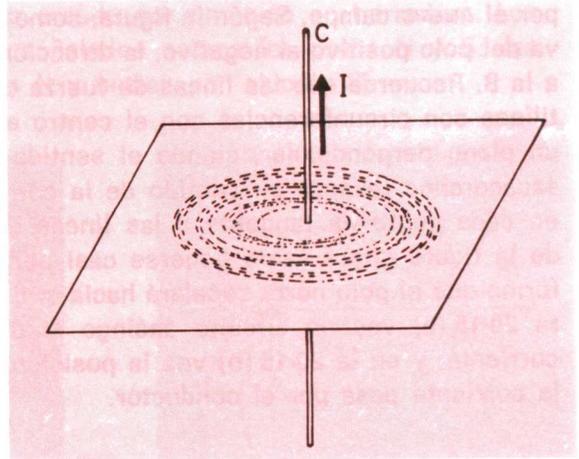
\* También puedes aplicar la regla de la mano derecha (fig. 20-3 del texto), pero ten en cuenta que el hilo conductor debe quedar entre la palma de la mano y la aguja magnética.

riente es proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor.

● Cuestión 6



(a)



(b)

FIG. 20-16

La figura 20-16 (a) representa el espectro magnético producido por el campo magnético creado por una corriente rectilínea que pasa por el conductor C. En la figura 20-16 (b) ves el mismo fenómeno simplificado en un dibujo, un conductor C por el que pasa una corriente de intensidad  $I$  en la dirección que indica la flecha. Observa cómo las limaduras de hierro dispuestas en una cartulina que atraviesa el conductor perpendicularmente, marcan perfectamente las circunferencia concéntricas con el conductor, que son las líneas de fuerza del campo magnético creado por la corriente. ¿Podrías indicar el sentido de estas líneas de fuerza y dibujar en un punto cualquiera de una de ellas la dirección del campo magnético?

No tienes más que aplicar la regla del sacacorchos para señalar el sentido de las líneas de fuerza. En el dibujo representado en la figura 20-17 puedes ver representadas las líneas de fuerza por circunferencias con el sentido marcado en las flechas y en un punto A de una cualquiera de ellas se ha señalado la tangente, que representa el campo magnético  $\vec{B}$ .

En la parte de abajo observa una mano derecha semicerrada, con el pulgar extendido en la dirección de la corriente. Fíjate que la dirección

de los otros dedos es la de las líneas de fuerza y su sentido el marcado por los extremos de los dedos. Esta es otra regla nemotécnica, como la del sacacorchos, y se conoce también con el nombre de regla de la mano derecha.

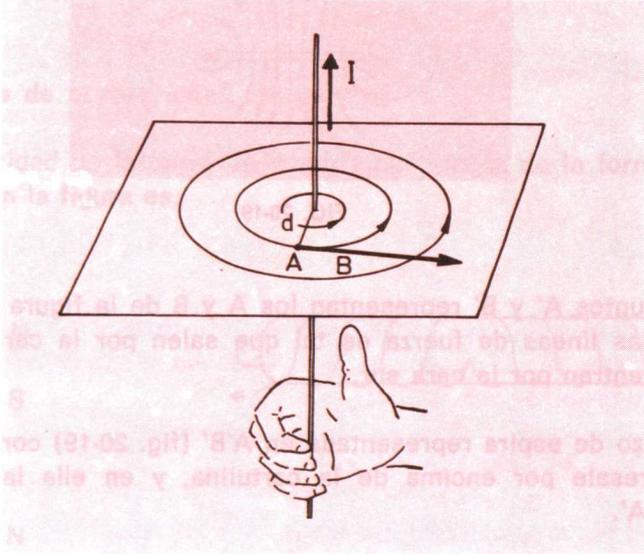
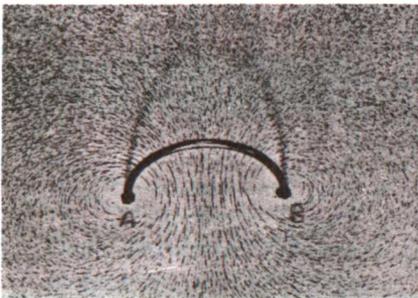


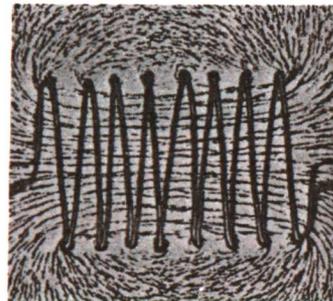
FIG. 20-17

● Cuestión 7

Dibuja esquemáticamente el espectro magnético del campo creado por una espira, y del creado por un solenoide, los cuales, realizados con limaduras de hierro, los tienes representados en las figuras 20-18 (a) y (b), respectivamente.



(a)



(b)

FIG. 20-18

Esquemáticamente puedes ver el espectro de la espira en la figura 20-19.

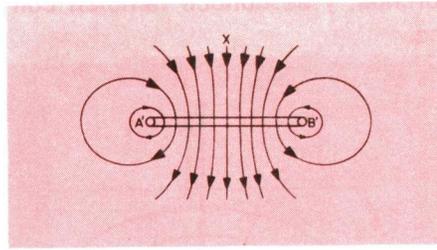
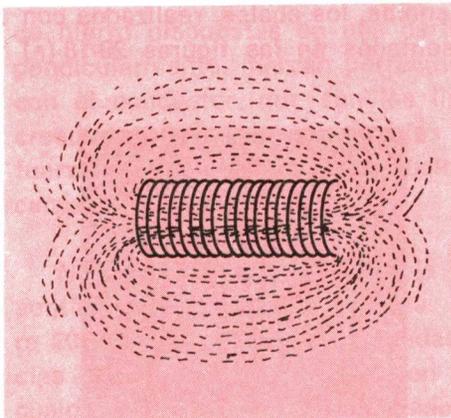


FIG. 20-19

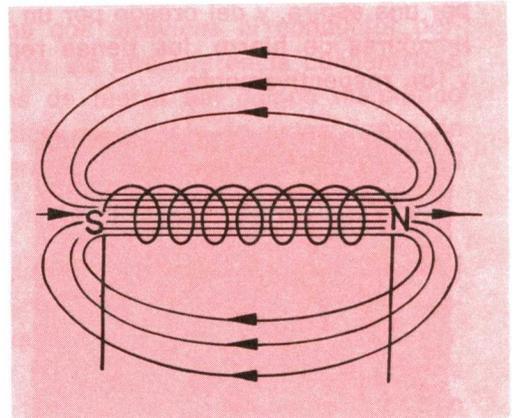
Los puntos A' y B' representan los A y B de la figura 20-19. El sentido de las líneas de fuerza es tal que salen por la cara norte de la espira y entran por la cara sur.

El trozo de espira representada en A'B' (fig. 20-19) corresponde a la que sobresale por encima de la cartulina, y en ella la corriente va de B' a A'.

El espectro magnético del solenoide lo tienes esquematizado en la figura 20-20. Observa que es igual al de un imán recto, pero en él se ven las líneas de fuerza del interior del solenoide. El sentido de las líneas de fuerza es tal que salen de la cara norte y entran por la cara sur. En el interior del solenoide las líneas de fuerza van de la sur a la norte.



(a)



(b)

FIG. 20-20

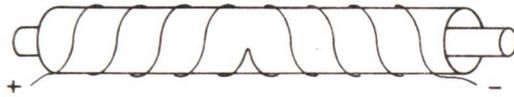
## 20.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Sigue para la realización de este ejercicio las normas dadas en los ejercicios de autoevaluación anteriores.

### ● Cuestiones de opción única (18 puntos)

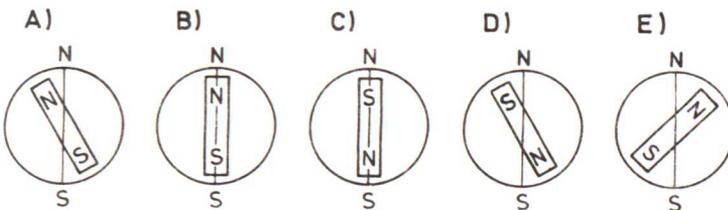
1. La polaridad de la barra de acero magnetizada de la forma que se indica en la figura es:

- A) S N
- B) S N N
- C) S N S
- D) N S
- E) N S N



1

2. La Tierra se comporta como si fuera un imán gigante cuyos polos están situados en una de las formas que se indican a continuación (la línea N S representa el eje de rotación de la Tierra).



2

3. Cada una de las siguientes es una propiedad de las líneas de fuerza magnética, EXCEPTO que:

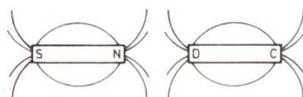
- A) Indican la dirección en que un imán libre o aguja imantada se orientaría.

- B) La dirección del campo magnético en un punto viene dada por la tangente a la línea de fuerza que pase por este punto.
- C) La intensidad del campo magnético se pone de manifiesto por lo juntas que están las líneas de fuerza.
- D) Las líneas de fuerza se cortan entre sí.
- E) Las líneas de fuerza parten de un polo norte y penetran por un polo sur.

3

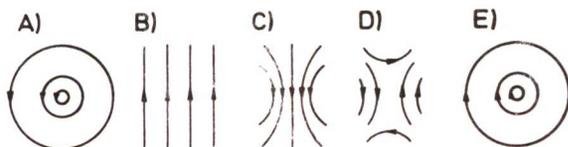
4. En la figura adjunta, si se trata de dos imanes, el de la izquierda con polos N y S conocidos, y el imán de la derecha con los polos por determinar; es CIERTO que:

- A) D es el polo sur del imán.
- B) C es el polo norte del imán.
- C) Las líneas de fuerza magnética salen de D.
- D) Las líneas de fuerza magnética entran en D.



4

5. Si una corriente eléctrica penetra perpendicularmente entrando en el plano del papel, las líneas de fuerza del campo magnético serán:



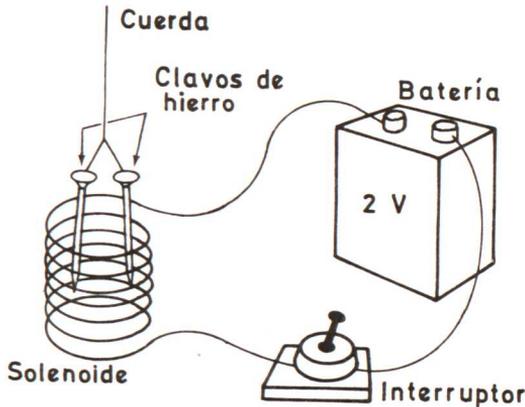
5

6. Se envuelven varias capas de alambre aislado alrededor de un clavo de hierro en la misma dirección y los extremos del alambre a los terminales de una batería. El extremo que actúa como polo norte se puede encontrar del siguiente modo:

- A) Las limaduras de hierro salen proyectadas de dicho polo.
- B) Atrae a una serie de pequeños clavitos.
- C) Utilizando una brújula, atrae al polo norte de ésta.
- D) Utilizando una brújula, repele al polo norte de ésta.
- E) Observando si el alambre gira en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario.

6

7. Observa atentamente la figura y verás que los clavos de hierro están separados. La razón es que:



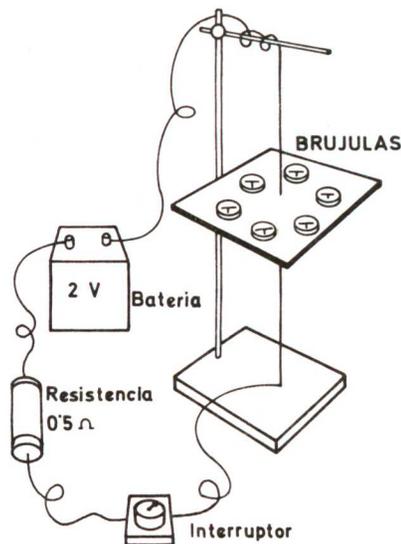
- A) Se repelen debido a las masas de los clavos.
- B) Al estar en el seno de un campo magnético, se imantan de manera que sobre las cabezas de los clavos aparecen polos de distinto signo.
- C) Al estar en el seno del campo magnético, los clavos de imantan de manera que sus cabezas tienen polos del mismo signo.
- D) El dibujo es incorrecto y es imposible que los clavos estén separados cuando pasa corriente.

7

8. Una fuerza electromotriz es inducida en cada uno de los siguientes casos, EXCEPTO cuando:
- A) Un conductor móvil corta líneas de fuerza magnética.
  - B) Las líneas de fuerza que atraviesan el conductor disminuyen.
  - C) Un conductor se mueve a lo largo de las líneas magnéticas de fuerza sin cortarlas.
  - D) Varía el flujo magnético que atraviesa el conductor.
  - E) Las líneas de fuerza que atraviesan el conductor aumentan.

8

9. La figura adjunta representa a un conductor que atraviesa perpendicularmente a una placa de material no magnético horizontal que contiene seis brújulas distribuidas regularmente a lo largo de una circunferencia concéntrica al conductor citado. Ocurre que:



- A) Antes de cerrar el interruptor, ninguna de las brújulas está orientada en la misma dirección y sentido.
- B) Después de conectado el interruptor, las brújulas indican la dirección de las líneas de fuerza, pero no el sentido de las mismas.

- C) Después de conectado el interruptor, las brújulas indican dirección y sentido de las líneas de fuerza.
- D) Al cambiar el sentido de la corriente, cambia la dirección de las brújulas, pero no su sentido.
- E) Todo lo anterior.

9

10. Una aguja magnética está situada a igual distancia de un cable conductor A y de otro cable conductor B. El cable A está por encima de la aguja y el B por debajo. Sabemos que por A y B pasa corriente continua y, sin embargo, la aguja G no se ha desviado de la posición que tenía antes de pasar la corriente por A y B. La explicación más correcta es:

- A) Por A y B el sentido de la corriente es el mismo.
- B) En A y B el sentido de la corriente es opuesto.
- C) Es imposible que esto ocurra.
- D) Por A y por B el sentido de la corriente es el mismo, y además tiene que pasar la misma intensidad.

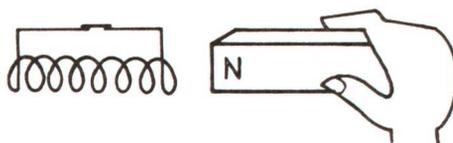
10

11. Se construyen dos solenoides, uno con hilo de Cu y otro con hilo de Al, del mismo grosor y exactamente iguales en espiras, tamaño y forma (resistividades para el Al =  $2,6 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ , y para el Cu =  $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ). Cada uno independientemente se conecta a una misma diferencia de potencial. Ocurre que:

- A) Los campos magnéticos son iguales.
- B) El campo magnético del solenoide de Al es mayor que el de Cu.
- C) El campo magnético del solenoide de Cu es mayor que el de Al.
- D) Todo lo anterior.

11

12. Observa la figura adjunta. Es FALSO que:



- A) Si se acerca el imán se producen corrientes inducidas.
- B) Estas corrientes inducidas forman un electroimán con polo norte junto al polo norte del imán que se acerca.
- C) Al alejar el imán se cambia la polaridad del solenoide de norte a sur junto al imán que se aleja.
- D) Cuando el imán se para después de acercarlo se produce una corriente inducida continua.

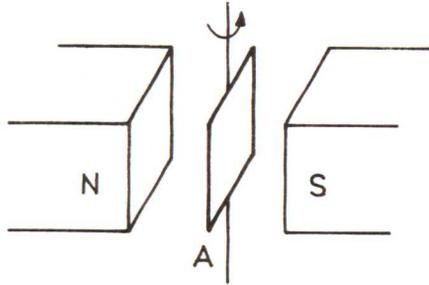
12

13. Con limaduras de hierro dulce has construido experimentalmente el espectro magnético de una espira circular. Cambias los polos de la batería, con lo cual cambia el sentido de la corriente que circula por la espira, pero no su intensidad; por tanto:

- A) Las líneas de fuerzas son de forma geométrica distinta, y las limaduras de hierro se mueven.
- B) Las líneas de fuerza tienen la misma forma geométrica, pero cambia el sentido, y por ello se mueven las limaduras de hierro.
- C) Las líneas de fuerza tienen la misma forma geométrica, no cambia su sentido y no se mueven las limaduras de hierro.
- D) Las líneas de fuerza tienen la misma forma geométrica, cambia el sentido, pero no se mueven las limaduras de hierro.
- E) Las líneas de fuerza son de la misma forma geométrica, no cambia el sentido, pero no se mueven las limaduras de hierro.

13

14. Se hace girar una espira en el seno de un campo magnético uniforme.

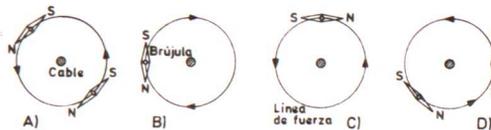


Ocurre que:

- A) No hay corriente inducida en A.
- B) Hay corriente inducida, y su valor es independiente de la velocidad con que gira A.
- C) Hay corriente inducida, su valor es tanto menor cuanto más de prisa gire la espira A.
- D) Hay corriente inducida, y su valor es tanto mayor cuanto más de prisa gire la espira A.
- E) Nada de lo anterior.

14

15. Un cable penetra perpendicularmente al papel, de manera que la corriente se dirige de abajo arriba. De los siguientes gráficos sólo hay uno correcto:

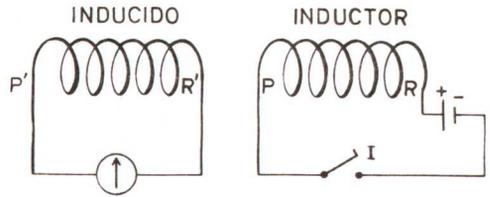


15

16. En el esquema adjunto, cuando se cierra el interruptor I ocurre que:

INDUCTOR		INDUCIDO	
P	S	P'	R'

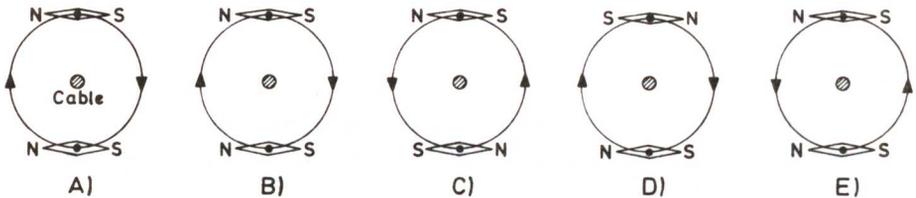
- A) N S N S
- B) S N N S
- C) N S S N
- D) S N S N
- E) N S S S



16

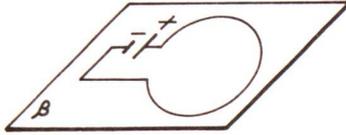
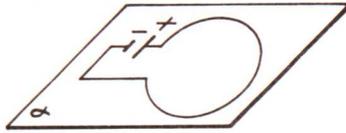
17. Por encima y por debajo de un cable rectilíneo se colocan sendas brújulas paralelas al mismo y entre sí.

Se hace pasar la corriente eléctrica a través del conductor; si en los dibujos el cable es perpendicular al papel y la corriente va de abajo arriba, el dibujo que mejor señala el fenómeno es:



17

18.  $\alpha$  y  $\beta$  son dos planos paralelos entre sí que contienen dos espiras iguales conectadas a fuentes de alimentación iguales. Luego:



- A) Un observador situado en  $\beta$  mirando hacia  $\alpha$  ve una cara sur.
- B) Un observador situado en  $\alpha$  y mirando a  $\beta$  ve una cara norte.
- C) Las caras enfrentadas de  $\alpha$  y  $\beta$  son del mismo sentido (S-S).
- D) Las caras enfrentadas de  $\alpha$  y  $\beta$  son de distinto sentido: la de  $\alpha$  es S y la de  $\beta$  es N.
- E) Las caras enfrentadas de  $\alpha$  y  $\beta$  son de distinto sentido:  $\alpha$  es N y  $\beta$  es S.

18

## 20.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. E | 7. C  | 13. D |
| 2. D | 8. C  | 14. D |
| 3. D | 9. C  | 15. D |
| 4. C | 10. D | 16. C |
| 5. E | 11. C | 17. C |
| 6. D | 12. D | 18. E |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 18 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 12 puntos.*

## TEMA 21

### OBJETIVOS

- Definir los términos básicos de la estructura atómico-molecular.
- Describir las características de las leyes de conservación de la masa y de las proporciones constantes.
- Describir las leyes de conservación de la masa y de las proporciones constantes.
- Aplicar los conceptos adquiridos a cuestiones y problemas sencillos.

## Introducción a la estructura atómico-molecular (I)

### INDICE

- 21.1. CONTENIDOS BÁSICOS
- 21.2. CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 21.3. EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 21.4. SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION





## **OBJETIVOS**

- Definir sistema homogéneo y heterogéneo.
- Describir las características de las sustancias simples y compuestas.
- Describir las leyes de conservación de la masa y de las proporciones constantes.
- Aplicar los conceptos adquiridos a cuestiones y problemas sencillos.

## **INDICE**

- 21.1 CONTENIDOS BASICOS
- 21.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 21.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 21.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 21.1 CONTENIDOS BASICOS

- Sistemas homogéneos y heterogéneos (T).
- Mezcla (T).
- Disolución (T)
- Sustancia pura (T).
- Sustancia simple o elemento (T).
- Sustancia compuesta o compuesto (T).
- Fenómeno físico (T) \*.
- Fenómeno químico o reacción química (T).
- Ley de conservación de la masa o de Lavoisier (T).
- Ley de las proporciones constantes o de Proust (T).

## 21.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

Repasa la tabla 1 del texto y te será fácil ver que el sistema inicial era una disolución, o sea una *mezcla homogénea*. Tiene esas dos características fundamentales, por ser homogénea se parece a una sustancia pura, pero al somertela a un proceso de destilación se separan sus componentes. El destilado es el agua que actuaba como disolvente en el sistema.

### ● Cuestión 2

En este caso se tratará de un sistema homogéneo y una sustancia pura, ya que sus propiedades son fijas y características y no se modifican en los cambios de estado.

\* Repasa el concepto de *fenómeno* en el apartado 1.1 del tema 3 del texto.

### ● Cuestión 3

El sistema A es una mezcla heterogénea. Mediante el imán se puede separar el polvo gris, que probablemente será un metal.

Cuando el sistema A se calienta se convierte en una combinación química, o sustancia pura compuesta.

### ● Cuestión 4

Es evidente que una sola propiedad característica no es suficiente para determinar de qué sustancia se trata. En la cuestión se presentan tres sustancias *diferentes* A, B y C, y, sin embargo, las tres tienen la misma densidad y la A y la B tienen además el mismo punto de ebullición. Por tanto, para diferenciar A y B tendremos que recurrir a determinar su punto de fusión.

La diferenciación entre B y C es más fácil, ya que son distintos los puntos de fusión y de ebullición. Ahora que, como la diferencia entre los puntos de fusión es muy pequeña, sólo de 1° C, es mejor recurrir al punto de ebullición para su diferenciación. Las tres sustancias, a la temperatura ordinaria (que podemos considerar de 25° C) serán líquidas, ya que su punto de fusión es inferior a 25° C y su punto de ebullición superior.

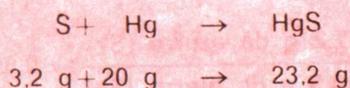
La sustancia C no puede ser agua, ya que ni coincide su punto de fusión, ni la densidad, aunque sí tenga el mismo punto de ebullición.

### ● Cuestión 5

Es evidente que se tratará de un compuesto en el primer caso. En cambio, en el segundo supuesto no podríamos contestar con certeza si se trata de un elemento o un compuesto. Podría ser un cuerpo simple por no alterarse, pero también podría ocurrir que sea un compuesto que a 1 000 grados centígrados aún no ha logrado su temperatura de descomposición.

### ● Cuestión 6

Si representamos el azufre por S, el mercurio por Hg y el sulfuro de mercurio por HgS, podemos representar el proceso total de la primera experiencia así:



donde vemos que se cumple la ley de Lavoisier ya que la masa del compuesto es la suma de las que tenían el azufre y el mercurio antes de combinarse.

En la segunda experiencia tendremos:

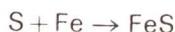


ya que si la primera experiencia ha sido un proceso total, quiere decir que las cantidades de azufre y de mercurio eran las justas y adecuadas para formar el compuesto. Al aumentar una sola de las sustancias de partida, 5 g de Hg, esta cantidad no dispone de azufre para combinarse y quedará sobrante.

### ● Cuestión 7

Representemos el hierro por *Fe* y el sulfuro de hierro por *FeS*.

*Primera experiencia:*



Si reaccionan 4 g de S con 7 g de Fe se han de formar necesariamente 11 g de FeS, es decir del compuesto.

Si en *otra experiencia* pones 8 g de S y 14 de Fe se formarán 22 g de FeS.

Si en *otra experiencias* pones 2 g de S y 3,5 g de Fe se formarán 5,5 g de FeS.

*De forma general*, podemos decir que:

$$\frac{\text{masa de S}}{\text{masa de Fe}} = \text{constante} = \frac{4}{7} = \frac{8}{14} = \frac{2}{3,5} = 0,57 \quad [1]$$

*En el problema* te dicen que pones a reaccionar 7,2 g de S y 10,5 g de Fe, veamos cuál es la relación.

$$\frac{7,2 \text{ g de azufre (S)}}{10,5 \text{ g de hierro (Fe)}} = 0,69 \quad [2]$$

Observa que el cociente es mayor que la relación anterior

$$0,69 > 0,57$$

lo cual quiere decir que el numerador de [2] es más grande que lo que exige la reacción química (relación [1]), en otras palabras, hay exceso de azufre luego usando la relación [1]

$$\frac{\text{masa de azufre}}{10,5 \text{ g de Fe}} = 0,57 \quad \parallel \quad \text{masa de S} = 6 \text{ g}$$

El exceso de azufre es  $7,2 \text{ g} - 6 \text{ g} = 1,2 \text{ g}$ .

### ● Cuestión 8

Al arder la vela se producen gases, los gases de la combustión, cuya masa es equivalente a la perdida por la vela.

La comprobación se puede lograr si se realiza la combustión en una vasija cerrada que impida la salida de los gases.

### ● Cuestión 9

En la reacción del cobre en contacto con el aire ocurre que éste se une al oxígeno del aire, por lo que aumenta la masa, es decir:

$$\text{Masa del óxido de Cu} = \text{Masa del Cu} + \text{Masa del oxígeno del aire}^*$$

La ley de Lavoisier se cumple; para comprobarla es preciso medir la masa de cobre y la de oxígeno que reacciona, la suma de ambas es igual a la masa de óxido de cobre formado.

\* El símbolo del cobre es Cu (ver tema 23).

### 21.3 EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION

Para su realización sigue las normas dadas en ejercicios anteriores.

#### ● Cuestiones de opción única (13 puntos):

1. ¿Cuál de las siguientes es la *mejor* definición de un elemento?:

- A) Es una sustancia pura.
- B) Es una sustancia obtenida por la descomposición de un compuesto.
- C) Una sustancia que al arder en aire forma un óxido.
- D) Una sustancia que no puede dividirse en otras menores por métodos físicos.
- E) Una sustancia que no puede transformarse en otra más simple por métodos químicos.

1

2. Los compuestos tienen las siguientes propiedades:

- A) Están formados por más de un elemento
- B) Su composición es fija.
- C) Son el resultado de un cambio químico.
- D) Todo lo anterior.
- E) Nada de lo dicho.

2

3. Se tiene una sustancia blanca y cristalina que calentada da una sustancia negra y un vapor incoloro de olor penetrante. Se puede asegurar que la sustancia A es:

- A) Un compuesto.
- B) Una disolución.
- C) Una mezcla.
- D) Una sustancia simple.

3

4. Cuatro sustancias A, B, C y D se calentaron en oxígeno; se comportaron como se indica a continuación:

- A) A se fundió pero no formó una nueva sustancia.
- B) B ardió dando dióxido de azufre y agua.
- C) C ardió para formar un solo óxido.
- D) D no fundió y no formó una sustancia nueva.

¿Cuál de ellas NO puede ser un elemento?

4

5. Una de las siguientes NO es una propiedad *característica* de las distintas clases de materia:

- A) Densidad.
- B) Punto de ebullición.
- C) Volumen.
- D) Color.
- E) Resistividad eléctrica.

5

6. De las siguientes, sólo una es propiedad característica del agua:

- A) Ocupa un volumen de tres litros.
- B) Es divisible en porciones de litro.
- C) Es un líquido evaporable.
- D) Tiene un punto de ebullición de  $100^{\circ}\text{C}$  cuando  $P_{\text{ext}} = 1 \text{ atm}$ .
- E) Es líquida, sólida o gaseosa

6

7. Una mezcla heterogénea se caracteriza por estas propiedades:
- A) Composición fija, estructura ordenada.
  - B) Composición variable, estado de división uniforme.
  - C) Composición variable, estado de división grosero, estructura al azar.
  - D) Composición variable, estructura ordenada.

7

8. ¿Cuál de los siguientes es el mejor ejemplo para justificar la ley de conservación de la masa?:
- A) 12 g de azufre se combinan con 21 g de hierro, para dar 33 g de sulfuro de hierro.
  - B) Cuando 12 g de azufre se calientan en el vacío no hay cambio de masa.
  - C) Una muestra de aire aumenta su volumen cuando se calienta a presión constante, pero su masa permanece inalterable.
  - D) El peso de un trozo de hierro es el mismo antes que después de calentarlo (fuera del contacto con el aire).

8

9. ¿Cuál de las siguientes es una técnica práctica de purificación más que un cambio químico?:
- A) Combustión.
  - B) Destilación.
  - C) Combinación.
  - D) Descomposición.

9

10. ¿Cuál de las siguientes propiedades es común a mezclas y a compuestos?:

- A) Contienen componentes en proporciones fijas o constantes.
- B) Sus propiedades son las mismas que las de sus componentes.
- C) Su masa es igual a la suma de las masas de sus componentes.
- D) Desprenden energía cuando se forman.

10

11. El análisis de distintas muestras de un producto homogéneo y cristalino nos dan la siguiente composición constante: C=12 por 100, O=48 por 100 y Ca=40 por 100; se puede afirmar:

- A) Que es una sustancia simple.
- B) Que es una mezcla.
- C) Que es un compuesto.
- D) No hay datos suficientes.

11

12. Cuando se hace pasar gas cloro sobre distintas cantidades de cinc se obtienen los siguientes datos \*:

Masa de gas cloro empleada sobre el Zn	Masa de Zn	Masa de compuesto formado
100 g	6,5 g	13,6 g
110 g	13 g	27,2 g
120 g	19,6 g	40,8 g
130 g	26 g	54,4 g

\* El cloro y el cinc son sustancias simples o elementos (ver tema 23).

- A) Se comprueba la ley de Lavoisier.
- B) Se comprueba la ley de conservación de la masa.
- C) Se comprueba la ley de las proporciones constantes.
- D) No se comprueba ninguna de estas leyes.

12

13. Es propio de los fenómenos químicos:

- A) Que se formen una o más sustancias puras nuevas.
- B) Que las nuevas sustancias difieran de las anteriores en sus propiedades.
- C) Que no hay ganancia ni pérdida de masa entre las nuevas y las primitivas sustancias.
- D) Hay una variación de la energía del sistema.
- E) Todo lo anterior.
- F) Nada de lo dicho.

13

● **Completar el cuadro de clasificación siguiente** (23 puntos):

El ejercicio consiste en llenar los huecos en puntos suspensivos con los términos que a continuación se describen sin ningún orden preestablecido; algún término se emplea más de una vez.

*Términos a emplear:*

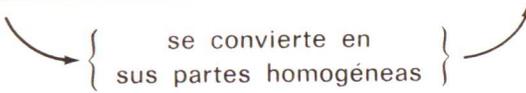
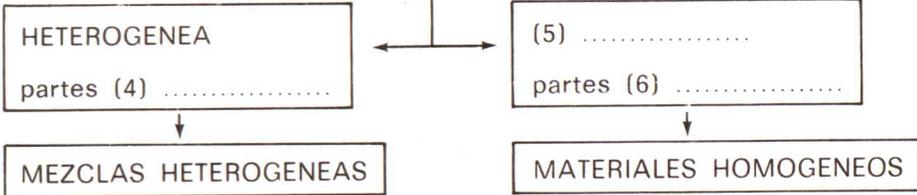
Agua, hidrógeno, sulfuro de hierro, agua con sal común, oxígeno, químicos, homogénea, físicos, soluciones, materia, específicas, espacio, distintas, masa, iguales, inercia, azufre, sulfuro de mercurio, hierro, puntos fijos de fusión y de ebullición, mercurio, óxido de cobre.

# CLASIFICACION DE SISTEMAS QUIMICOS

MATERIA

ocupa (1) ..... tiene (2) ..... posee (3) .....

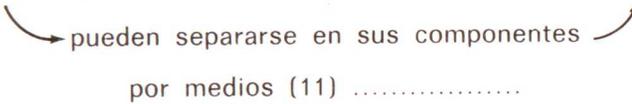
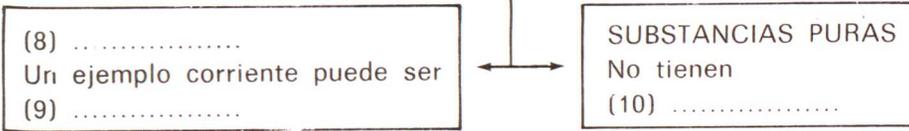
por su aspecto puede ser:



por medios (7) .....

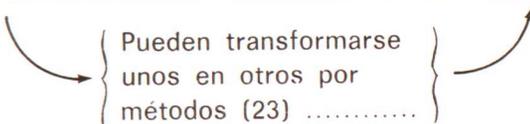
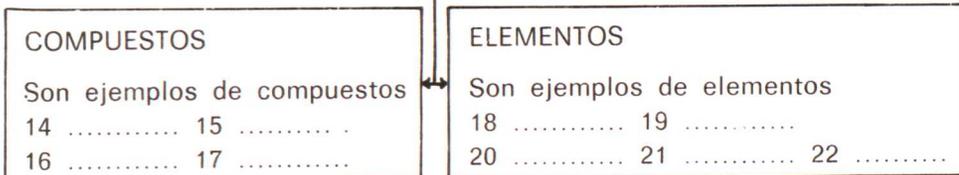
MATERIALES HOMOGENEOS

pueden ser:



SUBSTANCIAS PURAS  
 Sólo una clase de (12) .....  
 poseen propiedades (13) .....

pueden ser:



## 21.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### Cuestiones de opción única:

- |      |      |       |
|------|------|-------|
| 1. E | 6. D | 10. C |
| 2. D | 7. C | 11. C |
| 3. A | 8. A | 12. C |
| 4. B | 9. B | 13. E |
| 5. C |      |       |

### Completar el cuadro de clasificación:

1. Espacio
2. Masa
3. Inercia
4. Distintas
5. HOMOGENEA
6. Iguales
7. Físicos
8. SOLUCIONES
9. Agua con sal común
10. Puntos fijos de fusión y ebullición
11. Físicos
12. Materia
13. Específicas.

14, 15, 16, 17. Agua, sulfuro de mercurio, sulfuro de hierro y óxido de cobre

18, 19, 20, 21, 22. Hidrógeno, oxígeno, azufre, mercurio, hierro

23. Químicos

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 36 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 30 puntos.*





## TEMA 22

### OBJETIVOS

- Diferenciar los conceptos de átomo y molécula
- Definir masa atómica y masa molecular
- Definir el mol
- Aplicar los conceptos anteriores a problemas numéricos.

## Introducción a la estructura atómico-molecular (II)

### INDICE

22.1. CONTENIDOS BÁSICOS

22.2. CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

22.3. PROBLEMAS ADICIONALES

22.4. EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

22.5. SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION





## **OBJETIVOS**

- Diferenciar los conceptos de átomo y molécula.
- Definir masa atómica y masa molecular.
- Definir el mol.
- Aplicar los conceptos anteriores a problemas numéricos.

## **INDICE**

- 22.1 CONTENIDOS BASICOS
- 22.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 22.3 PROBLEMAS ADICIONALES
- 22.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 22.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 22.1 CONTENIDOS BASICOS

- Teoría atómica de Dalton (T).
- Atomo (T).
- Masa atómica. Unidad de masa atómica (T).
- Moléculas (T).
- Masa molecular (T).
- Número de Avogadro (T).
- Mol (T).

## 22.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

En el *primer caso* será un cuerpo simple, por ejemplo, hierro, aluminio, sodio, etc.

En el *segundo caso* será una sustancia pura compuesta, por ejemplo el azúcar, formado por moléculas que contienen carbono, oxígeno e hidrógeno (símbolos: C, O, H respectivamente)). Por ejemplo, la sacarosa o azúcar de remolacha consta de 12 átomos de C, 22 de H y 11 de O. Para escribir la fórmula correspondiente a la molécula de sacarosa se indica el número de átomos de cada clase en forma de subíndice (parte inferior derecha) del símbolo correspondiente, así:  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (ver lo referente a formulación en el tema 23).

Finalmente, en el *tercer caso* planteado en esta cuestión caben dos posibilidades: a) Si hay átomos distintos, pero las moléculas que se forman son todas iguales, puede ser una sustancia pura (compuesta). b) Si las moléculas que constituyen la sustancia no son todas iguales, cabe diferenciar dos nuevas posibilidades, dentro de la mezcla formada. Si el conjunto es homogéneo (ej.: azúcar en agua) se trata de una disolución y si el conjunto no es homogéneo, es simplemente una mezcla.

## ● Problema 2

Te recordamos que para estos cálculos necesitas utilizar el valor de la masa atómica de cada elemento (puedes consultar la Tabla periódica del tema 29, página 273 del texto).

Veamos los ejemplos propuestos:

a) El agua:  $\text{H}_2\text{O}$

masa molecular:

$$2 + 16 = 18$$

$$\text{mol} = 18 \text{ g}$$

b) Sacarosa:  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$

masa molecular:

$$(12 \times 12) + (22 \times 1) + (11 \times 16) = 342$$

$$\text{mol} = 342 \text{ g}$$

c) Acido nítrico:  $\text{HNO}_3$ : (aquí *N* es el símbolo del elemento nitrógeno).

Masa molecular:

$$1 + 14 + (3 \times 16) = 63$$

$$\text{mol} = 63 \text{ g}$$

## ● Problema 3

Un mol de agua son 18 g. Por tanto como:

$$\text{número moles} = \frac{m \text{ (masa en gramos)}}{M \text{ (mol)}}$$

$$54 \text{ g} \longrightarrow \frac{54 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 3 \text{ moles}$$

$$3,6 \longrightarrow \frac{3,6}{18} = 0,2 \text{ moles}$$

$$500 \text{ g} \longrightarrow \frac{500}{18} = 27,8 \text{ moles}$$

Ten en cuenta que muy aproximadamente y exactamente a  $4^\circ \text{C}$ ,  $1/4$  de litro es una masa de 250 g y  $45 \text{ cm}^3$  tiene una masa de 45 g.

$$250 \text{ g} \longrightarrow \frac{250}{18} = 13,9 \text{ moles}$$

$$45 \text{ g} \longrightarrow \frac{45}{18} = 2,5 \text{ moles}$$

#### ● Problema 4

En este caso, debemos saber que la masa en gramos es igual al número de moles multiplicado por la masa molecular:

$$m = n \cdot M$$



$$3 \text{ moles} \longrightarrow 3 \cdot 342 = 1026 \text{ g}$$

$$0,1 \text{ mol} \longrightarrow 0,1 \cdot 342 = 34,2 \text{ g}$$

$$0,02 \text{ moles} \longrightarrow 0,02 \cdot 342 = 6,84 \text{ g}$$

$$50 \text{ moles} \longrightarrow 50 \cdot 342 = 17100 \text{ g}$$

$$2/3 \text{ mol} \longrightarrow 2/3 \cdot 342 = 228 \text{ g}$$

#### ● Problema 5

En este problema encuentras los nombres y sus fórmulas de dos sustancias compuestas que no habían sido mencionadas hasta ahora: el ácido sulfúrico, del que ya conoces todos los símbolos de los elementos que lo forman, y el hidróxido de sodio en el que figura el elemento metálico *sodio* (Na).

Puedes calcular tú solo la masa en gramos de cada una de las dos sustancias y comprobar que pesa más 1 mol de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### ● Problema 6

Una advertencia previa:

En rigor no debe usarse la denominación «anhídrido sulfuroso» para el  $\text{SO}_2$  pues según el convenio internacional sobre formulación y nomenclatura de sustancias químicas debe abandonarse el término «anhídrido» para designar la combinación del oxígeno con ciertos elementos y en su lugar usar la palabra «óxido» seguida del nombre del elemento de que se trate; en este caso, el nombre será «dióxido de azufre» para distinguirlo del  $\text{SO}_3$  cuyo nombre será «trióxido de azufre».

Para resolver el problema, veamos, en primer lugar el número de moles que supone ser la cantidad en gramos, dados para cada una de las dos sustancias:

Para el agua  $\text{H}_2\text{O}$ : 1 mol = 18 g

$$n = \frac{4,5}{18} = 0,25 \text{ moles}$$

Para el  $\text{SO}_2$ : 1 mol =  $(32 + 16 \times 2)$  g

$$n = \frac{16}{64} = 0,25 \text{ moles}$$

Como el número de moles es igual para las dos sustancias, también será igual el número de moléculas, que resultará ser:

número de moléculas = número de moles  $\times$  número de Avogadro

$$\text{número de moléculas} = 0,25 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,5 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$$

### ● Problema 7

Debes saber hacerlo tú solo. Comprueba tu resultado. Debe salir  $17,5 \times 10^{23}$  moléculas.

● Problema 8

El número de moléculas existente sería:

$$\text{número moles} = \frac{180 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 10 \text{ moles}$$

$$\text{número moléculas} = 10 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,02 \cdot 10^{24}$$

$$d_{\text{sol}} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Si las moléculas de agua tienen una longitud de  $2A$ , dado que  $1A = 10^{-10}$  metros, resulta:

$$\ell = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \times 6,02 \cdot 10^{24} = 12,04 \cdot 10^{14} \text{ m} \approx 12,04 \cdot 10^{11} \text{ kilómetros.}$$

Esta longitud es mayor que la distancia al sol desde la tierra, podemos decir que el número de veces mayor es:

$$\frac{12,04 \cdot 10^{11} \text{ km}}{1,5 \cdot 10^8 \text{ km}} \approx 8000$$

● Problema 9

El azúcar es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

En 1 mol hay  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas y el número de átomos de 1 mol

será:

$$C \rightarrow 12 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 7,2 \cdot 10^{24} \text{ átomos}$$

$$H \rightarrow 22 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 13,2 \cdot 10^{24} \text{ átomos}$$

$$O \rightarrow 11 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,62 \cdot 10^{24} \text{ átomos}$$

● Problema 10

Debes saber hacerlo solo.

Comprueba que debe salir:  $3,01 \cdot 10^{19}$  átomos de Fe.

● **Problema 11**

La masa de un átomo de carbono será:

$$\frac{12 \text{ g}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,99 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

Una unidad de masa atómica es la doceava parte de la masa de un átomo de carbono 12. Por tanto:

$$1 \text{ u} = \frac{1,99 \cdot 10^{-23}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

La masa, en gramos, de una molécula de agua será:

$$\frac{18 \text{ g}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

### 22.3 PROBLEMAS ADICIONALES

● **Problema 1**

Calcula los átomos de bario (Ba) que hay en 0,1 moles de  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .  
¿Cuántos átomos de oxígeno hay en esos 0,1 moles de nitrato de bario?

Para resolver este problema ten en cuenta que en la molécula de nitrato de bario hay dos grupos  $\text{NO}_3$  (lo que se indica por el subíndice 2 detrás del paréntesis) y que cada grupo  $\text{NO}_3$  tiene 3 átomos de oxígeno lo que hace un total de 6 átomos de oxígeno. Tú mismo puedes ver que es 2 el número total de átomos de nitrógeno en dicha molécula.

Resultados:

$$R_1 = 6,0 \cdot 10^{22} \text{ átomos de bario}$$

$$R_2 = 3,6 \cdot 10^{23} \text{ átomos de oxígeno}$$

● **Problema 2**

Calcula los átomos de oxígeno que hay en 5,22 g de  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

$$R = 7,22 \cdot 10^{22} \text{ átomos de oxígeno}$$

● Problema 3

Calcula cuántos gramos de oxígeno hay en 0,15 moles de  $P_2O_5$  (pentaóxido de difósforo).

$$R = 12,0 \text{ g de oxígeno}$$

● Problema 4

Calcula la masa molecular de una molécula de quinina, cuya fórmula química es:



¿Cuánto pesa una molécula de este compuesto?

$$R_1 = 324,42 \text{ u}$$

$$R_2 = 5,39 \cdot 10^{-22} \text{ g/molécula}$$

● Problema 5

Tenemos una mezcla, de masa 0,15 g de etanol ( $C_2H_6$ ) y propano ( $C_3H_8$ ). Se sabe que el número total de moles de la mezcla es  $4 \cdot 10^{-3}$ . Calcula los gramos de carbono que hay en la mezcla.

*Solución:*

Podemos establecer las dos siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{array}{l} x + y = 0,15 \text{ g} \\ \frac{x}{M_x} + \frac{y}{M_y} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ moles} \end{array} \right\} \begin{array}{l} x = \text{gramos de } C_2H_6 \\ y = \text{gramos de } C_3H_8 \\ M_x = \text{masa molecular de } C_2H_6 \\ M_y = \text{masa molecular de } C_3H_8 \end{array}$$

donde

$$\frac{x}{M_x} = \text{número moles de } C_2H_6 \quad [1]$$

$$\frac{y}{M_y} = \text{número moles de } C_3H_8 \quad [2]$$

$$M_x = (12 \cdot 2) + (6 \cdot 1) = 30$$

$$M_y = (12 \cdot 3) + (8 \cdot 1) = 44$$

Entonces:

$$\left. \begin{aligned} x + y &= 0,15 \\ \frac{x}{30} + \frac{y}{44} &= 4 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \right\} x = 0,15 - y \quad [3]$$

$$\frac{0,15 - y}{30} + \frac{y}{44} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$6,6 - 44y + 30y = 5,28$$

$$1,32 = 14y ; \quad y = 0,094 \text{ g de } C_3H_8 \quad [4]$$

por tanto, sustituyendo en [3] tendremos:

$$x = 0,15 - 0,094 = 0,056 \text{ g de } C_2H_6 \quad [5]$$

y sustituyendo [5] y [4] en [1] y [2] tendremos:

$$\text{moles de } C_3H_8 = \frac{0,094}{44} = 21,4 \cdot 10^{-4} \text{ moles}$$

$$\text{moles de } C_2H_6 = \frac{0,056}{30} = 18,6 \cdot 10^{-4} \text{ moles}$$

$$\text{número total de moles} = 40,0 \cdot 10^{-4}$$

Ahora calculamos los gramos de carbono, ya que:

$$\frac{1 \text{ mol } C_2H_6}{2 \text{ át-g de C}} = \frac{18,6 \cdot 10^{-4} \text{ moles}}{x'} \quad \left\{ \begin{array}{l} x' = \text{número de át-g de carbono} \\ \text{que hay en } 18,6 \cdot 10^{-4} \text{ moles} \\ \text{de } C_2H_6 \end{array} \right.$$

$x' = 37,2 \cdot 10^{-4}$  át-g, que equivalen a un número de gramos  $= 3,72 \cdot 10^{-4}$  átomo-gramo  $\cdot 12$  g/át-g  $= 0,0045$  g  $= m_1$ .

Por otra parte:

$$\frac{1 \text{ mol } C_3H_8}{3 \text{ át-g de C}} = \frac{21,4 \cdot 10^{-4} \text{ moles}}{y'}$$

donde  $y'$  = número de átomos-g de carbono que hay en  $21,4 \cdot 10^{-4}$  moles de  $C_3H_8$ ;  $y' = 64,2 \cdot 10^{-4}$  át-g de C que equivalen a un número de gramos  $= 64,2 \cdot 10^{-4} \cdot 12 = 0,077 = m_2$ .

Por tanto, el número de gramos de carbono de la mezcla será  $m_1 + m_2$ , o sea:

$$0,0045 + 0,077 = 0,0815 \text{ g de C}$$

#### ● Problema 6

Tenemos una mezcla formada por una sustancia pura A y otra sustancia pura B. La masa total de la mezcla es de 4 g y el número total de moles es de  $62 \cdot 10^{-3}$ . Sabiendo que la masa molecular de B es 44 y que en la mezcla hay  $25 \cdot 10^{-3}$  moles de la sustancia A, calcula la masa molecular de A.

Podemos establecer las siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{array}{l} x + y = 4 \\ n_x + n_y = 62 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{donde: } x = \text{masa en gramos de A} \\ y = \text{masa en gramos de B} \\ n_x = \text{moles de A} = 25 \cdot 10^{-3} \\ n_y = \text{moles de B} \rightarrow \text{desconocidos} \end{array}$$

Por otra parte:

$$n_y = \frac{y}{M_y} = \frac{y}{44}$$

Resolvemos el sistema:

$$\left. \begin{array}{l} x + y = 4 \\ 25 \cdot 10^{-3} + \frac{y}{44} = 62 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} y = 44 (62 - 25) \cdot 10^{-3} \\ y = 1,628 \text{ g de B} \end{array}$$

Luego:

$$x = 4 - 1,628 = 2,372 \text{ g de A}$$

dado que:

$$n_x = \frac{x}{M_x} ; \quad M_x = \frac{x}{n_x} = \frac{2,372}{25 \cdot 10^{-3}} = 94,9$$

$$M_x = 94,9 \text{ (masa molecular de A)}$$

### ● Problema 7

Tenemos dos elementos A y B que pueden formar entre sí los compuestos: AB y A<sub>2</sub>B. Sabemos que 0,10 moles de AB tienen una masa de 7,95 g y que 0,25 moles de A<sub>2</sub>B tienen una masa de 35,7 g. Con estos datos, calcúlense las masas atómicas de A y de B.

En primer lugar, podemos calcular las masas moleculares de los compuestos: M<sub>AB</sub> y M<sub>A<sub>2</sub>B</sub> en la forma:

$$\frac{0,10}{7,95} = \frac{1}{M_{AB}} ; \quad M_{AB} = 79,5$$

$$\frac{0,25}{35,7} = \frac{1}{M_{A_2B}} ; \quad M_{A_2B} = 142,8$$

Por otra parte, podemos establecer:

$$\left. \begin{array}{l} M_{A_2B} = 142,8 = 2x + y \\ M_{AB} = 79,5 = x + y \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{donde } x = \text{masa atómica de A} \\ y = \text{masa atómica de B} \end{array}$$

Resolviendo el sistema:

$$x = 79,5 - y$$

$$142,8 = 2(79,5 - y) + y$$

$$142,8 = 159 - 2y + y$$

$$y = 159 - 142,8 = 16,2 ; \quad y = 16,2 \text{ , masa atómica de B}$$

$$x = 79,5 - 16,2 = 63,3 ; \quad x = 63,3 \text{ , masa atómica de A}$$

## 22.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización del presente ejercicio síganse las instrucciones dadas en ejercicios anteriores.

### • Cuestiones de opción única (12 puntos)

1. La masa de un mol de un compuesto puro partido por el número de moléculas que contiene es:
- A) La masa de una molécula.
  - B) Su masa molecular.
  - C) La unidad de masa atómica.
  - D) El número de Avogadro.
  - E) El número de átomos que contiene.

1

2. ¿Cuál de las siguientes expresiones resulta *totalmente* incorrecta?

- A) Una molécula de un elemento.
- B) Un átomo de un elemento.
- C) Una molécula de un compuesto.
- D) Un átomo de un compuesto.
- E) A y B.
- F) B y C.

2

3. ¿Cuál de las siguientes masas contiene el mismo número de átomos que 12 g de magnesio?

(Masas atómicas: C=12, Ca=40, Mg=24.)

- A) 12 g de C
- B) 20 g de Ca
- C) 24 g de C
- D) 40 g de Ca

3

4. ¿Cuál de las siguientes definiciones supones que es la más precisa?

A) La masa atómica de un elemento es la masa de un átomo de este elemento.

B) La masa atómica de un elemento es la relación de la masa de un átomo de este elemento con la masa de un elemento elegido como tipo.

C) La masa atómica de un elemento es:

$$\frac{\text{masa de un átomo de este elemento}}{\text{masa de un átomo de hidrógeno}}$$

D) La masa atómica es la masa en kilogramos de un número dado de átomos de este elemento.

4

5. En los siguientes pares de masas de elementos, encontrar un par en que el primer elemento contenga más átomos que el otro.

(Masas atómicas: Br → 80, Na → 23, I → 127, C → 12, N → 14.)

A) 40 g de bromo, 23 g de sodio.

B) 12,7 g de yodo, 12 g de carbono.

C) 1,0 g de carbono, 1,0 g de nitrógeno.

D) 4 g de Br, 12,7 g de yodo.

E) 23 g de sodio, 12 g de carbono.

5

6. Las unidades del número de Avogadro son:

A) Mol<sup>-1</sup>    B) Litro<sup>-1</sup>    C) Mol    D) Litro    E) g<sup>-1</sup>

6

7. 14 g de un elemento (X) se combinan con 16 g de oxígeno. Sobre la base de esta única información, ¿cuál de las siguientes hipótesis es correcta? (masa atómica: O  $\rightarrow$  16):

- A) El elemento puede tener una masa atómica de 7 y forma un óxido de fórmula XO.
- B) El elemento puede tener una masa atómica de 14 y su fórmula del óxido es X<sub>2</sub>O.
- C) El elemento puede tener una masa atómica de 7 y forma un óxido de fórmula X<sub>2</sub>O.
- D) El elemento puede tener una masa atómica de 14 y el óxido tiene una fórmula XO<sub>2</sub>.

8. La masa de  $67 \times 10^{24}$  átomos de carbono (masa atómica: C = 12) es:

- A) 13,55 g
- B) 133,55 g
- C) 1 335,5 g
- D) 10,8 g

8

9. Un mol de moléculas de un gas:

- A) Contiene el número de Avogadro de moléculas.
- B) Es el doble de la masa de un mol de átomos del mismo gas.
- C) Contiene tantas moléculas como átomos tiene un mol de hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- D) Tiene una masa en gramos igual al átomo-gramo.

9

10. La masa atómica del oxígeno es 16, mientras que la masa atómica del hidrógeno es 1. De ello se deduce que:

- A) Un mol de átomos de oxígeno es 16 veces más pesado que un mol de átomos de hidrógeno.



## 22.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

- |      |      |       |
|------|------|-------|
| 1. A | 5. C | 9. A  |
| 2. D | 6. A | 10. E |
| 3. B | 7. C | 11. A |
| 4. B | 8. C | 12. A |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 12 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 8 puntos.*

## TEMA 23

### OBJETIVO

Formular y reconocer los átomos de los compuestos orgánicos

# Introducción a la nomenclatura y notación química

### INDICE

23.1. CONTENIDOS BÁSICOS

23.2. CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

23.3. EJERCICIO DE AUTOEVALUACIÓN

23.4. SOLUCIONES A EJERCICIO DE AUTOEVALUACIÓN





## **OBJETIVO**

— Formular y reconocer las fórmulas de los compuestos inorgánicos siguientes: óxidos, hidróxidos, ácidos y sales.

## **INDICE**

- 23.1 CONTENIDOS BASICOS
- 23.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 23.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 23.4 SOLUCIONES A LEJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 23.1 CONTENIDOS BASICOS

- Nomenclatura química (T) \*.
- Significado cualitativo y cuantitativo del símbolo (T).
- Fórmulas. Significado cuantitativo (T).
- Valencia (T).
- Combinaciones binarias (T).
- Oxidos, hidróxidos, ácidos y sales (T).

## 23.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

Consulta la tabla I del tema 23 del texto *Positrón* y la tabla periódica de la página 273 del mismo texto.

### ● Cuestión 2

Consulta las tablas mencionadas en la cuestión anterior.

### ● Problema 3

El agua ( $H_2O$ ) tiene una masa molecular  $M=18$ . Entonces podemos establecer:

$$\frac{18 \text{ g}}{6,02 \cdot 10^{23}} = \frac{54 \text{ g}}{x}$$

$$x = 18,06 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$$

(sigue en la pág. 219)

\* El estudio de la nomenclatura y formulación de los compuestos orgánicos lo harás en los temas 37 y ss.

## LOS ELEMENTOS

Numero de protones	Nombre del elemento	Simbolo del elemento	Descubridor del elemento	Lugar del descubrimiento	Fecha del descubrimiento
1	Hidrógeno	H	Cavendish	Escocia	1895
2	Helio	He	Ramsay	Suecia	1817
3	Litio	Li	Arfvedson	Suecia	1817
4	Berilio	Be	Wodhler	Alemania	1828
5	Boro	B	Davey	Inglaterra	1807
6	Carbono	C			Antigua
7	Nitrógeno	N	Rutherford	Escocia	1772
8	Oxígeno	O	Priestley	Inglaterra	1774
9	Flúor	F	Moissan	Francia	1886
10	Neón	Ne	Ramsay y Travers	Escocia	1898
11	Sodio	Na	Davey	Inglaterra	1807
12	Magnesio	Mg	Davey	Inglaterra	1808
13	Aluminio	Al	Wohler	Alemania	1827
14	Silicio	Si	Berzelius	Suecia	1823
15	Fósforo	P	Brand	Alemania	1669
16	Azufre	S			Antigua
17	Cloro	Cl	Ramsay y Rayleigh	Suecia	1774
18	Argón	A	Scheele	Escocia	1894
19	Potasio	K	Davey	Inglaterra	1807
20	Calcio	Ca	Davey	Inglaterra	1808
21	Escandio	Sc	Nilson	Suecia	1879
22	Titanio	Ti	Gregor	Inglaterra	1791
23	Vanadio	V	Sefstrom	Suecia	1831
24	Cromo	Cr	Vaquelin	Francia	1797
25	Manganeso	Mn	Gahn	Suecia	1774
26	Hierro	Fe			Antigua
27	Cobalto	Co	Brandt	Suecia	1735
28	Niquel	Ni	Cronstedt	Suecia	1751
29	Cobre	Cu			Antigua
30	Cinc	Zn	Marggraf	Alemania	1746
31	Galio	Ga	Boisbaudran	Francia	1875
32	Germanio	Ge	Winkler	Alemania	1886
33	Arsénico	As			Antigua
34	Selenio	Se	Berzelius	Suecia	1817
35	Bromo	Br	Balard; Lowig	Francia	1825
36	Criptón	Kr	Ramsav	Escocia	1898
37	Rubidio	Rb	Bunsen	Alemania	1861
38	Estroncio	Sr	Davey	Inglaterra	1808
39	Itrio	Y	Dadolin	Finlandia	1794
40	Circonio	Zr	Klaproth	Alemania	1789
41	Columbio	Cb	Hatchett	Inglaterra	1801
42	Molibdeno	Mo	Scheele	Suecia	1778
43	Tecnecio	Tc	Noddack y Tacke	Alemania	1925
44	Rutenio	Ru	Klaus	Rusia	1844
45	Rodio	Rh	Wollaston	Inglaterra	1803
46	Paladio	Pd	Wollaston	Inglaterra	1803
47	Plata	Ag			
48	Cadmio	Cd	Stromyer		
49	Indio	In	Reich y Richter		
50	Estaño	Sn			Antigua
51	Antimonio	Sb			Antigua
52	Telurio	Te	Muller	Rumania	1782
53	Yodo	I	Courtois	Francia	1813

# LOS ELEMENTOS

(continuación)

Número de protones	Nombre del elemento	Símbolo del elemento	Descubridor del elemento	Lugar del descubrimiento	Fecha del descubrimiento
54	Xenón	Xe	Ramsay	Escocia	1898
55	Cesio	Cs	Kirchhoff y Bunsen	Alemania	1861
56	Bario	Ba	Davey	Inglaterra	1808
57	Lantano	La	Mosander	Suecia	1839
58	Cerio	Ce	Hisinger y Berzelius	Suecia	1805
59	Praseodimio	Pr	Welsbach	Austria	1885
60	Neodimio	Nd	Welsbach	Austria	1885
61	Prometio	Pm	Hopkins y cols.	Estados Unidos	1926
62	Samario	Sm	Boisbaudran	Francia	1879
63	Europio	Eu	Demarcay	Francia	1886
64	Gadolinio	Gd	Boisbaudran		
65	Terbio	Tb	Mosander	Suecia	1843
66	Disprobio	Dy	Boisbaudran	Francia	1886
67	Holmio	Ho	Cleve	Suecia	1879
68	Erbio	Er		Suecia	1843
69	Tulio	Tm	Cleve	Suecia	1819
70	Iterbio	Yb	De Marignac	Suiza	1878
71	Lutecio	Lu	Urbain	Francia	1907
72	Hafnio	Hf	Coster y Von Hevesy	Países Bajos	1923
73	Tántalo	Ta	Ekeberg	Suecia	1802
74	Wolframio	W	Hermanos Elhuyar	España	1783
75	Renio	Re	Noddack y Tacke	Alemania	1925
76	Osmio	Os	Tennant	Inglaterra	1804
77	Iridio	Ir	Tennant	Inglaterra	1804
78	Platino	Pt	Scalinger	Italia	1557
79	Oro	Au			Antigua
80	Mercurio	Hg			Antigua
81	Talio	Tl	Crookes	Inglaterra	1861
82	Plomo	Pb			Antigua
83	Bismuto	Bi	Geoffroy	Francia	1753
84	Polonio	Po	Curies	Francia	1898
85	Astato	At	Allison	Estados Unidos	1931
86	Radón	Rn	Dorn	Alemania	1900
87	Francio	Fr	Allison y Perey	Estados Unidos	1939
88	Radio	Ra	Curies	Francia	1898
89	Actinio	Ac	Debierne	Francia	1899
90	Torio	Th	Berzelius	Suecia	1828
91	Protactinio	Pa	Hahn y Meitner	Canadá	1917
92	Uranio	U	Klaproth	Alemania	1789
93	Neptunio	Np	McMillan y Abelson	Estados Unidos	1940
94	Plutonio	Pu	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1940
95	Americio	Am	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1945
96	Curio	Cm	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1944
97	Berkelio	Bk	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1949
98	Californio	Cf	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1950
99	Einsteinio	E	Grupo de E. U. A.	Estados Unidos	1952
100	Fermio	Fm	Grupo de E. U. A.	Estados Unidos	1952
101	Mendelevio	Mv	Seaborg y cols.	Estados Unidos	1955
102	Nobelio	No	Grupo Internacional	Suecia	1957
103	Laurencio	Lr			

NOTA.—Los elementos 1 a 29 se encuentran normalmente en la naturaleza. Los elementos del 93 en adelante fueron descubiertos como resultado de la transmutación.

Como de oxígeno hay un átomo por molécula y de hidrógeno dos por molécula, tendremos:

átomos de oxígeno en 54 g de  $\text{H}_2\text{O} = 18,06 \cdot 10^{23}$  átomos

átomos de hidrógeno en 54 g de  $\text{H}_2\text{O} = 36,1 \cdot 10^{23}$  átomos

#### ● Problema 4

$$\text{Número de moles de carbono} = \frac{m}{M} = \frac{3}{12} = 0,25 \text{ moles}$$

Número de moléculas = número de átomos = moles  $\cdot N_A$

$$\text{Número átomos} = 0,25 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,5 \cdot 10^{23} \text{ átomos de C}$$

No puede decirse que haya moléculas de carbono; en todo caso, podríamos hablar de macromoléculas de C, como, por ejemplo, en el diamante.

#### ● Cuestión 5

Consulta las tablas del texto.

#### ● Cuestión 6

Consulta las tablas del texto.

#### ● Cuestión 7

$\text{HCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaI}$ ,  $\text{SrS}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{ZnF}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ,  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ .

#### ● Cuestión 8

Yoduro de hidrógeno, seleniuro de hidrógeno, bromuro de plata, sulfuro de cobre (II), sulfuro de níquel (II), sulfuro de aluminio, ioduro de plomo (II), cloruro de estaño (II), cloruro de azufre (II), amoníaco, sulfuro de plomo (II), metano, nitruro de boro, cloruro de yodo.

● **Cuestión 9**

$\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .

● **Cuestión 10**

Oxido de plata, óxido de magnesio, hidróxido de mercurio (II), óxido de carbono, óxido de cobre (II), óxido de hierro (II), trióxido de azufre, óxido de dicloro, hidróxido de níquel (III), óxido de cromo (III), hidróxido de aluminio.

● **Cuestión 11**

Acido clorhídrico, ácido hipocloroso, ácido brómico, ácido perclórico, ácido sulfhídrico, ácido sulfuroso, ácido selénico, ácido nitroso, ácido fosfórico, ácido carbónico.

● **Cuestión 12**

$\text{HI}$ ,  $\text{HBrO}_3$ ,  $\text{HNO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}_3$ .

● **Cuestión 13**

Debes hacerlo solo, recuerda que el ácido nítrico es  $\text{HNO}_3$ ; ácido sulfúrico es  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; ácido fosfórico es  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

● **Cuestión 14**

Oxido de sodio; dióxido de azufre; ácido sulfuroso; sulfato de sodio; hidróxido de potasio; hipoclorito de potasio; nitrato de calcio; fosfato de aluminio; fosfato de calcio; hidróxido de plata; nitrato de plata; hidrógeno carbonato de sodio; hidrógeno carbonato de calcio; dihidrógeno fosfato de sodio (el libro tiene una errata; la fórmula debe ser:  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ); sulfuro de calcio; sulfito de calcio; silicato de magnesio; dióxido de silicio; fluoruro de silicio; ácido fluorhídrico.

### 23.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización de este ejercicio sigue las mismas normas que en los ejercicios de autoevaluaciones anteriores.

● **Empareja los conceptos de la columna derecha con los que se corresponden de la izquierda (12 puntos):**

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| A) Nomenclatura química       | 1. La notación en letras que se emplea para identificar a los elementos ( )  |
| B) Notación química o fórmula | 2. Propio de los metales ( )   |
| C) Símbolo.                   | 3. Capacidad de combinación de un elemento ( )                               |
| D) Brillo metálico            | 4. Compuesto binario en el que el hidrógeno actúa como no metal ( )          |
| E) Valencia                   | 5. Lenguaje propio para nombrar las sustancias químicas puras ( )            |
| F) Combinación binaria        | 6. Compuesto formado por dos elementos distintos ( )                         |
| G) Hidruros                   | 7. Combinación de un radical ácido con un metal ( )                          |
| H) Hidrácidos                 | 8. Compuesto binario de no metal e hidrógeno ( )                             |
| I) Oxoácidos                  | 9. Compuesto ternario de H, O y un metal ( )                                 |
| J) Sales                      | 10. Compuesto ternario formado por un no metal, O y H activo ( )             |
| K) Hidróxidos                 | 11. Forma abreviada de escribir los nombres de los compuestos en Química ( ) |

● **Escribe los nombres de los compuestos que corresponden a las notaciones químicas siguientes (22 puntos):**

- |  |   |
|--|---|
| 12. NaCl .....                           | 23. H <sub>2</sub> S .....                  |
| 13. Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ..... | 24. SiO <sub>2</sub> .....                  |
| 14. FeCl <sub>2</sub> .....              | 25. CO <sub>2</sub> .....                   |
| 15. FeCl <sub>3</sub> .....              | 26. H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> .....   |
| 16. LiH .....                            | 27. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....    |
| 17. HCl .....                            | 28. HClO <sub>4</sub> .....                 |
| 18. Na <sub>2</sub> O .....              | 29. NaNO <sub>3</sub> .....                 |
| 19. N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....  | 30. CaSO <sub>4</sub> .....                 |
| 20. CH <sub>4</sub> .....                | 31. Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ..... |
| 21. NH <sub>3</sub> .....                | 32. NaOH .....                              |
| 22. H <sub>2</sub> O .....               | 33. Cu(OH) <sub>2</sub> .....               |

● **Escribe los símbolos de los siguientes elementos acompañados de sus valencias respectivas (8 puntos):**

	Símbolo	Valencia		Símbolo	Valencia
34. Carbono .....			38. Criptón .....		
35. Cloro .....			39. Estaño .....		
36. Cinc .....			40. Hierro .....		
38. Mercurio .....			41. Potasio .....		

● **Escribe las fórmulas de los siguientes compuestos (9 puntos):**

- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 42. Bromuro de aluminio .....    | 47. Acido nítrico .....         |
| 43. Cloruro de hierro (II) ..... | 48. Fosfato de aluminio .....   |
| 44. Oxido de calcio .....        | 49. Hidróxido de aluminio ..... |
| 45. Dióxido de azufre .....      | 50. Nitrógeno gas .....         |
| 46. Acido bromhídrico .....      |                                 |

## 23.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Empareja...

- |      |       |
|------|-------|
| 1. C | 7. J  |
| 2. D | 8. H  |
| 3. E | 9. K  |
| 4. G | 10. I |
| 5. A | 11. B |
| 6. F |       |

### ● Escribe...

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 12. Cloruro de sodio          | 23. Acido sulfhídrico       |
| 13. Sulfuro de aluminio       | 24. Dióxido de silicio      |
| 14. Cloruro de hierro (II)    | 25. Dióxido de carbono      |
| 15. Cloruro de hierro (III)   | 26. Acido ortosilícico      |
| 16. Hidruro de litio          | 27. Acido sulfúrico         |
| 17. Cloruro de hidrógeno      | 28. Acido perclórico        |
| 18. Oxido de sodio            | 29. Nitrato de sodio        |
| 19. Pentaóxido de dinitrógeno | 30. Sulfato de calcio       |
| 20. Metano                    | 31. Nitrato de hierro (III) |
| 21. Amoníaco                  | 32. Hidróxido de sodio      |
| 22. Agua                      | 33. Hidróxido de cobre (II) |

● **Escribe...**

34. C, 2-4

35. Cl, 1-3-5-7

36. Zn, 2

37. Hg, 1-2

38. Kr, 0

39. Sn, 2-4

40. Fe, 2-3

41. K, 1

● **Escribe...**

42.  $\text{AlBr}_3$

43.  $\text{FeCl}_2$

44.  $\text{CaO}$

45.  $\text{SO}_2$

46.  $\text{BrH}$

47.  $\text{HNO}_3$

48.  $\text{AlPO}_4$

49.  $\text{Al(OH)}_3$

50.  $\text{N}_2$

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 50 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 40 puntos.*

## TEMA 24

### Estado gaseoso

INDICE

24.1. CONTENIDOS BÁSICOS

24.2. FENÓMENOS

24.2.1. Mecanismos de transporte de masa y energía en el medio gaseoso y su dependencia con las propiedades físicas de los gases

24.2.2. Mecanismos de transporte de masa y energía en el medio gaseoso y su dependencia con las propiedades físicas de los gases

24.2.3. Fenómenos de transporte de masa y energía en el medio gaseoso y su dependencia con las propiedades físicas de los gases

24.2.4. Fenómenos de transporte de masa y energía en el medio gaseoso y su dependencia con las propiedades físicas de los gases

Tema 25



## OBJETIVOS

- Escribir las ecuaciones de Boyle-Mariotte y las de Gay Lussac-Charles (éstas expresando la temperatura en grados Kelvin).
- Deducir la ecuación de estado de los gases perfectos.
- Aplicar las fórmulas anteriores a la resolución de problemas numéricos.

## INDICE

### 24.1 CONTENIDOS BASICOS

### 24.2 ORIENTACIONES

- 24.2.1 *Nociones introductorias:* Proporcionalidad directa e inversa entre variables y su representación gráfica. Propiedades de los gases. Gases perfectos.
- 24.2.2 Relación entre  $P$  y  $V$  en un gas perfecto o ideal: ley de Boyle-Mariotte.
- 24.2.3 Relaciones entre  $P$  y  $T$  y entre  $V$  y  $T$ : leyes de Gay Lussac o de Charles.
- 24.2.4 Relaciones entre  $V$  y número de moles y entre  $P$  y número de moles.

24.2.5 Ecuación de estado de los gases perfectos. Valores de  $R$ .

24.2.6. *Aplicaciones de la ecuación de estado.*

24.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

24.4 PROBLEMAS ADICIONALES

24.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

24.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 24.1 CONTENIDOS BASICOS

- Caracteres de los gases (T, D).
- Relación entre volumen y presión a temperatura constante: ley de Boyle-Mariotte (T, D).
- Relación entre volumen y temperatura Kelvin a presión constante (T, D).
- Relación entre presión y temperatura Kelvin a volumen constante (leyes de Gay Lussac o de Charles) (T, D).
- Relación entre presión, volumen, temperatura Kelvin y número de moles de un gas: ecuación de estado (T, D).
- Breve noción de la teoría cinética de los gases (T).

## 24.2 ORIENTACIONES

### 24.2.1 Nociones introductorias: Proporcionalidad directa e inversa entre variables y su representación gráfica. Propiedades de los gases. Gases perfectos.

- *Proporcionalidad directa e inversa entre variables y su representación gráfica*

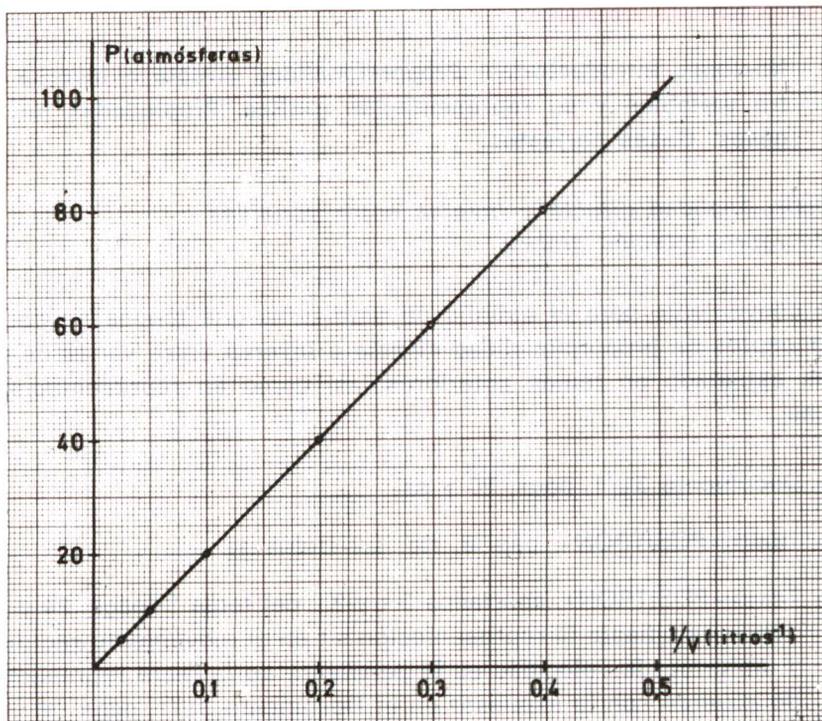
Es conveniente para el estudio de este tema que tengas en cuenta los conceptos de **proporcionalidad directa e inversa** entre variables que ya has estudiado en temas anteriores, así como en representaciones gráficas:

- Documento 31/1, págs. 20 y ss.
- Texto «POSITRON», pág. 8, fig. 1.2 (tema 1).
- Texto «POSITRON», apartados 3.1 y 3.2 del tema 3 (págs. 24 y 25), donde estudiaste la representación  $s-t$  en el movimiento rectilíneo y uniforme; la velocidad es la *pendiente de la recta* representada de acuerdo con lo expuesto en el Documento 31/1, págs. 20 y 21.
- Texto «POSITRON», tema 4: apartados 1.2 y 1.3.

En todos estos casos las magnitudes representadas en los ejes Y, X son entre sí directamente proporcionales y se cumple que el cociente entre dos valores de  $y$ ,  $x$ , correspondientes a un punto de la recta, es la constante de proporcionalidad:

$$\frac{y}{x} = k \quad (\text{pendiente de la recta}).$$

- Debes repasar también lo expuesto en el tema 1 del Documento 31/1, págs. 22 y ss., problema 4: es un ejemplo, para el estudio de representaciones gráficas, tomado precisamente de la ley de Boyle-Mariotte de este tema 24: **proporcionalidad inversa** entre  $P$  y  $V$ : su producto es una constante y su representación es una curva como la de la gráfica 1-5 (pág. 23 de Doc. 31/1). Es interesante representar  $P$  en el eje de ordenadas y  $1/V$  en el de abscisas, para obtener la representación de una recta que pasa por el origen de coordenadas (fig. 1.6, Doc. 31/1, pág. 24):



## ● Propiedades de los gases. Gases perfectos

Los gases son fluidos como los líquidos y como éstos no tienen forma propia, pero se diferencian de los líquidos por unas propiedades características: tendencia a la *expansión* o a ocupar totalmente el volumen del recipiente que los contiene; *compresibilidad* con disminución de volumen; *difusibilidad* o propiedad de mezclarse espontáneamente dos o más gases entre sí.

Un gas se caracteriza por cuatro variables, que son:

- la presión  $P$
- el volumen  $V$
- la temperatura  $T$
- el número de moles  $n$

Estas cuatro variables están relacionadas entre sí por una ecuación matemática que recibe el nombre de ecuación de estado.

Esta ecuación, en general, es complicada para los gases existentes en la naturaleza (por ejemplo, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, helio, etc.), sobre todo si estos gases se encuentran a temperaturas bajas (próximo a la temperatura de licuación o paso del gas al estado líquido) y a presiones altas. No obstante, cuando los gases se encuentran a temperatura alta y presión baja, la ecuación de estado, que relaciona  $P$ ,  $V$ ,  $T$  y  $n$ , es relativamente sencilla. Además, cuando los gases reales se encuentran en las condiciones de presión y temperatura acabadas de mencionar, todos tienen un comportamiento experimental análogo; esto quiere decir, que, por ejemplo, la relación entre la presión y el volumen, a temperatura y número de moles constante, es la misma para todos los gases independientemente de su naturaleza.

Por esta razón los físicos han creado un *modelo de gas* llamado *gas perfecto o ideal*, para el cual se puede encontrar una ecuación de estado relativamente sencilla y que se llama **ecuación de los gases perfectos** (o ecuación de estado de los gases perfectos).

Para llegar a encontrar esta ecuación de estado, se parte de hechos experimentales, que a continuación describiremos, operando con gases reales en condiciones de presiones bajas y temperaturas altas.

Una vez encontrada la ecuación de estado, se postula que es válida para los gases ideales a cualquier presión y temperatura y naturalmente esa ecuación sólo es válida para los gases reales a temperaturas altas y presiones bajas.

Fíjate bien que el gas ideal es un *modelo*, es decir, es un gas hipotético que cumple una ecuación de estado sencilla tanto si la presión es grande o pequeña y la temperatura alta o baja. El gas real cumple esa ecuación solamente a temperaturas altas y presiones bajas. Independientemente de esta limitación, en problemas y ejercicios sólo utilizaremos la ecuación de estado de los gases ideales, como si los gases reales la cumplieran a cualquier temperatura y presión. En cursos avanzados podrás estudiar las ecuaciones de estado para los gases reales.

#### 24.2.2 Relación entre P y V en un gas perfecto o ideal: ley de Boyle-Mariotte.

Lee en el texto la experiencia del apartado 2.1 y observa las gráficas de la figura 24-2 (pág. 222), que se han construido con los datos de la tabla I (pág. 221 del texto. Preferimos enunciar la ley de Boyle-Mariotte de este modo:

«A TEMPERATURA CONSTANTE, Y PARA UN DETERMINADO NÚMERO DE MOLES, LOS VOLUMENES QUE OCUPA UN GAS SON INVERSAMENTE PROPORCIONALES A LAS PRESIONES.» (Esta ley se cumple en cualquier gas perfecto.)

Podemos escribir:

$$P \cdot V = k \quad [1]$$

Es decir:  $P \cdot V = P' \cdot V' = P'' \cdot V'' = \dots = k$

Por tanto:

$$\frac{P}{P'} = \frac{V'}{V} \quad [2]$$

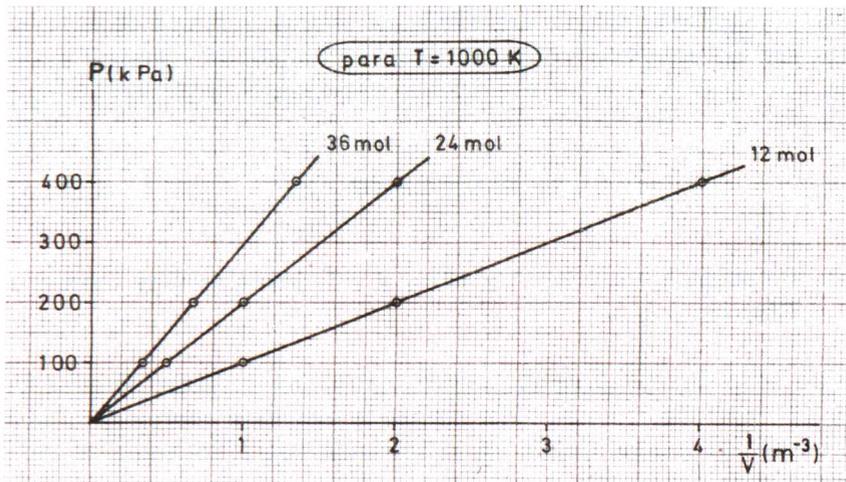
que es, en esta forma, la expresión más utilizada para solución de problemas numéricos.

Es muy importante que te fijes que la proporcionalidad inversa entre  $P$  y  $V$  se cumple a temperatura constante y para un determinado número de moles. Esto quiere decir que la proporcionalidad inversa se cumple también si tomamos otro número de moles y otra temperatura Kelvin, pero la constante de proporcionalidad será distinta, como puedes comprobar en las Tablas 24.1.A y 24.1.B, así como en las representaciones gráficas (fig. 24.1.A y fig. 24.1.B). Las representaciones gráficas se han hecho, como se ha indicado antes, de  $P$  frente  $1/V$ . Observa en las gráficas cómo la pendiente de la recta (y, por tanto, el ángulo que forma con el eje X) varía según varía la constante  $k$  de proporcionalidad.

TABLA 24.1.A

Para  $T = 1000 \text{ K}$

12 moles				24 moles				36 moles			
P (kPa)	V (m <sup>3</sup> )	$\frac{1}{V}$	P · V $k_{12}$	P (kPa)	V (m <sup>3</sup> )	$\frac{1}{V}$	PV $k_{24}$	P (kPa)	V (m <sup>3</sup> )	$\frac{1}{V}$	PV $k_{36}$
100	1	1	100	100	2	0,5	200	100	3	0,33	300
200	0,5	2	100	200	1	1	200	200	1,5	0,67	300
400	0,25	4	100	400	0,5	2	200	400	0,75	1,33	300

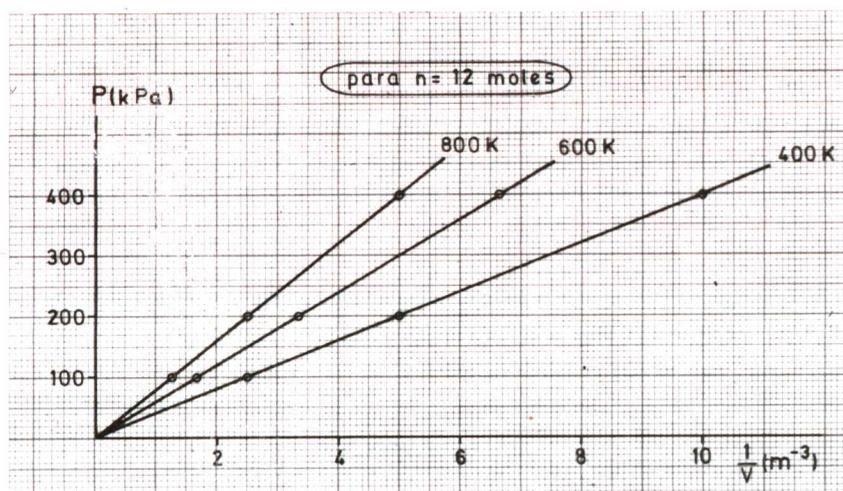


GRAFICA 24.1.A

TABLA 24.1.B

Para  $n=12$  moles

$T=400\text{ K}$				$T=600\text{ K}$				$T=800\text{ K}$			
P (kPa)	V ( $\text{m}^3$ )	$\frac{1}{V}$	PV $k_{400}$	P (kPa)	V ( $\text{m}^3$ )	$\frac{1}{V}$	PV $k_{600}$	P (kPa)	V ( $\text{m}^3$ )	$\frac{1}{V}$	PV $k_{800}$
100	0,40	2,5	40	100	0,60	1,67	60	100	0,80	1,25	80
200	0,20	5,0	40	200	0,30	3,33	60	200	0,40	2,50	80
400	0,10	10,0	40	400	0,15	6,67	60	400	0,20	5,0	80



GRAFICA 24.1.B

### 24.2.3 Relaciones entre $P$ y $T$ y entre $V$ y $T$ : leyes de Gay Lussac o de Charles.

Ante todo una observación sobre lectura en el texto. Puedes prescindir del apartado 5; en su lugar repasa lo expuesto acerca de la temperatura y de los grados Kelvin en el apartado 10.2.1 del tema 10 del Documento 31/1 (págs. 264 y ss.). Puedes prescindir también en el texto de los apartados 3 y 4 (págs. 222 a 224) y, por tanto, de los coeficientes de dilatación a presión constante y a volumen constante.

- Preferimos enunciar la ley de Gay Lussac referente a presiones y temperaturas absolutas o Kelvin de un gas, así:

«A VOLUMEN CONSTANTE, Y PARA DETERMINADO NUMERO DE MOLES, LAS PRESIONES DE UN GAS SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LAS TEMPERATURAS ABSOLUTAS.»

Podemos escribir:

$$\frac{P}{T} = k \quad [3]$$

De aquí podemos deducir:

$$\frac{P}{T} = k = \frac{P'}{T'} = \frac{P''}{T''} = \dots$$

La ley de Gay-Lussac escrita en la forma:

$$\frac{P'}{T} = \frac{P}{T'} \quad [4]$$

es utilizada frecuentemente en la solución de problemas numéricos haciendo constar siempre las temperaturas en grados Kelvin.

Fijate que la proporcionalidad directa entre  $P$  y  $T$  se cumple a volumen constante y para un determinado número de moles. Esto quiere decir que dicha proporcionalidad directa entre  $P$  y  $T$  se cumple también para otro volumen y para otro número de moles, como puedes comprobar en las tablas 24.2.A y 24.2.B, así como en las figuras 24.2.A y 24.2.B. Observa también en estas gráficas cómo la pendiente de las rectas representadas varía según varía también la constante  $k$  de proporcionalidad.

TABLA 24.2.A

$V = 0,40 \text{ m}^3$  (constante)

$n_1 = 12 \text{ moles}$			$n_2 = 24 \text{ moles}$			$n_3 = 36 \text{ moles}$		
P (Pa)	T (K)	$\frac{P}{T}$ $k_{12}$	P (Pa)	T (K)	$\frac{P}{T}$ $k_{24}$	P (Pa)	T (K)	$\frac{P}{T}$ $k_{36}$
$5 \cdot 10^4$	200	250	$10 \cdot 10^4$	200	500	$15 \cdot 10^4$	200	750
$10 \cdot 10^4$	400	250	$20 \cdot 10^4$	400	500	$30 \cdot 10^4$	400	750
$15 \cdot 10^4$	600	250	$30 \cdot 10^4$	600	500	$45 \cdot 10^4$	600	750

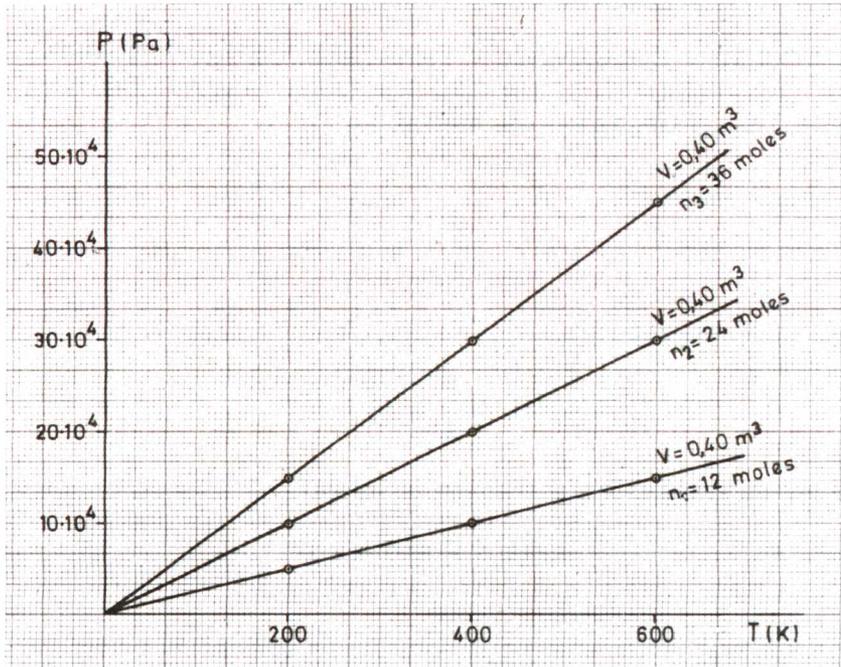


FIG. 24.2.A

- Preferimos enunciar la ley de Gay-Lussac referente a volúmenes y temperaturas absolutas o Kelvin de un gas, así:

«A PRESION CONSTANTE, Y PARA UN DETERMINADO NUMERO DE MOLES, LOS VOLUMENES DE UN GAS SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LAS TEMPERATURAS ABSOLUTAS.»

Por tanto, podemos escribir:

$$\frac{V}{T} = k$$

[5]

Es decir:

$$k = \frac{V}{T} = \frac{V'}{T'} = \frac{V''}{T''} = \dots$$

Esta ecuación de Gay-Lussac, en la forma:

$$\frac{V}{T} = \frac{V'}{T'}$$

[6]

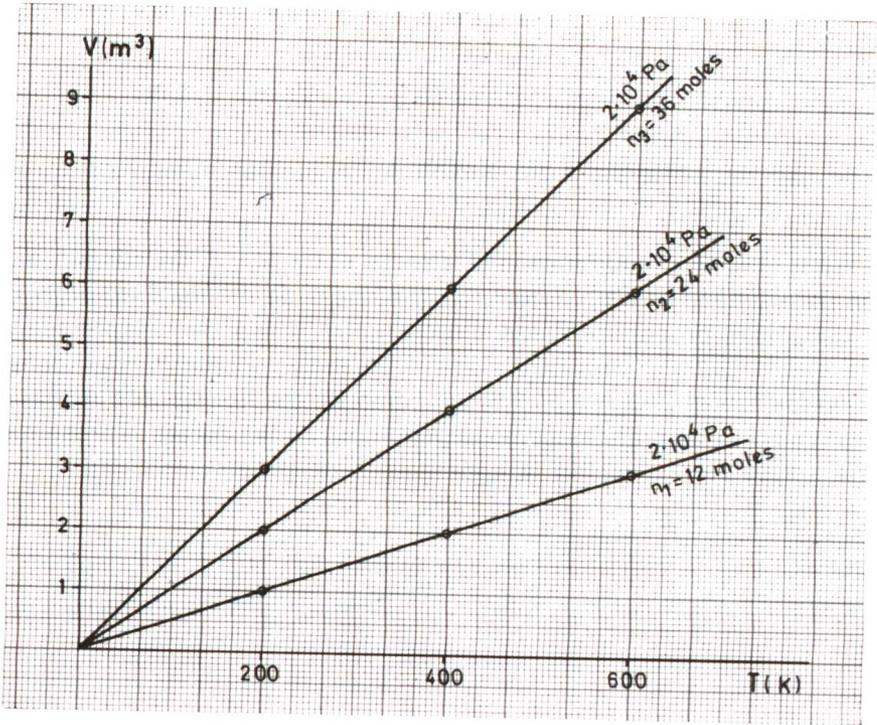
es de uso frecuente en la resolución de problemas numéricos.

Fijate que la proporcionalidad directa entre  $V$  y  $T$  se cumple a presión constante y para un determinado número de moles. Esto quiere decir que dicha proporcionalidad directa entre  $V$  y  $T$  se cumple también para otra presión y para otro número de moles, como puedes comprobar en las tablas 24.3.A y 24.3.B, así como en las figuras 24.3.A y 24.3.B. Observa en estas gráficas cómo la pendiente de las rectas representadas varía según varía también la constante  $k$  de proporcionalidad.

TABLA 24.3.A

$P = 2 \cdot 10^4$  Pa (fijo)

$n = 12$			$n = 24$			$n = 36$		
$V$ ( $m^3$ )	$T$ (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{12}$	$V$ ( $m^3$ )	$T$ (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{24}$	$V$ ( $m^3$ )	$T$ (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{36}$
1	200	$\frac{1}{200}$	2	200	$\frac{1}{100}$	3	200	$\frac{1}{67}$
2	400	$\frac{1}{200}$	4	400	$\frac{1}{100}$	6	400	$\frac{1}{67}$
3	600	$\frac{1}{200}$	6	600	$\frac{1}{100}$	9	600	$\frac{1}{67}$

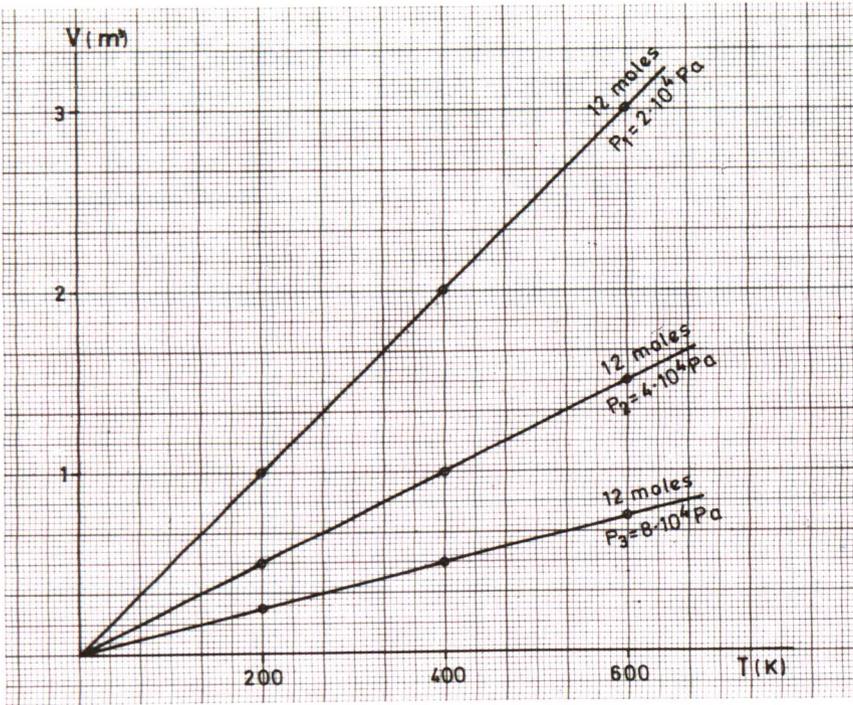


GRAFICA 24.3.A

TABLA 24.3.B

$n = 12$  moles (fijo)

$P = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$			$P = 4 \cdot 10^4 \text{ Pa}$			$P = 8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$		
V (m <sup>3</sup> )	T (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{20kPa}$	V (m <sup>3</sup> )	T (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{40kPa}$	V (m <sup>3</sup> )	T (K)	$\frac{V}{T}$ $k_{80kPa}$
1	200	$\frac{1}{200}$	0,50	200	$\frac{1}{400}$	0,25	200	$\frac{1}{800}$
2	400	$\frac{1}{200}$	1,0	400	$\frac{1}{400}$	0,50	400	$\frac{1}{800}$
3	600	$\frac{1}{200}$	1,5	600		0,75	600	$\frac{1}{800}$



GRAFICA 24.3.B

#### 24.2.4 Relaciones entre $V$ y número de moles y entre $P$ y número de moles.

«EN LAS MISMAS CONDICIONES DE PRESION Y TEMPERATURA, EL VOLUMEN OCUPADO POR UN GAS ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL NUMERO DE MOLES.»

Podemos escribir:

$$\frac{V}{n} = k \quad [7]$$

o también:

$$\frac{V}{n} = \frac{V'}{n'} \quad [8]$$

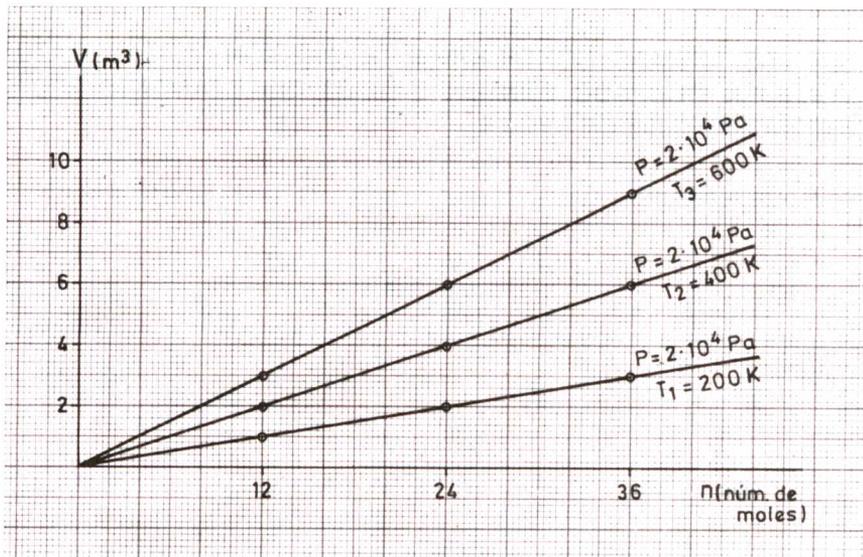
Fijate que la proporcionalidad directa entre  $V$  y el número de moles,  $n$ , se cumple a presión constante y a temperatura también constante. Esto quiere decir que dicha proporcionalidad directa entre  $V$  y  $n$  se

cumple también para otra presión y otra temperatura, pero la constante de proporcionalidad es también distinta en cada caso. Puedes comprobarlo en las tablas 24.4.A y 24.4.B, así como en las figuras 24.4.A y 24.4.B; observa en estas gráficas cómo la pendiente de las rectas representadas varía según varía también la constante  $k$  de proporcionalidad.

TABLA 24.4.A

$P = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

$T = 200 \text{ K}$			$T = 400 \text{ K}$			$T = 600 \text{ K}$		
V ( $\text{m}^3$ )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{200}$	V ( $\text{m}^3$ )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{400}$	V ( $\text{m}^3$ )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{600}$
1	12	$\frac{1}{12}$	2	12	$\frac{1}{6}$	3	12	$\frac{1}{4}$
2	24	$\frac{1}{12}$	4	24	$\frac{1}{6}$	6	24	$\frac{1}{4}$
3	36	$\frac{1}{12}$	6	36	$\frac{1}{6}$	9	36	$\frac{1}{4}$

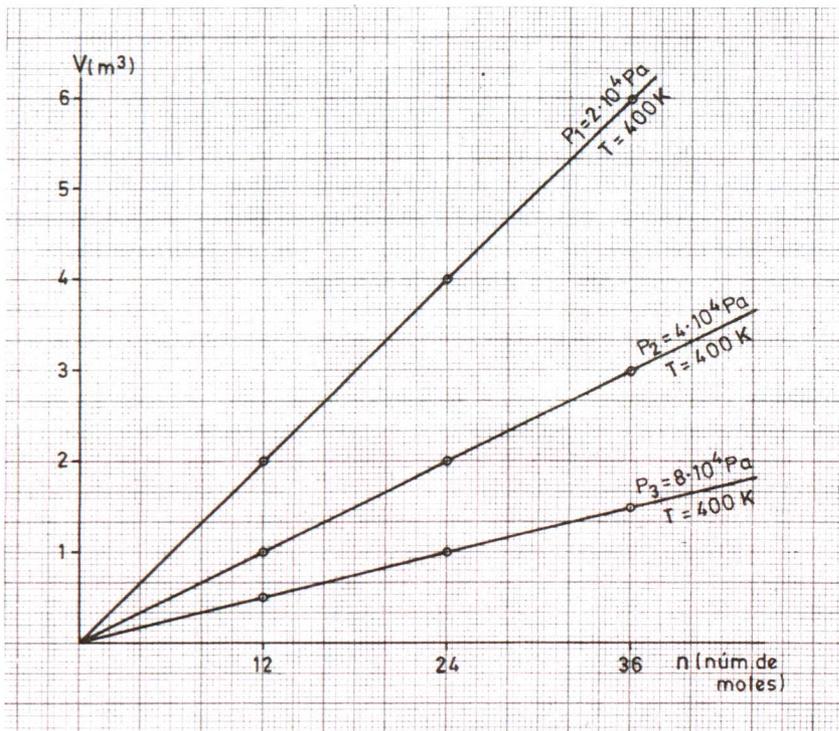


GRAFICA 24.4.A

TABLA 24.4.B

T=400 K

$P=2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$			$P=4 \cdot 10^4 \text{ Pa}$			$P=8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$		
V (m <sup>3</sup> )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{20kPa}$	V (m <sup>3</sup> )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{40kPa}$	V (m <sup>3</sup> )	n	$\frac{V}{n}$ $k_{80kPa}$
2	12	$\frac{1}{6}$	1	12	$\frac{1}{12}$	0.5	12	$\frac{1}{24}$
4	24	$\frac{1}{6}$	2	24	$\frac{1}{12}$	1.0	24	$\frac{1}{24}$
6	36	$\frac{1}{6}$	3	36	$\frac{1}{12}$	1.5	36	$\frac{1}{24}$



GRAFICA 24.4.B

- ¿Qué relación existe entre la presión y el número de moles,  $n$ , de un gas si se dejan invariables el volumen y la temperatura? Podemos establecer que:

«EN LAS MISMAS CONDICIONES DE VOLUMEN Y TEMPERATURA, LA PRESION DE UN GAS ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL AL NUMERO DE MOLES.»

Por tanto, podemos escribir:

$$\frac{P}{n} = k \quad [9]$$

o también:

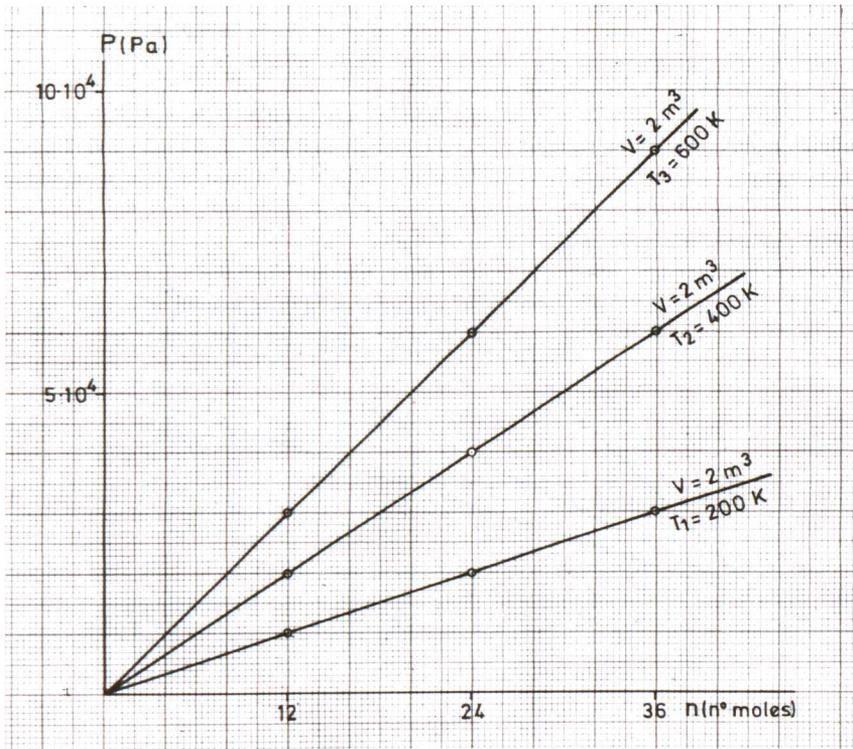
$$\frac{P}{n} = \frac{P'}{n'} \quad [10]$$

Fíjate que la proporcionalidad directa entre  $P$  y el número de moles,  $n$ , se cumple a volumen constante y a temperatura también constante. Esto quiere decir que dicha proporcionalidad directa también se cumple para otro volumen y para otra temperatura, pero entonces la constante de proporcionalidad es distinta. Puedes comprobarlo en las tablas 24.5.A y 24.5.B, así como en las figuras 24.5.A y 24.5.B; observa en estas gráficas que la pendiente de las rectas representadas varía según varía la constante de proporcionalidad.

TABLA 24.5.A

$V = 2 \text{ m}^3$

$T = 200 \text{ K}$			$T = 400 \text{ K}$			$T = 600 \text{ K}$		
$P$ (Pa)	$n$	$\frac{P}{n}$ $k_{200 \text{ K}}$	$P$ (Pa)	$n$	$\frac{P}{n}$ $k_{400 \text{ K}}$	$P$ (Pa)	$n$	$\frac{P}{n}$ $k_{600 \text{ K}}$
$1 \cdot 10^4$	12	$0,83 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	12	$1,67 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	12	$2,5 \cdot 10^3$
$2 \cdot 10^4$	24	$0,83 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	24	$1,67 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^4$	24	$2,5 \cdot 10^3$
$3 \cdot 10^4$	36	$0,83 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^4$	36	$1,67 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^4$	36	$2,5 \cdot 10^3$

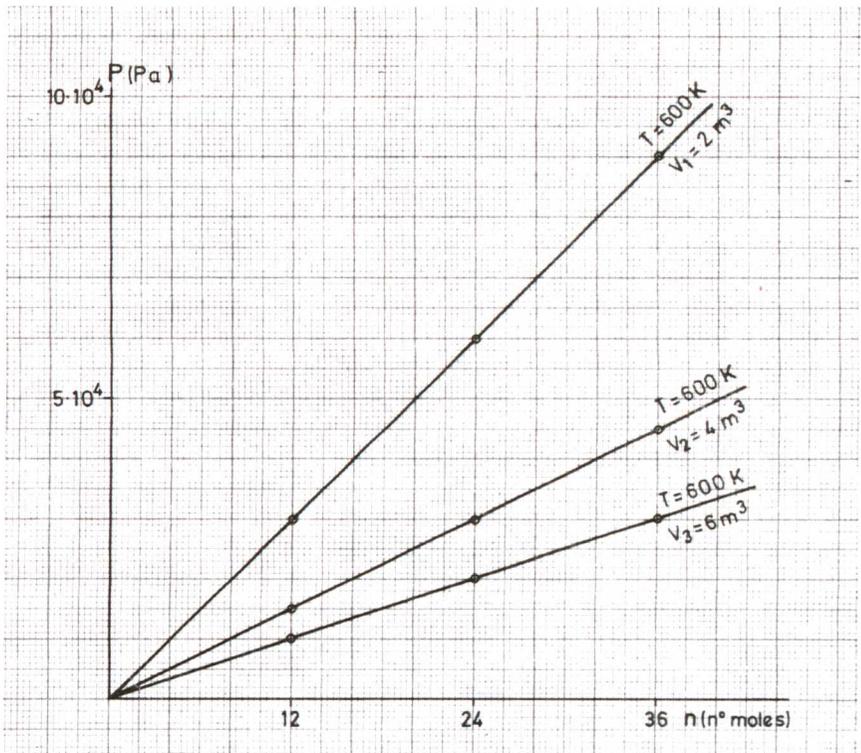


GRAFICA 24.5.A

TABLA 24.5.B

$T = 600 \text{ K}$

$V = 2 \text{ m}^3$			$V = 4 \text{ m}^3$			$V = 6 \text{ m}^3$		
P	n	$\frac{P}{n}$	P	n	$\frac{P}{n}$	P	n	$\frac{P}{n}$
(Pa)		$k_{2 \text{ m}^3}$	(Pa)		$k_{4 \text{ m}^3}$	(Pa)		$k_{6 \text{ m}^3}$
$3 \cdot 10^4$	12	$2,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$	12	$1,25 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	12	$0,83 \cdot 10^3$
$6 \cdot 10^4$	24	$2,5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	24	$1,25 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	24	$0,83 \cdot 10^3$
$9 \cdot 10^4$	36	$2,5 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^4$	36	$1,25 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	36	$0,83 \cdot 10^3$



GRAFICA 24.5.B

### 24.2.5 Ecuación de estado de los gases perfectos. Valores de R.

- *Ecuación de estado de los gases perfectos*

Ante todo, una breve consideración o resumen de las leyes y ecuaciones estudiadas hasta ahora en este tema. En todas ellas se trata de las relaciones entre dos de las variables ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $n$ ) una vez fijadas las otras dos. Se cumplen en ese modelo de gas que hemos denominado gas perfecto o ideal; en los gases reales sólo se cumplen en condiciones de temperatura lejanas del punto de licuación y a presiones moderadas. Por último, se trata de leyes que no dependen de la naturaleza de cada gas, es decir, se cumplen de modo genérico para todos los gases.

Otro aspecto a considerar en las leyes anteriores es que de un modo u otro, es decir, de modo implícito en el valor de la constante de proporcionalidad o de modo explícito en el par de variables que se relacionan entre sí, interviene en todas ellas el *número de moles*. Por tanto, si queremos encontrar una ecuación que relacione presiones, volúmenes y temperaturas absolutas de un gas, hemos de tener en cuenta también el número de moles de dicho gas que intervengan. Es lo que vamos a estudiar en este apartado del tema 24. Dicha relación entre las cuatro variables  $P$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $n$ , se conoce con el nombre de *ecuación de estado de los gases perfectos o ideales*.

● Veamos: en los cinco grupos de experiencias hemos hallado en cada caso una ecuación que relaciona dos de las cuatro magnitudes, permaneciendo constantes o fijas las otras dos:

$$\begin{array}{cccccc}
 PV = \text{cte.} & ; & \frac{P}{T} = \text{cte.} & ; & \frac{V}{T} = \text{cte.} & ; & \frac{V}{n} = \text{cte.} & ; & \frac{P}{n} = \text{cte.} \\
 \text{(I)} & & \text{(II)} & & \text{(III)} & & \text{(IV)} & & \text{(V)}
 \end{array}$$

De las magnitudes que figuran en el primer miembro de la igualdad, en la expresión I vemos **proporcionalidad inversa** entre  $P$  y  $V$ ; en todas las expresiones restantes existe **proporcionalidad directa** entre el numerador y el denominador del primer miembro de la igualdad. Desde II hasta V vemos que en todos los numeradores del primer miembro figura  $P$  o  $V$  y en los denominadores  $T$  o  $n$ .

Podemos resumir las cinco ecuaciones anteriores en una sola ecuación, que consistirá en una fracción cuyo numerador es  $P \cdot V$  y denominador  $T \cdot n$ , es decir:

$$\frac{P V}{T n} = \text{constante} = K \quad [11]$$

Comprobemos que esta ecuación incluye o engloba a cada una de las cinco anteriores:

I) Si en ella hacemos  $n$  y  $T$  constantes:  $P \cdot V = \text{Cte} \cdot K = \text{cte.}$

II) Si hacemos  $V$  y  $n$  constantes:  $\frac{P}{T} = \text{Cte} \cdot K = \text{cte.}$

$$\text{III) Si hacemos } P \text{ y } n \text{ constantes: } \frac{V}{T} = \text{Cte} \cdot K = \text{cte.}$$

$$\text{IV) Si hacemos } P \text{ y } T \text{ constantes: } \frac{V}{n} = \text{Cte} \cdot K = \text{cte.}$$

$$\text{V) Si hacemos } V \text{ y } T \text{ constantes: } \frac{P}{n} = \text{Cte} \cdot K = \text{cte.}$$

Para determinar el valor de  $K$  en la ecuación [11] podemos elegir unos valores de tres de las cuatro variables. Por ejemplo, se elige  $P$ ,  $T$  y  $n$  y luego se determina el valor de  $V$  en condiciones para las cuales los gases reales tengan comportamiento ideal.

Para el gas ideal se eligen las condiciones normales (CN) que son:

$$P = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$T = 273 \text{ K}$$

$$n = 1$$

entonces el volumen ocupado por el gas ideal es  $V = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Los gases reales tienen un volumen en condiciones normales muy parecido a  $22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Así, por ejemplo:

hidrógeno	$22,425 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
nitrógeno	$22,402 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
oxígeno	$22,394 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
dióxido de carbono	$22,264 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Sustituyendo los valores de las condiciones normales en la ecuación [11], tenemos:

$$\frac{PV}{nT} = K = \frac{101\,325 \text{ Pa} \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \cdot 273 \text{ K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

A esta constante se designa en todos los libros por la letra  $R$ . Así la ecuación [11] queda de la forma

$$\frac{PV}{nT} = R$$

o como es frecuente escribirla

$$PV = nRT \quad [12]$$

La ecuación [12] es la llamada ecuación de estado de los gases perfectos.

Finalmente observa que el valor numérico de la constante  $R$  depende de las unidades elegidas. Veamos su valor eligiendo la presión en atmósferas y el volumen en litros:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1 \text{ at} \cdot 1 \ell}{1 \text{ mol} \cdot 273 \text{ K}} = 0,082 \frac{\text{at} \cdot \ell}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

#### 24.2.6 Aplicaciones de la ecuación de estado

- *Relación entre  $P$ ,  $V$  y  $T$  cuando el número de moles permanece constante.*

Supongamos que  $n$  moles de un gas perfecto se encuentra en las condiciones  $P$ ,  $V$ ,  $T$  y pasa a otro estado en que las magnitudes son  $P'$ ,  $V'$ ,  $T'$ , sin variación del número de moles.

Aplicando la ecuación de estado a las condiciones iniciales:

$$\frac{PV}{T} = n \cdot R$$

y aplicándola a las condiciones finales:

$$\frac{P'V'}{T'} = n \cdot R$$

Como los segundos miembros son iguales, los primeros también:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} \quad [13]$$

En esta forma se utiliza en la solución de muchos problemas, sin necesidad de utilizar la constante  $R$ .

● *Cálculo de la masa molecular de un gas:*

Sabes que:

$$PV = nRT$$

donde

$$n = \text{número moles} = \frac{m \text{ (en gramos)}}{M \text{ (masa de 1 mol)}}$$

Luego:

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

$$M = m \frac{RT}{PV} \quad [14]$$

dado que  $\frac{m}{V} = d$  (densidad del gas en las condiciones dadas)

$$M = d \frac{RT}{P} \quad [15]$$

Estas fórmulas no te las damos para que las retengas en tu memoria, sino que, como dice el título del apartado, se trata de que aprendas a manejar la ecuación y a que veas de alguna forma que encierra muchas posibilidades. Esto te facilitará su aplicación a la resolución de problemas numéricos, al conocer bien el significado de cada uno de los términos que componen la ecuación

$$PV = nRT$$

la cual sí debes recordar.

## 24.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Problema 1

Para resolver este problema, tienes que aplicar la ley de Boyle:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$15 \cdot 20 = 1 \cdot V_2 \quad ; \quad V_2 = 300 \ell$$

Por tanto, se podrán llenar 300 botellas.

### ● Problema 2

Fíjate que  $27^\circ \text{C} = (273 + 27) \text{K} = 300 \text{K}$ , por tanto, es una transformación en la que la temperatura permanece constante. Aplica la ley de Boyle y comprueba que el volumen pedido es de 10,86 litros.

Ten en cuenta que la presión has de expresarla en las mismas unidades.

### ● Problema 3

Caso a)

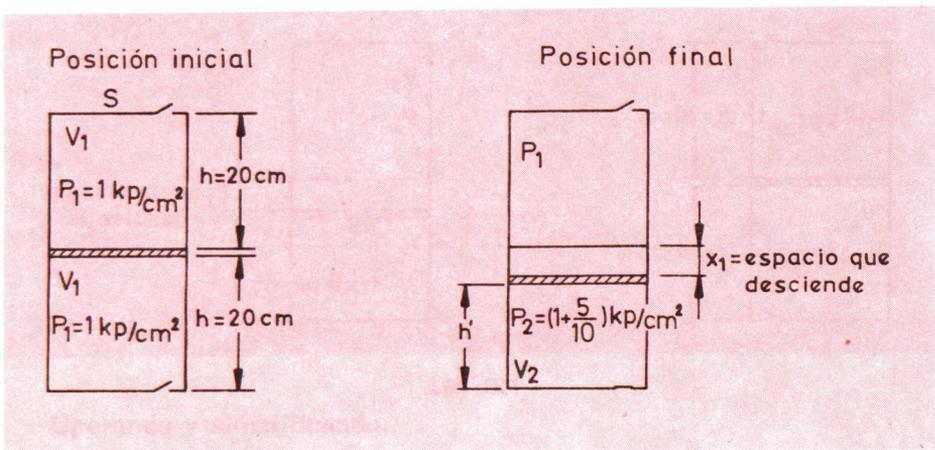


FIG. 24.1

Al cerrar la llave de la parte inferior, el émbolo desciende y queda en equilibrio, cuando la presión que ejerce el gas encerrado es igual a la que soporta, siendo ésta la suma de la presión atmosférica  $1 \text{ kp/cm}^2$  más la debida al émbolo

$$P_2 = \left( 1 + \frac{5}{10} \right) \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

Aplicando la ley de Boyle al gas que está en la parte inferior del émbolo:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad [1]$$

donde

$$V_1 = S \cdot h = S \cdot 20$$

$$V_2 = S \cdot h' = S (20 - x_1)$$

Por tanto, sustituyendo en [1]:

$$1 \text{ kp/cm}^2 \cdot 20 \cdot S = (1 + 0,5) \text{ kp/cm}^2 (20 - x_1) S$$

$$x_1 = 6,6 \text{ cm}$$

Caso b)

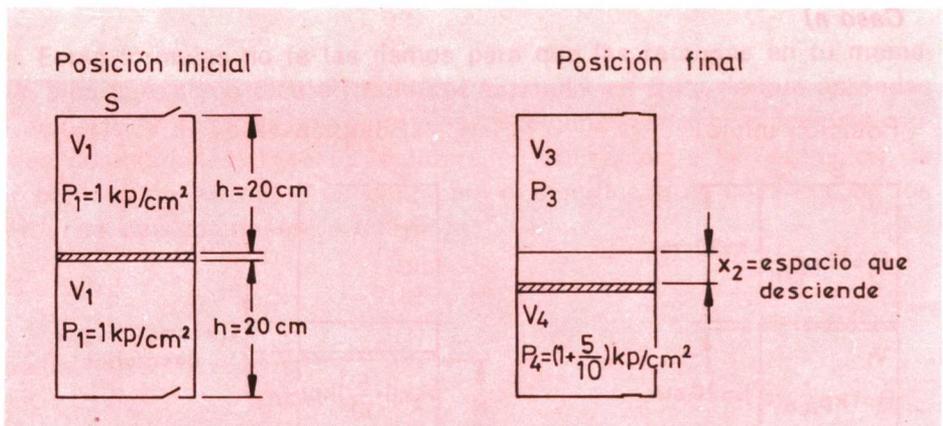


FIG. 24.2

En el segundo caso, cuando el émbolo queda en equilibrio:

$P_1$  = presión inicial.

$P_3$  = presión en la parte superior (posición final).

$P_4$  = presión en la parte inferior (posición final).

En la posición final, al cerrar las llaves de la parte inferior y de la parte superior, cuando el émbolo desciende el espacio  $x_2$  y queda en equilibrio, la presión en la parte inferior será igual a la de la parte superior más la presión correspondiente al peso del émbolo, es decir:

$$P_4 = (P_3 + 0,5) \text{ kp/cm}^2$$

Aplicando la ley de Boyle al gas que está en la parte superior y también al que está en la parte inferior:

$$\text{Parte superior} \rightarrow P_1 S \cdot 20 = P_3 S (20 + x_2)$$

$$\text{parte inferior} \rightarrow P_1 \cdot S \cdot 20 = P_4 S (20 - x_2)$$

de donde:

$$P_3 = \frac{1 \cdot 20}{20 + x_2} \quad ; \quad P_4 = \frac{1 \cdot 20}{20 - x_2}$$

Como:

$$P_4 - P_3 = 0,5$$

resulta:

$$\frac{20}{20 - x_2} - \frac{20}{20 + x_2} = 0,5$$

$$400 + 20x_2 - 400 + 20x_2 = 0,5 (20^2 - x_2^2)$$

Operando y simplificando:

$$40x_2 = 200 - 0,5x_2^2$$

o bien:

$$0,5x_2^2 + 40x_2^2 - 200 = 0$$

resuelta la ecuación sale  $x = 4,72 \text{ cm}$  ; la otra solución no tiene sentido físico.

- *Habrás observado que los datos de este problema no son unidades del SI. Como estamos convencidos de la necesidad de implantar este sistema, vamos a resolverlo en el SI:*

Datos:

$$\text{Superficie del émbolo} = 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Peso del émbolo } 5 \text{ kp} = 5 \text{ kp} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kp}} = 49 \text{ N}$$

$$\text{Presión atmosférica } \frac{1 \text{ kp}}{\text{cm}^2} = 9,81 \frac{\text{N}}{10^{-4} \text{ m}^2} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Caso a) Si el sistema queda en equilibrio, la suma de fuerzas es cero.

Posición inicial

Hacia abajo actúan (fig. 24.3):

P peso del émbolo.

F' fuerza que ejerce la presión atmosférica sobre la superficie del émbolo.

Hacia arriba actúa:

F fuerza que ejerce la presión del gas encerrado sobre la superficie del émbolo.

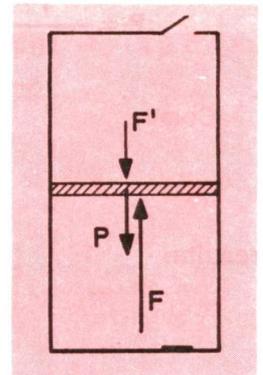


FIG. 24.3

$$P + F' = F ; \quad \text{fíjate que presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

$$49 \text{ N} + 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = P_{\text{gas}} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

luego la presión del gas es

$$P_{\text{gas}} = \frac{49 + 98,1}{10 \cdot 10^{-4}} = \frac{147,1}{10^{-3}} \text{ Pa} = 147,1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

Fíjate que al cerrar la llave inferior quedó una masa de gas encerrado, si la temperatura permanece constante podemos aplicar la ley de Boyle Mariotte entre el estado inicial y el estado final.

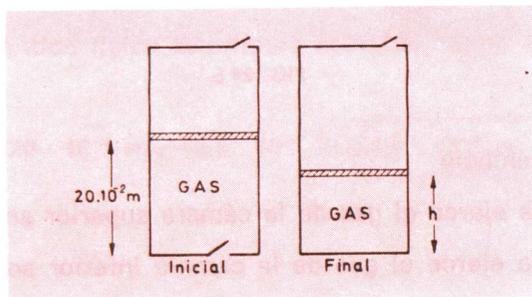


FIG. 24.4

$$\text{Estado inicial} \begin{cases} P_{\text{gas inicial}} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} \\ V_{\text{gas inicial}} = \text{Base} \times \text{altura} = 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{cases}$$

$$\text{Estado final} \begin{cases} P_{\text{gas final}} = 147,1 \cdot 10^3 \text{ Pa} \\ V_{\text{gas final}} \text{ incógnita} \end{cases}$$

$$9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 147,1 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot V_{\text{gas final}}$$

$$V_{\text{gas final}} = 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que es un cilindro

$$V_{\text{gas final}} = \text{Base} \cdot h; \quad h = \frac{1,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}{10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,133 \text{ m}$$

luego el descenso del émbolo es

$$20 \cdot 10^{-2} \text{ m} - 13,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 6,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Caso b) El caso es similar al anterior, se producirá el equilibrio cuando la suma de fuerzas sea igual a cero.

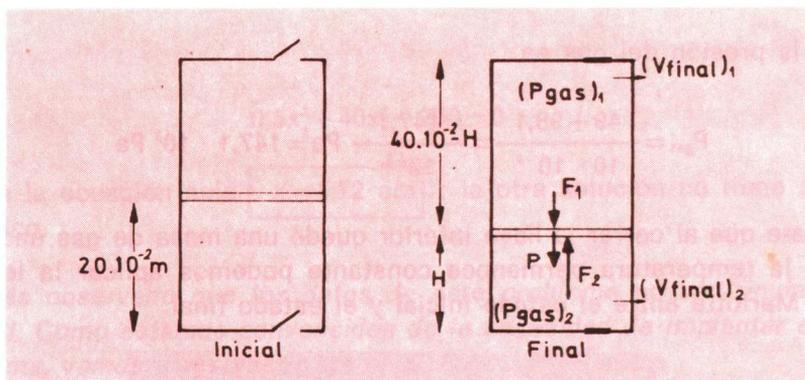


FIG. 24.5

$P \rightarrow$  Peso del émbolo

$F_1 \rightarrow$  Fuerza que ejerce el gas de la cámara superior sobre el émbolo

$F_2 \rightarrow$  Fuerza que ejerce el gas de la cámara inferior sobre el émbolo

$$F_1 + P = F_2$$

como

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

$$(P_{\text{gas}})_1 S + P = (P_{\text{gas}})_2 S \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Gas de la cámara superior } (P_{\text{gas}})_1 (V_{\text{final}})_1 = (P_{\text{inicial}}) (V_{\text{inicial}}) \\ \text{Gas de la cámara inferior } (P_{\text{gas}})_2 (V_{\text{final}})_2 = P_{\text{inicial}} V_{\text{inicial}} \end{array} \right\}$$

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{inicial}} V_{\text{inicial}}}{(V_{\text{final}})_1} \cdot S + P &= \frac{P_{\text{inicial}} V_{\text{inicial}}}{(V_{\text{final}})_2} \cdot S \\ \frac{(9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}) \cdot S \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{S (40 \cdot 10^{-2} - H \text{ m})} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 + 49 \text{ N} &= \\ = \frac{(9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}) \cdot S \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{S H \text{ m}} \cdot 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2 & \end{aligned}$$

Operando

$$\frac{19,62}{40 \cdot 10^{-2} - H} + 49 = \frac{19,62}{H}$$

$$19,62 H + 49 (40 \cdot 10^{-2} - H) = 7,85 - 19,62 H$$

$$49 H^2 - 58,86 H + 7,85 = 0$$

$$H = 0,153 \text{ m} \quad \text{y} \quad H = 1,048 \text{ m}$$

Sólo tiene sentido físico la primera solución, luego *el descenso del émbolo es*

$$20 \cdot 10^{-2} \text{ m} - 15,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

#### ● Problema 4

Caso a

Sabemos que el aire de la botella tiene un volumen de 10 ℓ a la presión de 114 cm de Hg y temperatura 0° C (o 273 K).

Como  $m = V \cdot d$  y nos dan la densidad en condiciones normales, para poder calcular la masa, es necesario que sepamos el volumen del gas de la botella en condiciones normales: 76 cm de Hg y 0° C. Como la temperatura es la misma, podemos aplicar la ley de Boyle:

$$PV = P'V'$$

$$114 \cdot 10 = 76 \cdot V$$

$$V = 15 \text{ ℓ}$$

Entonces:

$$m = V \cdot d = 15 \text{ ℓ} \cdot 1,293 \text{ g/ℓ} = 19,39 \text{ g}$$

Caso b

En este caso, el gas se calienta a volumen constante, por tanto:

$$\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'} ; \quad P' = \frac{114 \cdot 373}{273} = 155,7 \text{ cm Hg} = 20\,753 \text{ Pa}$$

Caso c

Al abrir la llave sale gas de la botella, por ser la presión interior superior a la exterior y quedará un volumen de gas  $V'$  a 76 cm y 373 K cuando alcance el equilibrio.

Como

$$\left. \begin{aligned} m &= V_0 d_0 = Vd \\ \frac{V}{V_0} &= \frac{T}{T_0} = \frac{d_0}{d} \end{aligned} \right\} \text{resulta: } d_0 T_0 = dT$$
$$d = \frac{1,293 \text{ g/}\ell \cdot 273 \text{ K}}{373 \text{ K}} = 0,946 \text{ g/}\ell$$

Para  $V = 10 \ell$

$$m = 9,46 \text{ g}$$

Caso d

La temperatura de la botella sigue a  $100^\circ \text{C}$  como en el caso c), pero al cerrar la botella antes de enfriar a  $0^\circ \text{C}$  la presión inicial es de 76 cm de mercurio (porque la botella estaba abierta). Por tanto, se cumplirá:

$$\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'}$$
$$\frac{76}{373} = \frac{P}{273}$$

$$P = 55,62 \text{ cm Hg} = 7\,414 \text{ Pa}$$

• Problema 5

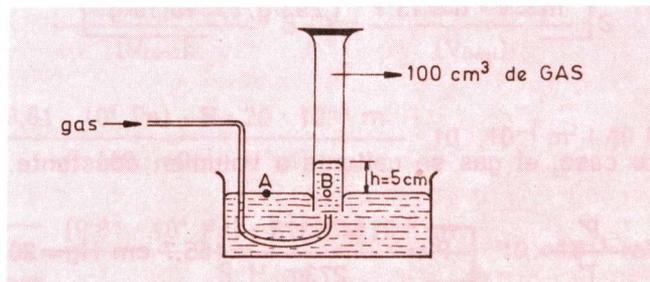


FIG. 24.6

a) (Ver fig. 24.6):

$$V = 100 \text{ cm}^3 ; P_{\text{atm}} = 740 \text{ mm de Hg}$$

$$T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

Fíjate que el punto A y el B están a la misma presión. Sobre el A actúa la presión atmosférica y sobre el B la presión del gas más la columna de mercurio de 5 cm de altura.

$$P_A = P_B \quad || \quad P_{\text{at}} = P_{\text{gas}} + h$$

$$P_{\text{gas}} = 740 - 50 = 690 \text{ mm de Hg}$$

b) Entonces:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0}$$

$$\frac{(690 \text{ mm Hg}) \cdot (100 \text{ cm}^3)}{300 \text{ K}} = \frac{(760 \text{ mm Hg}) V_0}{273 \text{ K}}$$

de donde  $V_0 = 82,62 \text{ cm}^3$ .

c) Cuando los niveles interior y exterior se igualan, la presión del gas es igual a la presión atmosférica (fig. 24.7).

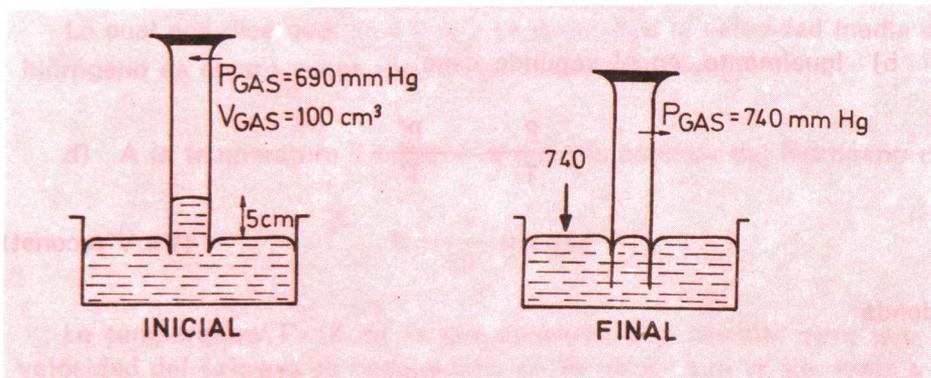


FIG. 24.7

Entre el estado inicial y final, observa que la masa de gas y su temperatura no ha variado. Luego puedes aplicar la ley de Boyle Mariotte:

$$(P_{\text{gas}} V_{\text{gas}})_{\text{inicial}} = (P_{\text{gas}} V_{\text{gas}})_{\text{final}}$$

$$690 \text{ mm Hg} \cdot 100 \text{ cm}^3 = 740 \text{ mm Hg} V_{\text{final}}$$

$$V_{\text{final}} = 93,2 \text{ cm}^3$$

● **Problema 6**

a)  $PV = P'V' \rightarrow$  ley de Boyle  $T = T' = \text{const}$

donde  $P' = 3P$

$$V' = \frac{PV}{P'} = \frac{PV}{3P} = \frac{V}{3}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de estado:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} = \frac{3 PV/3}{T} = \frac{PV}{T}$$

Sin hacer ningún cálculo, debes saber el resultado, pues

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} = \text{const}$$

b) Igualmente, en el segundo caso

$$\frac{P}{T} = \frac{P'}{T'}$$

( $V = V' = \text{const}$ )

donde

$$T' = 3T ; \quad P = \frac{T'P}{T} = \frac{3TP}{T}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación de estado:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'} = \frac{3PV}{3T} = \text{const}$$

$$c) \quad PV = \frac{m}{M}RT \rightarrow \frac{VP}{T} = \frac{mR}{M}$$

$$P'V' = \frac{3m}{M}RT' \rightarrow \frac{V'P'}{T'} = \frac{3mR}{M}$$

En este caso  $\frac{P'V'}{T'}$  se hace tres veces mayor.

### • Problema 7

a) La energía cinética será la misma, ya que ambos están a la misma temperatura (mira la pág. 228 del texto).

b) y c) Dado que  $E_{c1} = E_{c2}$

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 = \frac{1}{2}m_2u_2^2$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{16} = 4$$

Lo cual nos dice que  $u_1 = 4 u_2$ , es decir, que la velocidad media del hidrógeno es cuatro veces mayor que la del oxígeno.

d) A la temperatura  $T = 300 \text{ K}$  la energía cinética del hidrógeno es:

$$E_c = \frac{1}{2}m_{H_2}u_{H_2}^2$$

La temperatura  $T' = X$  es la que tenemos que calcular para que la velocidad del oxígeno se haga cuatro veces mayor que la que tenía a la temperatura  $T$ .

como

$$\left. \begin{aligned} E_c &= \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \\ E'_c &= \frac{1}{2} m_2 u_2'^2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} E_c &= T \\ E'_c &= T' \end{aligned} \quad (*)$$

resulta:

$$\frac{u_2^2}{u_2'^2} = \frac{T}{T'}$$
$$\frac{1}{4^2} = \frac{T}{T'}$$

$$T' = 16 T = 16 \cdot 300 = 4800 \text{ K}$$

### • Problema 8

Al estar en las mismas condiciones, las energías cinéticas del  $O_2$  y del  $SO_2$  serán iguales. Por tanto,

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 = \frac{1}{2} m_2 u_2^2$$
$$\frac{u_1}{u_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

donde  $u_1$  = veloc. del oxígeno = 1 600 km/h

y  $m_2 = 2 m_1$

Luego:

$$\frac{1600}{u_2} = \sqrt{2} \quad ; \quad u_2 = 1131 \text{ km/h}$$

(\*) Ver primer párrafo del apartado 7.4 del tema 24 del texto.

## 24.4 PROBLEMAS ADICIONALES

Antes de empezar a hacer estos problemas es muy conveniente que revises el problema número 4 de la página 10 del texto.

### ● Problema 1

Sabiendo que un gas ideal a 353 K y 700 mm de Hg de presión ocupa 10 cm<sup>3</sup> de volumen, calcular el volumen del gas en condiciones normales.

$$R = 7,12 \text{ cm}^3$$

### ● Problema 2

Sabiendo que 2 g de un gas ideal ocupa 20,5 litros en C.N., calcular el volumen que ocupará a 300 K y 0,75 atm de presión y la densidad en esas condiciones, ¿es mayor o menor que la densidad en C.N.?

El volumen en las condiciones dadas comprueba que debe salir  $V = 30,03$  litros.

Como la masa no cambia, al haber aumentado el volumen ya puedes contestar que la densidad en las nuevas condiciones es menor que en condiciones normales. La relación entre ambas te indicará cuántas veces menor es:

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \frac{m}{V_1} = \frac{2}{20,5} \text{ g/l} \\ d &= \frac{m}{V} = \frac{2}{30,03} \text{ g/l} \end{aligned} \right\} \frac{d_0}{d} = \frac{30,04}{20,5} = 1,47$$

$$\text{luego } d_0 = 1,47$$

### ● Problema 3

Calcula el volumen ocupado por 1 mol de un gas perfecto a 30° C y 800 mm de Hg de presión.

$$P \cdot V = nRT$$

Como se trata de 1 mol:  $n=1$

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \ell}{\text{mol K}} ; \quad T = (273 + 30) = 303 \text{ K}$$

$$P = \frac{800}{760} \text{ atm}$$

Entonces:

$$V = \frac{RT}{P} = \frac{0,082 \text{ atm} \cdot \ell / \text{mol K} \cdot 303 \text{ K}}{800/760 \text{ atm}} = 23,6 \ell$$

Te hemos resuelto este problema no empleando las unidades del SI, en atención a que te encontrarás en muchos libros con estas otras unidades. Resolvemos a continuación en **unidades SI**.

Te recordamos que 1 atm es la presión que ejerce una columna de mercurio de 76 cm de altura, mira la página 118 del texto 1 at = 101 300 Pa.

El valor de R **en unidades SI** (ver apartado 24.2.5 de este mismo tema) es:

$$R = 0,082 \frac{\text{at} \cdot \ell}{\text{mol K}} = 0,082 \frac{101\,300 \text{ N/m}^2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{\text{mol K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$P = \frac{800}{760} \text{ at} \cdot 101\,300 \frac{\text{Pa}}{\text{at}} = 106\,632 \text{ Pa}$$

Aplicando la ecuación de los gases perfectos

$$V = \frac{RT}{P} = \frac{8,31 \text{ J/mol K} \cdot 303 \text{ K}}{106\,632 \text{ Pa}} = 0,0236 \text{ m}^3$$

#### ● Problema 4

A partir de la ecuación de estado de un gas perfecto, ¿podrías deducir la ley de Boyle y la de Gay Lussac?

Es muy sencillo, y esperamos que la breve explicación que vamos a darte no te sea necesaria.

1) Supongamos un gas ideal a la presión  $P_1$  y volumen  $V_1$ . Se cumple que para  $n$  moles a la temperatura  $T$ :

$$P_1V_1 = nRT \quad [1]$$

Para la misma cantidad de gas ( $n$  moles) y sin variar la temperatura, a la presión  $P_2$  ocupa el volumen  $V_2$ , tal que se ha de verificar:

$$P_2V_2 = nRT \quad [2]$$

dividiendo [1] y [2] miembro a miembro:

$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{nRT}{nRT} = 1$$

Luego:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

ley de Boyle.

2) Imaginemos ahora  $n$  moles de un gas a la presión  $P$  y temperatura  $T_1$  que ocupa un volumen  $V_1$ .

Se ha de verificar:

$$PV_1 = nRT_1 \quad [a]$$

Sin variar la presión,  $n$  moles del mismo gas a la temperatura  $T_2$  ocupa el volumen  $V_2$ .

Se ha de verificar:

$$PV_2 = nRT_2 \quad [b]$$

Diviando [a] y [b] miembro a miembro:

$$\frac{PV_1}{PV_2} = \frac{nRT_1}{nRT_2}$$

o sea:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

ley de Gay Lussac.

Tú sólo debes llegar a la expresión:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

● Problema 5

Sabiendo que la velocidad media de una molécula de oxígeno a  $0^\circ \text{C}$  es de  $5 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ , calcula la velocidad media de una molécula de hidrógeno a la misma temperatura.

La energía cinética de ambos gases, a la misma temperatura, es la misma. Por tanto:

$$\frac{1}{2} m_{\text{O}_2} u_{\text{O}_2}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{H}_2} u_{\text{H}_2}^2$$

Por tanto:

$$\frac{u_{\text{O}_2}}{u_{\text{H}_2}} = \sqrt{\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{O}_2}}}$$

La relación

$$\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{O}_2}} = \frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{O}_2}} = \frac{2}{32} = \frac{1}{16}$$

Por tanto:

$$\frac{5 \cdot 10^2 \text{ m/s}}{u_{\text{H}_2}} = \sqrt{\frac{1}{16}} = \frac{1}{4}$$

$$u_{\text{H}_2} = 20 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

Como vemos, la velocidad media del hidrógeno es cuatro veces mayor que la del oxígeno a la misma temperatura, lo cual es lógico por ser el hidrógeno un gas más ligero.

● Problema 6

Sabiendo que la velocidad media de las moléculas de hidrógeno a  $0^\circ \text{C}$  es  $20 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ , calcula la velocidad media de las moléculas de hidrógeno a  $27^\circ \text{C}$ .

Si miras el texto (primer párrafo del apartado 7.4 del tema 24), verás que la energía cinética media de las moléculas es proporcional a la temperatura absoluta.

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m u_2^2 = KT_2$$

$$E_{c1} = \frac{1}{2} m u_1^2 = KT_1$$

dividiendo miembro a miembro:

$$\frac{u_1^2}{u_2^2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Luego

$$\frac{20 \cdot 10^2}{u_2} = \sqrt{\frac{273}{300}}$$

$$u_2 = \frac{6 \cdot 10^5}{273} = 21,9 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

## 24.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización de este ejercicio sigue las normas dadas en ejercicios anteriores.

### ● Cuestiones de opción única (24 puntos)

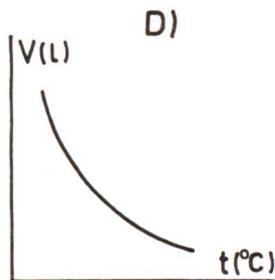
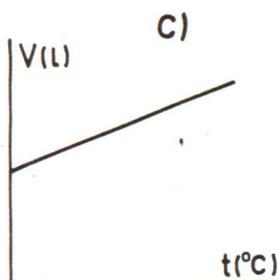
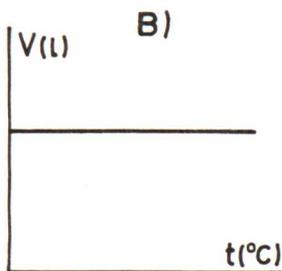
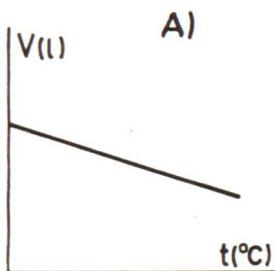
1. Un estudiante hace lecturas de volumen de una masa de aire fija, manteniéndose la temperatura constante y el que cambia es la presión. He aquí los resultados:

<i>lectura</i>	<i>volumen (cm<sup>3</sup>)</i>	<i>presión (mm Hg)</i>
A	240	600
B	180	800
C	144	1 000
D	108	1 200
E	90	1 600

Si se supone que la lectura inicial es correcta y que todas las lecturas de presión son correctas, ¿en cuál de las lecturas de volumen se ha cometido error?

1

2. ¿Cuál de las siguientes formas de las gráficas representa el cambio de volumen de una masa fija de gas cuando aumenta la temperatura a presión constante? (figura 1).



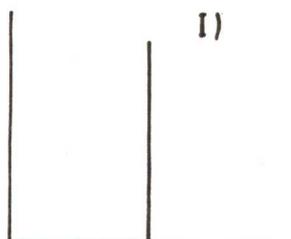
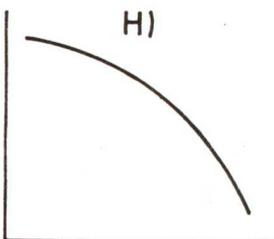
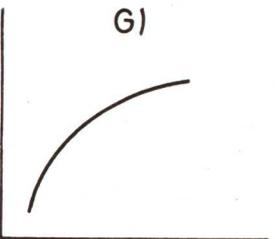
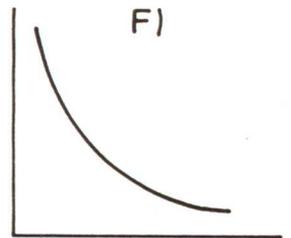
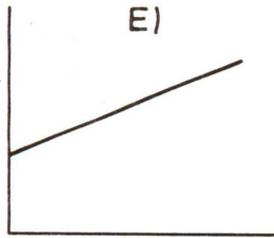
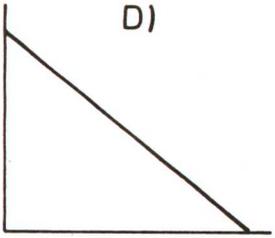
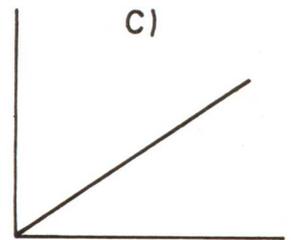
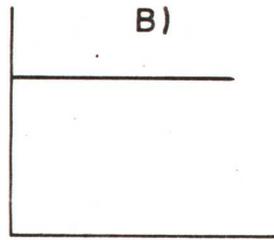
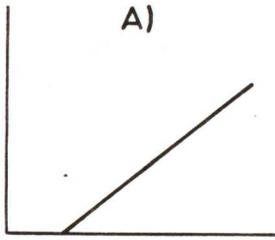
2

3. Durante una serie de lecturas del cambio de volumen de una masa dada de gas respecto de la temperatura la presión cambia una vez y luego vuelve a permanecer constante. ¿En qué lectura este cambio se hace patente?

lectura	volumen (dm <sup>3</sup> )	temperatura (K)
A	10,0	200
B	12,5	250
C	15,0	300
D	17,5	400
E	35,0	800
F	52,5	1 200

3

Dadas las gráficas siguientes, en las que se han omitido adrede los valores de ordenadas y abscisas. Las cuestiones que siguen se refieren a las mismas.



4. ¿Cuál de las gráficas indicadas representa la relación entre presión y volumen a temperatura constante?

4

5. ¿Cuál es la gráfica que mejor representa la relación entre volumen y temperatura absoluta a presión constante?

5

6. ¿Cuál de estas gráficas representa la variación de la presión respecto a la inversa del volumen en un gas a temperatura constante?

6

7. ¿Cuál de estas gráficas representa la variación de la presión respecto a la temperatura absoluta a volumen constante para un gas?

7

8. ¿Cuál de estas gráficas representa la variación del producto PV frente a P para un gas supuesto perfecto, manteniendo la T constante?

8

9. ¿Cuál de estas gráficas representa la variación de volumen de una masa de gas frente a la temperatura en grados centígrados? (Supuesta  $P = \text{cte.}$ )

9

10. ¿Cuál de estas gráficas representa mejor la variación de presión de una masa dada de gas a volumen constante frente a la temperatura en grados centígrados?

10

11. Un gas a la temperatura de  $27^\circ \text{C}$  se reduce hasta la mitad de su volumen (presión constante), la temperatura alcanzada es de

- A)  $-123 \text{ K}$
- B)  $123 \text{ K}$
- C)  $250 \text{ K}$
- D)  $-123^\circ \text{C}$
- E)  $150 \text{ K}$
- F) Los dos valores últimos

11

12. Son características generales de los gases las siguientes, *excepto* que
- A) Son expansionables
  - B) Son de forma variable
  - C) Modifican su volumen cuando varía su presión y temperatura
  - D) Son incompresibles y rígidos
  - E) Se difunden con facilidad en otros gases

12

13. Si la presión de  $1\ 000\text{ cm}^3$  de aire se reduce a la cuarta parte sin que varíe la temperatura, su nuevo volumen es de
- A)  $250\text{ cm}^3$     B)  $0,5\ \ell$     C)  $4\ 000\text{ cm}^3$     D)  $2\ 000\text{ cm}^3$     E)  $0,1\ \ell$

13

14. Un gas tiene un volumen de  $27,3\text{ cm}^3$  a  $0^\circ\text{ C}$  y a la presión de  $2,73\text{ atm}$ , si se calienta a  $27,3^\circ\text{ C}$  sin que la presión cambie, ¿cuál será su nuevo volumen?
- A)  $27,3\text{ cm}^3$     B)  $30,03\text{ cm}^3$     C)  $20,03\text{ cm}^3$     D)  $300,3\text{ cm}^3$

14

15. Si en el caso anterior lo que se mantiene constante es el volumen la nueva presión será de
- A)  $30,3\text{ atm}$     B)  $303\text{ atm}$     C)  $3,003\text{ atm}$     D)  $273\text{ atm}$

15

16. Si el gas en las condiciones dadas en el problema 15 se le cuadruplica su presión y su volumen se le reduce a la mitad, la temperatura que alcanzará será de
- A)  $136,5^\circ\text{ C}$     D)  $-136,5\text{ K}$   
B)  $-136,5^\circ\text{ C}$     E) Nada de lo dicho  
C)  $136,5\text{ K}$

16

17. Si el coeficiente de dilatación de un gas a presión constante viene dado por la expresión  $\alpha = \frac{V_t - V_0}{V_0 \cdot t}$  las dimensiones de dicho coeficiente serán

- A)  $L^2\text{grad}^{-1}$    B)  $L^0\text{grad}$    C)  $\text{grad}^{-1}$    D)  $\text{grad}$    E)  $L^3\text{grad}^{-1}$

17

18. Una de las siguientes expresiones es incorrecta y no puede aplicarse al comportamiento de un gas perfecto

A)  $\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'}$

B)  $\frac{PT'}{V'} = \frac{P'T}{V}$

C)  $\frac{VT'}{P} = \frac{V'T}{P'}$

D)  $\frac{PV}{T} = K$

E)  $\frac{T}{PV} = K'$

18

19. Un gas perfecto cumple las siguientes afirmaciones, *excepto*

- A) Cumple la ley de Boyle y Mariotte  
B) Cumple las leyes de Gay Lussac  
C) Cumplen ambas las indicaciones en A y B  
D) Cumple con lo establecido en la teoría cinética  
E) Alcanza presión nula antes del cero absoluto

19

20. Se puede decir de la teoría cinética de los gases,
- A) Que un gas está formado por partículas o moléculas
  - B) Que todas estas partículas están dotadas de constante movimiento.
  - C) Que dichas partículas cambian constantemente de posición debido a choques entre ellas.
  - D) Que la energía cinética de dichas partículas disminuye con un aumento de la temperatura de la masa total del gas.
  - E) Todo lo dicho anteriormente.

20

21. En un recipiente cerrado conteniendo un gas perfecto la energía cinética de las moléculas disminuye si
- A) Aumentamos la temperatura del sistema
  - B) Disminuye la presión, pero se mantiene la temperatura
  - C) Aumenta la velocidad media de las partículas
  - D) Aumenta el volumen manteniendo la presión constante
  - E) Aumentamos la presión manteniendo el volumen constante

21

22. Si en un recipiente tenemos igual número de moléculas de dos gases X e Y a una presión dada P, si conseguimos eliminar del interior todas las moléculas de gas Y, y no varía la temperatura, la presión total valdrá ahora
- A)  $(X - Y) P$
  - B)  $P/2$
  - C)  $2P$
  - D) No hay datos suficientes
  - E) Cero

22

23. ¿Cuál de los siguientes gases se difunde a mayor velocidad?

- A)  $\text{CO}_2$       B)  $\text{CO}$       C)  $\text{NO}$       D)  $\text{O}_2$       E)  $\text{N}_2\text{O}$

(Masas atómicas: C = 12, O = 16, N = 14).

23

24. La difusión de los gases pone de forma evidente de manifiesto que las moléculas de un gas.

- A) Son moléculas  
B) Se mueven a elevadas velocidades  
C) Se atraen las unas a las otras  
D) Están en constante movimiento  
E) Son perfectamente elásticas

24

## 24.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. D | 9. E  | 17. C |
| 2. C | 10. E | 18. C |
| 3. D | 11. E | 19. E |
| 4. F | 12. D | 20. D |
| 5. C | 13. C | 21. D |
| 6. C | 14. B | 22. B |
| 7. C | 15. C | 23. B |
| 8. B | 16. E | 24. D |

Ver Doc. 31/1

Puntuación máxima alcanzable: 24 puntos

Puntuación mínima a alcanzar: 18 puntos

## TEMA 25

### OBJETIVOS

— Describir la ley de Gay Lussac.

## Leyes volumétricas de las combinaciones

— Definir el volumen molar molar.

— Concluir a través del estudio de una ley experimental (Ley Lussac) y de una hipótesis genérica (Ley elevada a Ley de Avogadro) que los gases están formados por moléculas.

— Resolver problemas numéricos en que intervienen gases.

### INDICE

25.1 CONTENIDOS BASICOS

25.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

25.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

25.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION



**OBJETIVOS**

- Describir la ley de Gay Lussac.
- Describir la hipótesis de Avogadro.
- Definir el volumen molar normal.
- Concluir a través del estudio de una ley experimental (Gay Lussac) y de una hipótesis genial (hoy elevada a ley) debida a Avogadro, que los gases están formados por moléculas.
- Resolver problemas numéricos en que intervienen gases.

**INDICE**

- 25.1 CONTENIDOS BASICOS
- 25.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 25.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 25.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 25.1 CONTENIDOS BASICOS

- Ley de Gay Lussac (T).
- Ley de Avogadro (T).
- Condiciones normales (T).
- Volumen molar de los gases (T).
- Determinación de masas moleculares de sustancias gaseosas (T).

## 25.2. CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Problema 1

- a) Masa molecular del hidrógeno: 2.

$$\text{número moles} = \frac{m}{M} = \frac{0,02}{2} = 10^{-2} \text{ moles}$$

$$\text{número moléculas} = nN = 10^{-2} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,02 \cdot 10^{21} \text{ moléculas}$$

- b) Como la molécula del hidrógeno es diatómica,

$$\text{número átomos} = 2 \cdot \text{número moléculas} = 1,2 \cdot 10^{22} \text{ átomos}$$

$$\text{átomos gramo} = 2 \cdot \text{número moles} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ át-g}$$

- c) 1 mol de hidrógeno = 2 g =  $2 \cdot 10^{-3}$  kg, y en condiciones normales ocupa 22,4 litros:

$$d = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{M}{V} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{22,4 \text{ dm}^3} = 0,089 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

- d) Al elevar la temperatura, la masa no cambia; por tanto, a) y b) no vienen afectados; sin embargo, la densidad sí, se hará menor, ya que la temperatura más alta provoca una dilatación, es decir, un aumen-

to del volumen. A 100° C, conservando la misma presión, el volumen sería:

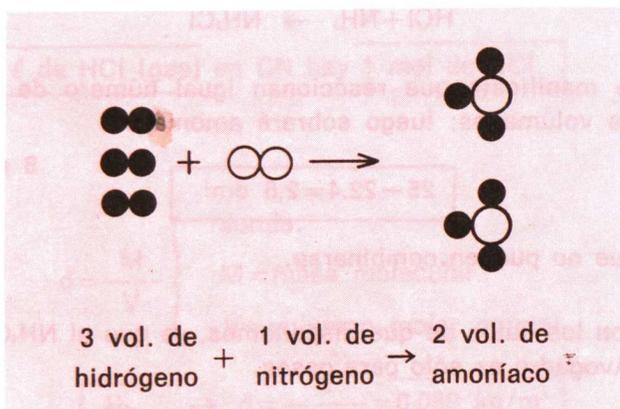
$$\frac{22,4}{V} = \frac{273}{373} ; \quad V = 30,6 \text{ dm}^3$$

Entonces, el valor de la densidad a 100° C será:

$$d = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{30,6 \text{ dm}^3} = 0,065 \cdot 10^{-3} \text{ kg/dm}^3$$

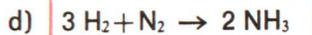
● Problema 2

a)



b) La masa se conserva, ya que lo que puede cambiar es el número de moléculas, pero el número de átomos se conserva. Como ves, tienes tres moléculas de H<sub>2</sub> + una de nitrógeno como sustancias reaccionantes, en total cuatro moléculas, que sólo originan dos moléculas como productos; sin embargo, el número de átomos es el mismo, seis de hidrógeno y dos de nitrógeno. La materia se ha transformado, pero permanece en cantidad. Los átomos puedes considerarlos como los sillares de las construcciones químicas, con ellos puedes realizar diferentes agrupaciones, pero su número permanece.

c) El volumen es proporcional al número de moléculas; por tanto, el volumen se reduce a su mitad.



e) Según nos muestra la reacción química:

$$\frac{3 \text{ vol. H}_2}{2 \text{ vol. NH}_3} = \frac{15 \text{ dm}^3}{x}; \quad x = 10 \text{ dm}^3 \text{ de NH}_3$$

y de nitrógeno harán falta:

$$\frac{3 \text{ vol. de H}_2}{1 \text{ vol. de N}_2} = \frac{15 \text{ dm}^3 \text{ de H}_2}{x'}; \quad x' = 5 \text{ dm}^3 \text{ de N}_2$$

### ● Problema 3

a) La reacción:



nos pone de manifiesto que reaccionan igual número de moles; por tanto, iguales volúmenes; luego sobraré amoníaco:

$$25 - 22,4 = 2,6 \text{ dm}^3$$

sobrantes, que no pueden combinarse.

b) No con los datos de que disponemos, ya que el  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es sólido y la ley de Avogadro es sólo para gases.

c) Según nos pone de manifiesto la reacción química, con 1 mol de HCl (gas), que son  $22,4 \text{ dm}^3$  en CN, se obtiene 1 mol de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; por tanto, se formará:

$$14 + 4 + 35,5 = 53,5 \text{ g de NH}_4\text{Cl}$$

### ● Problema 4

Según pone de manifiesto la reacción, son necesarios dos volúmenes de oxígeno para obtener un volumen de  $\text{CO}_2$  para reaccionar con un volumen de  $\text{CH}_4$ ; por tanto, en el proceso sobraré un  $\text{dm}^3$  de  $\text{CH}_4$  y se formará un  $\text{dm}^3$  de  $\text{CO}_2$ .

● Problema 5

a)  $M_{H_2O} = 18$  ;  $M_{HCl} = 36,5$

En 10 g de agua hay  $\frac{10}{18}$  moles.

En 10 g de HCl hay  $\frac{10}{36,5}$  moles.

Luego número moles de agua > número moles de HCl.

b) Según la ley de Avogadro, en las mismas condiciones, el mismo volumen, exige el mismo número de moléculas y, por tanto, de moles.

c) En 18 g de agua líquida hay  $\frac{18}{18} = 1$  mol de agua.

En 22,4 ℓ de HCl (gas) en CN hay 1 mol de HCl.

● Problema 6

$$d = \frac{M}{V} \left\{ \begin{array}{l} \text{donde:} \\ M = \text{masa molecular} \\ V = \text{volumen molar normal} \end{array} \right.$$

$$H_2 \rightarrow d = \frac{2}{22,44} = 0,089 \text{ kg/m}^3$$

$$O_2 \rightarrow d = \frac{32}{22,44} = 1,43 \text{ kg/m}^3$$

$$H_2S \rightarrow d = \frac{34}{22,44} = 1,52 \text{ kg/m}^3$$

$$CO_2 \rightarrow d = \frac{44}{22,44} = 1,96 \text{ kg/m}^3$$

$$C_4H_{10} \rightarrow d = \frac{58}{22,44} = 2,59 \text{ kg/m}^3$$

$$C_2H_2 \rightarrow d = \frac{26}{22,44} = 1,16 \text{ kg/m}^3$$

● Problema 7

$$d = \frac{M}{V} ; \quad M = d \cdot V$$

$$d = 1,293 \text{ g}/\ell = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$M = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Luego:

$$\text{masa molecular media} = 28,96$$

● Problema 8

El número de moles de 2 g de oxígeno es:

$$n = \frac{2}{32}$$

El volumen de  $\frac{2}{32}$  moles en condiciones normales será:

$$\frac{2}{32} \text{ moles} \cdot 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol} = 1,4 \text{ dm}^3 = V_0$$

Entonces, dado que

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0}$$

tenemos:

$$\frac{728 \cdot V}{300} = \frac{760 \cdot 1,4}{273}$$

de donde:

$$V = 1,6 \text{ dm}^3$$

● Problema 9

Recuerda la fórmula  $PV = nRT$ , siendo:

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$P = 723 \text{ mm Hg} = \frac{723}{760} \times 101\,300 = 9,64 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$V = 3,470 \text{ dm}^3 = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 273 + 21 = 294 \text{ K}$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{9,64 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 \times 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31 \text{ J/mol} \cdot 294 \text{ K}} = 0,137 \text{ mol}$$

de donde:

$$\text{número de gramos} = 0,137 \text{ mol} \cdot M,$$

siendo  $M$  la masa molecular del  $\text{C}_2\text{H}_2 = 2 \times 12 + 2 \times 1 = 26$ .

$$\text{número de gramos} = 0,137 \text{ mol} \times 26 \text{ g/mol} = 3,56 \text{ g}$$

#### ● Problema 10

$$V = 62,9 \text{ cm}^3 = 62,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T = 273 + 17 = 290 \text{ K}$$

$$P = 749,5 \text{ mm Hg} = \frac{749,5}{760,0} \cdot 101\,300 = 9,990 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$m = 0,121 \text{ g} = 0,121 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Recuerda que:

$$PV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

de donde:

$$M = \frac{mRT}{PV}$$

$$M = \frac{0,121 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot 8,31 \text{ J/mol K} \cdot 290 \text{ K}}{9,990 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 62,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 46,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

luego la masa molecular es 46,4.



4. Dos moléculas de A reaccionan con una molécula de B para dar dos moléculas de gas C, sabemos que las sustancias son gaseosas, luego si reaccionan cuatro litros del gas A con la cantidad precisa del gas B se obtienen:

- A) Dos moles de C                      D) Dos litros de C  
B) Un litro de C                        E) 4/22,4 moléculas de C  
C) Cuatro litros de C

4

5. A las mismas condiciones de presión y temperatura un volumen de un gas A tiene una masa 1,50 g y un volumen igual de un gas B en las mismas condiciones tiene una masa 0,75 g. La relación entre las masas moleculares es:

- A) 1,50/0,75                              D)  $1,50 \times V / 0,75 \times 22,4$   
B) 0,75/1,50                              E) No hay datos suficientes  
C) 1,50 22,4/0,75

5

6. Dados los siguientes gases ,el más denso es:

- A) H<sub>2</sub>S      B) C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>      C) CO<sub>2</sub>      D) Cl<sub>2</sub>      E) C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

(Masas atómicas: H=1, S=32, C=12, Cl=35,5, O=16)

6

7. Se hace arder metano con oxígeno según la siguiente reacción:



si se emplean cuatro litros de O<sub>2</sub> para quemar tres litros de metano, ¿cuál de estas cosas ocurrirá?:

- A) Que se consumirá todo el metano.
- B) Que se consumirá todo el oxígeno, por lo que es señal de que había suficiente.
- C) No se formará agua, pues no hay suficiente oxígeno.
- D) Que quedará metano por quemar, pues no hay suficiente oxígeno.
- E) Se han formado en esta reacción dióxido de carbono, agua y metano.

7

8. ¿En cuál de las siguientes reacciones es de esperar *un mayor* aumento en el volumen al final de la reacción?:

(Se considera que en todas las reacciones los reactivos y los productos finales se miden a la misma presión y temperatura.)

- A)  $C(s) + O_2(g) = CO_2(g)$
- B)  $CO_2(g) + C(s) = 2CO(g)$
- C)  $2H_2S(g) + 3O_2(g) = 2H_2O(g) + 2SO_2(g)$
- D)  $NH_4NO_2(s) = N_2(g) + 2H_2O(g)$

8

9. Elige la frase cuyo significado es correcto en química:
- A) Iguales masas de elementos distintos contienen el mismo número de átomos.
  - B) Un mol de átomos es el número de átomos presente en un g de un elemento.
  - C) Un mol de átomos de cada elemento contiene el mismo número de átomos.
  - D) La masa en gramos de un mol de un elemento es siempre un número entero.

- E) Es necesario utilizar el mol como unidad patrón de una cantidad de elemento, ya que no es posible encontrar la masa real de los átomos.

9

10. La densidad del hidrógeno es  $0,09 \text{ g dm}^{-3}$  y la del nitrógeno  $1,25 \text{ g dm}^{-3}$ . Un experimento demuestra que  $V \text{ cm}^3$  de nitrógeno reaccionan con  $3V \text{ cm}^3$  de hidrógeno para dar  $2V \text{ cm}^3$  de amoníaco. Por tanto, se puede deducir que  $2 \text{ g}$  de hidrógeno que reaccionen con la cantidad precisa de hidrógeno darán:

- A)  $\frac{1000 \times 28}{0,09} \text{ cm}^3$  de amoníaco.
- B)  $\frac{2000 \times 28}{0,09} \text{ cm}^3$  de amoníaco.
- C)  $\frac{1,25 \times 28}{0,09} \text{ g}$  de amoníaco.
- D)  $\frac{3,20}{0,09} \times 2 \times 35$  moles de amoníaco.
- E)  $\left( \frac{0,09}{1,25} \times 28 \times 3 + 28 \right) \text{ g}$  de amoníaco.

10

11. El volumen de gas que queda a  $70^\circ \text{ C}$  y a  $1 \text{ atm}$  de presión después que  $100 \text{ cm}^3$  de hidrógeno mezclados con  $100 \text{ cm}^3$  de oxígeno, medidos en CN, estallan y reaccionan, de acuerdo con la reacción:



es uno de los siguientes:

- A)  $50 \times (273 + 120) / 273 \text{ cm}^3$  de hidrógeno.
- B)  $50 \times (273 - 120) / 273 \text{ cm}^3$  de oxígeno.

- C)  $50 \times (273 + 120) / 273 \text{ cm}^3$  de oxígeno.  
 D)  $50 \times 273 / (273 + 70) \text{ cm}^3$  de oxígeno.  
 E)  $50 \times 273 / (273 + 120) \text{ cm}^3$  de hidrógeno.

11

12. Un cilindro lleno de hidrógeno contiene 10 g de dicho gas. El mismo cilindro lleno en las mismas condiciones con un gas G contienen 120 g de G. La masa molecular de este gas G es:

- A) 160      B) 1600      C) 24      D) 32      E) 64

12

13. Una mezcla de  $200 \text{ cm}^3$  de hidrógeno y de  $200 \text{ cm}^3$  de cloro se exponen a la luz solar en un recipiente adecuado. Reaccionan con cierta violencia y el gas resultante que resulta ser cloruro de hidrógeno puro, ocupa el volumen de  $400 \text{ cm}^3$ . De aquí y según la ley de Gay Lussac se deduce que la fórmula del cloruro de hidrógeno es:

- A)  $\text{H}_2\text{Cl}$       D)  $\text{H}_2\text{Cl}_2$   
 B)  $\text{Cl}_2\text{H}$       E) Tanto puede ser  $\text{HCl}$  como  $\text{H}_2\text{Cl}_2$   
 C)  $\text{HCl}$       F) Tanto puede ser  $\text{H}_2\text{Cl}$  como  $\text{Cl}_2\text{H}$

13

14. Si el aire contiene cuatro moléculas de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) por cada molécula de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y ningún otro gas, la masa molecular media de aire (volumen molar 22,4 litros) cabe esperar que es:

- A) 13,5      B) 15      C) 28,8      D) 30,8      E) 31

14

15. Una de las frases siguientes es falsa:

- A) La descomposición del agua mediante la electrolisis es un ejemplo de análisis.
- B) La formación de agua a partir de sus elementos es un ejemplo de síntesis.
- C) El volumen molar de un gas en condiciones normales contiene un mol de moléculas de dicho gas.
- D) Las moléculas de muchos gases son diatómicas de un solo tipo de elemento.
- E) El mismo volumen de un gas a distinta presión y temperatura contienen siempre el mismo número de moléculas.

15

16. 1,0 ℓ de un gas tiene una masa de 2,0 g a 0° C y 1 atm, por lo tanto su masa molecular será:

- A) 22,4 g/mol
- B) 45 g/mol
- C) 44,8 g/mol
- D) 34 g/mol

16

## 25.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. C | 7. D  | 12. C |
| 2. C | 8. D  | 13. E |
| 3. E | 9. C  | 14. C |
| 4. C | 10. E | 15. E |
| 5. A | 11. C | 16. C |
| 6. D |       |       |

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 16 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 11 puntos.*



## TEMA 26

### OBJETIVOS

- Citar las diferencias esenciales entre el estado sólido y el líquido.
- Describir los **Estado sólido y líquido**.
- Aplicación de los conceptos adquiridos a la explicación de situaciones reales.

### INDICE

- 26.1 CONTENIDOS BASICOS
- 26.2 CUESTIONES ADICIONALES
- 26.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 26.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 26.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION





## **OBJETIVOS**

- Citar las diferencias esenciales entre el estado sólido y el líquido.
- Describir los cambios de estado.
- Aplicación de los conceptos adquiridos a la explicación de situaciones reales.

## **INDICE**

- 26.1 CONTENIDOS BASICOS
- 26.2 CUESTIONES ADICIONALES
- 26.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 26.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 26.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 26.1 CONTENIDOS BASICOS

- Estado sólido (T).
- Fluido (T).
- Sólido cristalino (T).
- Formas poliédricas (T).
- Anisotropía e isotropía (T).
- Sustancias amorfas (T).
- Poliedros naturales o cristales (T).
- Red cúbica centrada en las caras (T).
- Red cúbica centrada en el espacio (T).
- Fusión y solidificación. Leyes (T).
- Explicación cinética de la fusión (T).
- Estado líquido. Características (T).
- Evaporación y ebullición (T).
- Calor de vaporización (T).
- Condensación (T).
- Saturación (T).
- Presión de vapor (T).
- Punto de ebullición (T).



Esta curva representa el proceso de calentamiento de un cuerpo que inicialmente está en estado sólido. A medida que transcurre el tiempo *la temperatura del sólido se eleva*: variación lineal, parte AB de la curva. Al alcanzar la temperatura correspondiente al punto B, *comienza la fusión del sólido*: coexisten, pues, las dos fases, sólido y líquido y, mientras se realiza la fusión, *todo el calor aportado en el tiempo comprendido entre BC se emplea en realizar el cambio de estado* (calor de fusión para la cantidad de sustancia que está realizando el cambio de fase). Cuando todo el sólido se ha fundido, punto C de la curva, *al seguir calentando, la temperatura del cuerpo ya líquido sigue aumentando con el tiempo*, parte CD de la curva.

● **Cuestión 3**

**Interpreta la gráfica de la figura 26-3.**

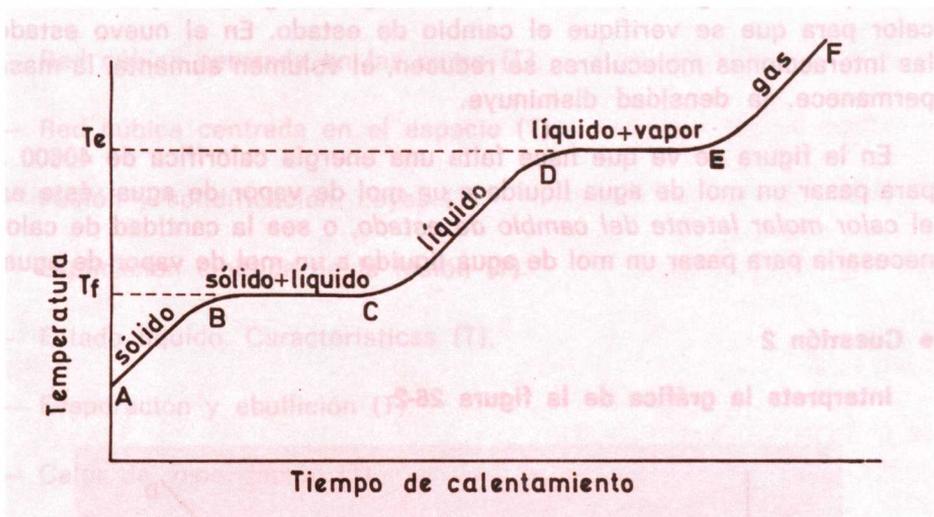


FIG. 26-3

La curva ,en sus partes AB, BC, CD es totalmente semejante y tiene idéntico significado a la curva de la figura 26-2 de la cuestión número 2. Incluso se han puesto las mismas letras.

La curva en el punto D, marca la temperatura de ebullición del líquido. La parte recta DE indica que se está realizando el cambio de estado, coexisten las fases líquidas y vapor, el calor aportado se emplea en su realización. Cuando todo el líquido ha pasado a la fase de vapor,

punto E de la curva, el vapor se calienta, volviendo a subir la temperatura en el proceso de calentamiento. Observa que las partes horizontales corresponden a coexistencias de dos fases, por realización del cambio de estado, durante cuyo período, la temperatura permanece constante.

### 26.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

#### ● Problema 1

a)

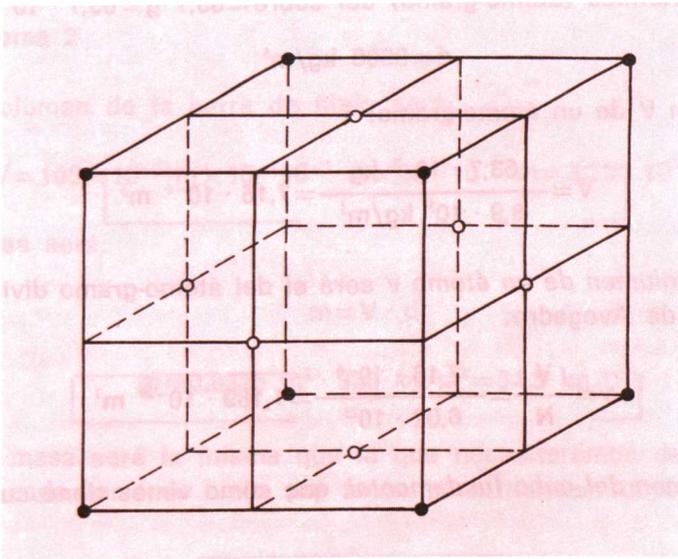


FIG. 26-4

b) En el dibujo puedes observar que en cada vértice hay un átomo y en el centro de cada cara otro átomo \*, por tanto hay ocho en los vértices y seis en las caras. Ahora bien, en cada vértice se encuentran ocho cubos, por tanto, cada uno de los átomos situado en un vértice pertenece a ocho cubos, luego a cada cubo corresponde  $1/8$  de átomo. Como hay ocho en los vértices, resulta que:

$$8 \cdot \frac{1}{8} = 1 \text{ átomo}$$

\* Para mayor claridad de la figura se han representado en negro los átomos situados en los vértices y en blanco los de las caras, pero todos representan átomos de cobre.

En cuanto a los átomos situados en las caras, resulta que cada cara pertenece a dos cubos, por tanto a cada cubo corresponde 1/2 átomo. Como hay seis átomos de estos, resulta:

$$6 \cdot \frac{1}{2} = 3 \text{ átomos}$$

Luego al cubo elemental le corresponderán:

$$3 + 1 = 4 \text{ átomos}$$

c) Dado que  $m = V \cdot d$

Masa atómica (átomo-gramo) del cobre = 63,7 g =  $63,7 \cdot 10^{-3}$  kg

$$d = 8900 \text{ kg/m}^3$$

Volumen  $V$  de un átomo-gramo:

$$V = \frac{63,7 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3} = 7,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

d) El volumen de un átomo  $v$  será el del átomo-gramo dividido por el número de Avogadro:

$$v = \frac{V}{N} = \frac{7,16 \cdot 10^{-6}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,189 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

El volumen del cubo fundamental, que como vimos tiene cuatro átomos, será:

$$v_f = 4v = 4,8 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

e)  $\ell$  = lado del cubo fundamental

$x$  = distancia entre los átomos de cobre más próximos

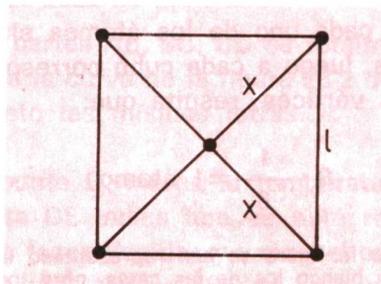


FIG. 26-5

Es evidente que  $v_f = \ell^3$

$$\ell = \sqrt[3]{v_f} = \sqrt[3]{4,8 \cdot 10^{-29}} = 3,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$x^2 + x^2 = \ell^2 ; \quad 2x^2 = \ell^2 ; \quad x = \frac{\ell}{\sqrt{2}} = \frac{\ell \sqrt{2}}{2}$$

$$x = \frac{3,6 \cdot 10^{-10} \cdot 1,41}{2} = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,26 \text{ n m}$$

Si no entiendes el significado *n m* mira el texto en la página 19.

### ● Problema 2

El volumen de la barra de hielo será:

$$V = 100 \times 10^{-2} \text{ m} \times 15 \cdot 10^{-2} \text{ m} \times 25 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

y la masa será:

$$m = V \cdot d$$

$$m = 0,0375 \text{ m}^3 \cdot 920 \text{ kg/m}^3 = 34,5 \text{ kg}$$

Esta masa será la misma que la que necesitaremos de agua para fabricar cada barra de hielo, por tanto, para fabricar 100 barras harán falta:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \cdot 34,5 = 3450 \text{ kg}$$

y el volumen correspondiente sería:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{3450 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 3,45 \text{ m}^3$$

### ● Problema 3

a) En primer lugar, hemos dibujado la curva de presión de vapor del agua, y después la del tetracloruro de carbono, puedes hacer solo las otras dos curvas.

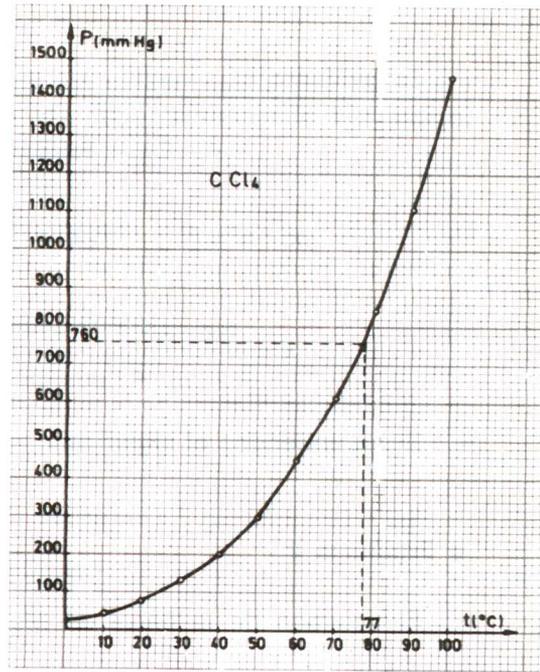
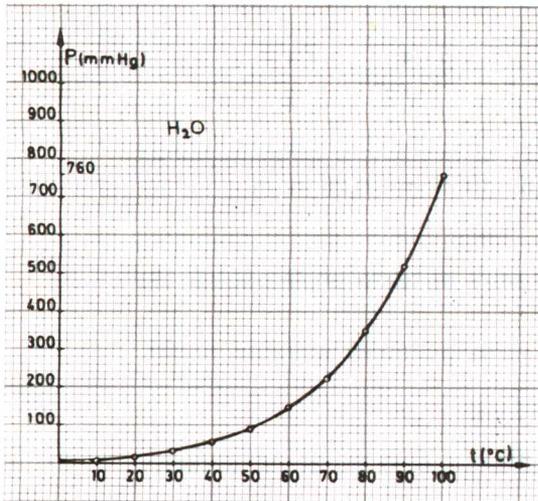


FIG. 26-6

b) La temperatura de ebullición es aquella en que la presión de vapor es igual a la presión exterior. Considerando ésta como 1 atm = 760 mm de Hg, tendremos que de las respectivas gráficas puedes deducir los siguientes valores:

agua, 100° C; CCl<sub>4</sub>, 77° C; éter, 34,6° C; octano, 125,7° C

c) En la gráfica correspondiente se deduce que t = 32° C.

d) 1,5 kp/cm<sup>2</sup> en mm de Hg tendría el valor siguiente: dado que 1 at = 760 mm de Hg = 1,033 kp/cm<sup>2</sup>

$$1,5 \text{ kp/cm}^2 = \frac{760 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ kp/cm}^2}{1,033 \text{ kp/cm}^2} = 1104 \text{ de Hg}$$

Con la gráfica se ve que a 1104 mm Hg le corresponde una temperatura de 89°.

e) El octano podría hervir a 100° C, si la presión exterior que soporta es de 354 mm de Hg. Para esa presión, el agua tendría una temperatura de ebullición de 80° C (lo cual se sabe entrando en la gráfica de presión de vapor del agua por el eje de ordenadas).

● **Cuestión 4**

Observa la curva de presión de vapor del agua del problema 3, podrás construir la tabla siguiente:

Alturas (km)	1	2	3	4	5	6	7	10	20	30
Presiones (mm)	674	596	526	462	405	354	308	198	41	8,5
Temp. ebullic. (°C)	96	93	90	86	83	80	77	67	36	5

● **Cuestión 5**

Para que el sudor se evapore, es necesario que el cuerpo aporte el calor de evaporación, por lo cual el cuerpo se enfría.

Puede ser mala una corriente de aire, ya que ella favorece el proceso de evaporación, y si el sudor se evapora muy rápidamente puede sobrevenir un excesivo enfriamiento para el cuerpo. El enfriamiento del agua del botijo es un proceso muy similar al del sudor. El botijo es de materia porosa que facilita la evaporación del agua, enfriándose el agua del botijo, cuerpo que aporta el calor necesario para la evaporación.

● **Cuestión 6**

Si la vasija está herméticamente cerrada el líquido no hierve, ya que para que lo haga es necesario que la presión de vapor iguale a la presión exterior, como al irse evaporando el líquido, en el recinto habrá la presión del aire más la presión del vapor, resulta que la presión de vapor del líquido no podría igualarse a esta suma:

$$P_v \neq P_v + P_a$$

Por tanto, el líquido no hierve.

En la olla a presión y autoclaves hay una válvula que deja escapar gas, manteniendo en el interior una presión constante, y que permite que el líquido hierva.

● **Cuestión 7**

La figura 26-7 representa un esquema de destilación a presión normal.

Cuando la ebullición se realiza a una presión inferior a la normal, se dice que hierve a presión reducida (fig. 26-8). Este hecho es de importancia en aplicaciones químicas cuando, por ejemplo, se trata de destilar líquidos que se descompondrían si hirviesen a la temperatura correspondiente a la presión normal.

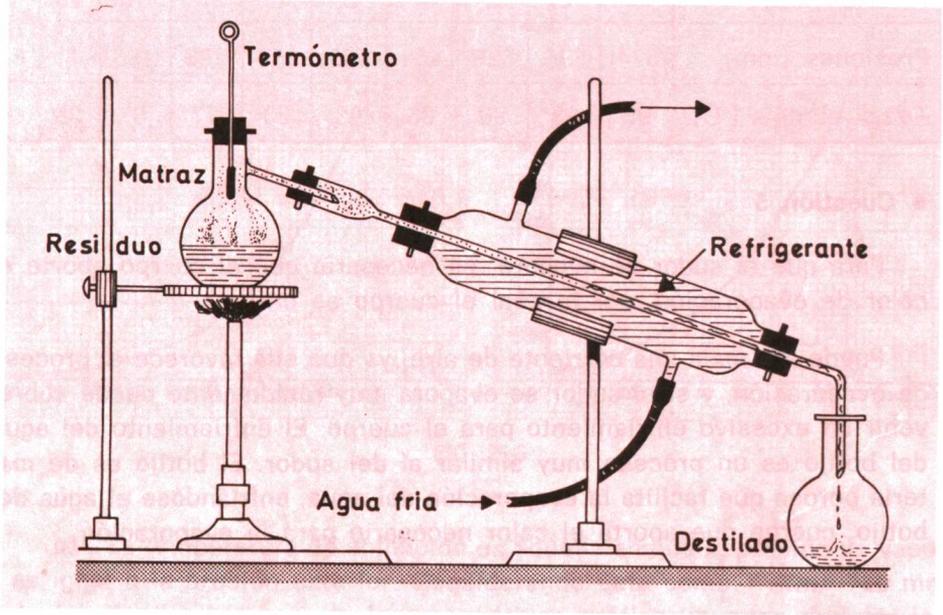


FIG. 26-7

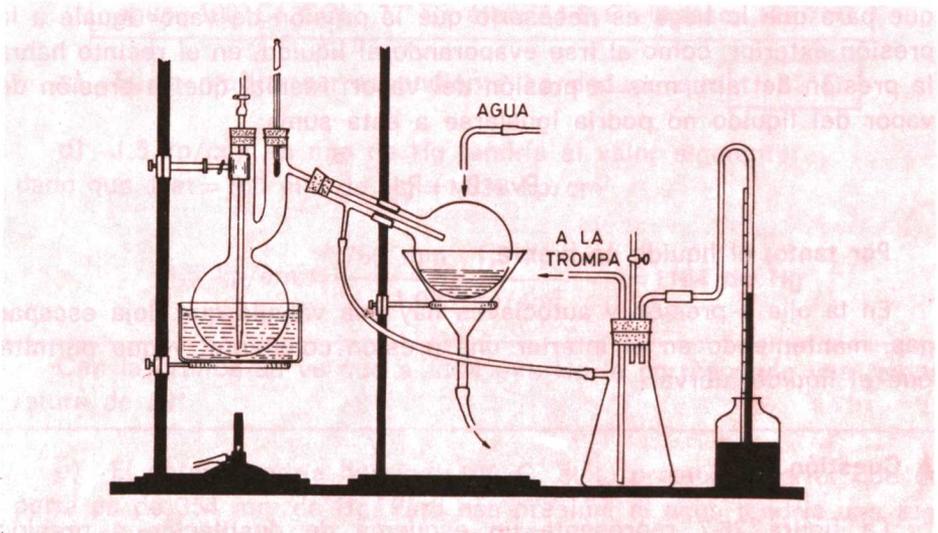


FIG. 26-8

### ● Cuestión 8

Nos parece mejor dejar esta cuestión para un nivel más avanzado.

### ● Problema 9

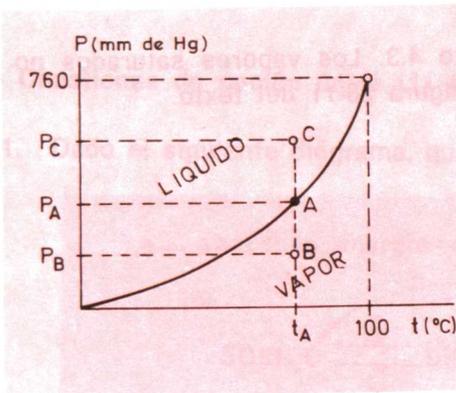


FIG. 26-9

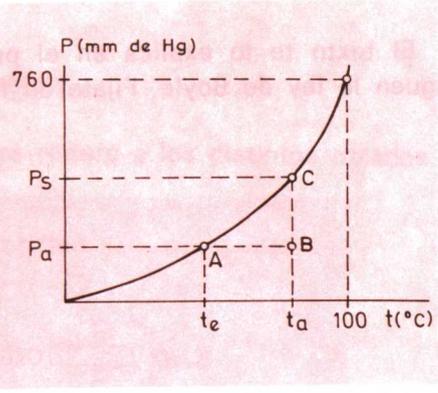


FIG. 26-10

La figura 26-9 representa la curva de presión de vapor de agua que ya conoces. Observa que la curva delimita por encima la zona correspondiente al estado líquido y por debajo la zona correspondiente al estado de vapor. ¿Qué quiere decir esto? Todos los puntos de la curva corresponden, cada uno, a una determinada temperatura y presión en que coexisten el líquido y su vapor. Por ejemplo, el punto A corresponde a la temperatura  $t_A$  y a la presión  $P_A$  en que coexisten el líquido y el vapor, siendo  $P_A$  la presión de vapor de saturación a la temperatura  $t_A$ . El punto B corresponde a la temperatura  $t_A$  pero por corresponderle la presión  $P_B$  inferior a la de saturación, el agua se encuentra en estado de vapor. El punto C corresponde también a la temperatura  $t_A$  pero, por corresponderle la presión  $P_C$  superior a la de saturación, el agua se encuentra en estado líquido.

¿Por qué se empañan las paredes de un vaso con una bebida fría? Veamos la figura 26-10. El punto B (zona inferior de la curva) corresponde a la temperatura inicial ambiente,  $t_a$ , en que la presión de vapor de agua es  $P_a$ , inferior a la de saturación  $P_s$  para la misma temperatura  $t_a$ , por lo que el agua permanece en estado de vapor en el aire a la temperatura ambiente. Cuando ponemos el vaso con la bebida fría, las paredes del vaso también se enfrían, por ejemplo a la temperatura  $t_e$ , pero a  $t_e$  corresponde una presión de saturación  $P_a$  como se ve en

el punto A de la gráfica, por lo que el vapor de agua en contacto con las paredes del vaso se condensa en forma de capa líquida de agua.

● **Cuestión 10**

*La presión de vapor no depende del volumen.*

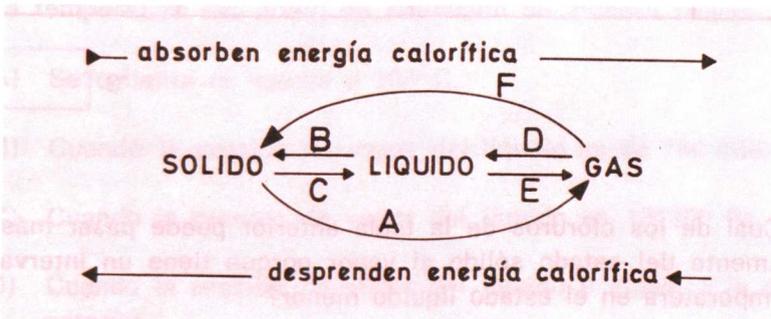
El texto te lo explica en el punto 4.3. Los vapores saturados no siguen la ley de Boyle. Fíjate en la figura 26-11 del texto.

## 26.4 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización de este ejercicio sÍganse las normas dadas en ejercicios anteriores.

### ● Cuestiones de opción Única (11 puntos):

1. Dado el siguiente diagrama, que se refiere a los distintos estados



de la materia y a los cambios que tienen lugar entre sí, el cambio llamado evaporación viene expresado por la letra:

A) B) C) D) E) F)

1

2. En el mismo diagrama la solidificación corresponde al proceso:

A) B) C) D) E) F)

2

3. En la tabla adjunta aparecen algunas propiedades de los cloruros de ciertos metales que llamamos A, B, C, D y E: ¿Cuál de estos cloruros es líquido a temperatura ambiente?:

Cloruros	Color	P de F (°C)	P de Eb (°C)
A)	Blanco	714	1418
B)	Pardo	498	993
C)	Incoloro	-33	113
D)	Amarillo	987	1001
E)	Azul	724	1050

3

4. ¿Cuál de los cloruros de la tabla anterior puede pasar más rápidamente del estado sólido al vapor porque tiene un intervalo de temperatura en el estado líquido menor?

4

5. La temperatura a la cual un líquido puro hierve:

- A) Aumenta gradualmente desde que empieza a hervir.
- B) Varía con la temperatura de la habitación en que se encuentra.
- C) Desciende cuando la calefacción se hace por medios eléctricos.
- D) Desciende si la presión de la atmósfera en que se encuentra descende.
- E) Aumenta si la presión de la atmósfera en que se encuentra descende.

5

6. En el diagrama de la cuestión 1) los cambios que son exotérmicos (desprenden calor) son:

A) C, B y D

D) F, D y B

B) A, C y E

E) F, C y E

C) B, C y D

6

7. La temperatura del punto de ebullición se alcanza cuando:

A) Se calienta el líquido a  $100^{\circ}\text{C}$ .

B) Cuando la presión de vapor del líquido es de 760 mm de Hg.

C) Cuando la presión de vapor del líquido es 101300 Pa.

D) Cuando la presión de vapor del líquido es igual a la presión exterior.

E) Cuando el líquido se enfría lentamente a intervalos uniformes con el tiempo.

7

8. ¿Cuál de estas propiedades NO ES CIERTA para un líquido?:

A) Posee forma variable.

B) Es vaporizable.

C) Tiene volumen variable.

D) Su forma viene afectada por el recipiente que lo contiene y por la acción de la gravedad.

E) Poseen isotropía.

8

9. Una de estas propiedades NO ES CIERTA para los sólidos cristalinos:

- A) Son de forma rígida.
- B) Son incompresibles.
- C) En forma cristalina pueden presentar anisotropía.
- D) Son de densidad variable, dependiendo del tamaño del sólido.
- E) Presentan formas geométricas o poliédricas.

9

10. Los sólidos amorfos se distinguen de los sólidos cristalinos en que:

- A) Son incompresibles.
- B) Son de forma rígida.
- C) Son de formas poliédricas.
- D) Son isotropos siempre y los cristalinos son siempre anisotropos.
- E) Son de volumen fijo.

10

11. Del fenómeno de fusión pueden afirmarse las siguientes cosas, EXCEPTO que:

- A) Mientras dura la fusión, la temperatura permanece constante.
- B) Cada sólido puro tiene un punto de fusión fijo a la presión atmosférica normal.
- C) La temperatura de fusión coincide con la de solidificación.
- D) Es necesario una cantidad de calor para que se funda una

determinada cantidad de sustancia que recibe el nombre de calor latente de fusión.

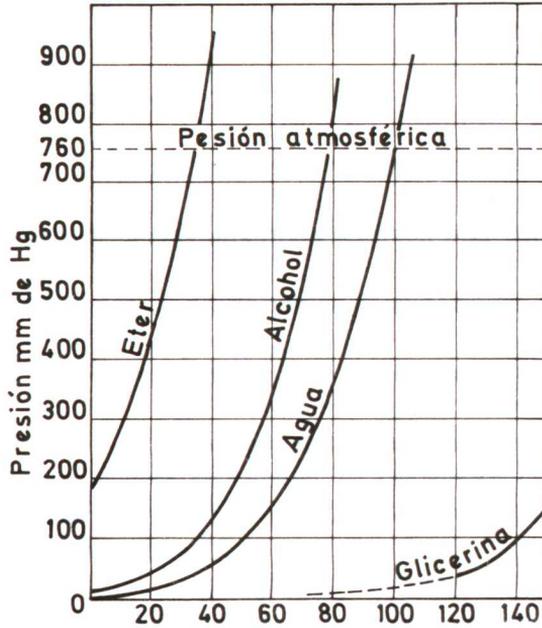
E) Nada de lo dicho es cierto.

11

● **Cuestiones a las que hay que contestar cierto C o falso F (8 puntos):**

12. Los sólidos amorfos son anisotropos C  F
13. Todos los cuerpos sólidos son cristalinos C  F
14. Todos los cuerpos cristalinos son sólidos C  F
15. Un fluido se caracteriza por tener forma variable C  F
16. Los gases y los líquidos son fluidos C  F
17. Los ángulos que presentan los cristales del cristal de roca son siempre iguales, pues cumplen la ley de la constancia de los diedros C  F
18. Una muestra de cristal de roca no es un poliedro natural C  F
19. Las redes de empaquetamiento compacto en los metales son la hexagonal, la cúbica centrada en las caras y la cúbica centrada en el espacio C  F

● Interpretación de una gráfica (4 puntos):



20. ¿Cuál de los líquidos representados en la gráfica tendrá un punto de ebullición mayor? .....
21. La presión de vapor saturado del éter a 20° C es de .....
22. Si la presión de vapor del agua es inferior a 760 mm Hg, ¿puede haber ebullición? .....
23. Si a la temperatura de 80° C sometemos vapor de agua a la presión 500 mm de Hg, ¿se condensará el vapor? .....

## 26.5 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Cuestiones de opción única:

- |      |      |       |
|------|------|-------|
| 1. E | 5. D | 9. D  |
| 2. B | 6. D | 10. C |
| 3. C | 7. D | 11. E |
| 4. D | 8. C |       |

### ● Cuestiones cierto-falso:

- 12. F
- 13. F
- 14. C
- 15. C
- 16. C
- 17. C
- 18. F
- 19. C

### ● Interpretación de una gráfica:

- 20. Glicerina
- 21. 450 mm Hg
- 22. No
- 23. Sí

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 23 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 14 puntos.*



## OBJETIVOS

- Describir los estados de agregación de la materia con cualquiera que sea el estado del sistema.
- Definir molaridad, molalidad y normalidad.
- Interpretar las gráficas de solubilidad.
- Resolver problemas numéricos sobre concentración de las disoluciones líquidas.

## TEMA 27

### Disoluciones

## INDICE

### 27.1 CONTENIDOS BÁSICOS

### 27.2 ORIENTACIONES

- 27.2.1 Acerca de las formas de expresar cuantitativamente la concentración de las disoluciones.
- 27.2.2 Acerca del equivalente-gramo y la normalidad de las disoluciones.

### 27.3 CUESTIONES ADICIONALES

### 27.4 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### 27.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACIÓN

### 27.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACIÓN





## **OBJETIVOS**

- Describir los distintos tipos de disolución cualesquiera que sea el estado del soluto o del disolvente.
- Definir molaridad, molalidad y normalidad.
- Interpretar las gráficas que se refieren a la solubilidad.
- Resolver problemas numéricos sobre concentración de las disoluciones líquidas.

## **INDICE**

### 27.1 CONTENIDOS BASICOS

### 27.2 ORIENTACIONES

- 27.2.1 Acerca de las formas de expresar cuantitativamente la concentración de las disoluciones
- 27.2.2 Acerca del equivalente-gramo y la normalidad de las disoluciones.

### 27.3 CUESTIONES ADICIONALES

### 27.4 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### 27.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### 27.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 27.1 CONTENIDOS BASICOS

- Disoluciones (T).
- Disolvente (T).
- Solute (T).
- Clases de disoluciones según el estado físico del disolvente y del soluto (T).
- Concentración (T).
- Molalidad (T, D).
- Tanto por ciento en peso (T, D).
- Molaridad (T, D).
- Equivalente-gramo y normalidad (D).
- Disolución saturada (T).
- Equilibrio de saturación (T).
- Solubilidad: Curvas de solubilidad (T).
- Purificación de sustancias por disolución y recristalización (T).
- Solución concentrada y solución diluida (T).
- Sobresaturación (T).
- Temperaturas de ebullición de las disoluciones. Constante ebulloscópica (T).
- Temperaturas de congelación de las disoluciones. Constante crioscópica (T).
- Determinación de masas moleculares (T).

## 27.2 ORIENTACIONES

### 27.2.1 Acerca de las formas de expresar cuantitativamente la concentración de las disoluciones

La identificación de las disoluciones exige conocer los componentes que las forman y la proporción en que se encuentran.

En términos generales, y en *forma cualitativa*, podemos decir que una disolución es *diluida* si contiene poca cantidad de soluto en una cantidad dada de disolvente. En caso contrario, diríamos que la solución es *concentrada*. Ahora bien, esto no bastará cuando queramos realizar algún cálculo preciso, entonces es necesario expresar la concentración del soluto de una forma *cuantitativa*. Resumimos en un cuadro las formas más corrientes de expresar *cuantitativamente* la concentración de una disolución.

Debes consultar dicho cuadro o tabla (página siguiente) en lugar de la Tabla II del texto (pág. 249) ya que contiene algunas erratas.

Las expresiones de concentración de más uso son las señaladas en la Tabla de la página siguiente de este Documento 31/2, con los números 1 y 4; la número 6 es necesaria para el estudio del apartado 4 del texto.

TABLA DE CONCENTRACIONES DE LAS DISOLUCIONES

<p>1. Tanto por ciento en peso (% en peso):</p> $\% \text{ en peso} = \frac{\text{Masa de soluto}}{\text{Masa de soluto} + \text{Masa disolvente}} \cdot 100$	<p>Gramos de soluto disueltos en cada 100 g de disolución.</p> <p>(Unidad muy utilizada en la práctica.)</p>
<p>2. Tanto por ciento en volumen (% en volumen):</p> $\% \text{ en volumen} = \frac{\text{volumen de soluto}}{\text{volumen de disolución}} \cdot 100$	<p>Volumen de soluto disuelto en 100 volúmenes de disolución.</p> <p>(Unidad utilizada en mezclas de gases o líquidos.)</p>
<p>3. Gramos por litro (g/l):</p> $g/l = \frac{\text{gramos de soluto}}{\text{litros de disolución}}$	<p>Gramos de soluto disueltos en cada litro de disolución.</p>
<p>4. Molaridad, M, moles/l:</p> $M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de disolución}}$	<p>Moles de soluto disueltos en cada litro de disolución.</p> <p>(Unidad muy utilizada en los cálculos químicos.)</p>
<p>5. Normalidad, N, equivalentes-gramo/l:</p> $N = \frac{\text{equivalentes de soluto}}{\text{litros de disolución}}$	<p>Equivalentes-gramo de soluto disueltos en cada litro de disolución.</p> <p>(Unidad muy utilizada en los cálculos químicos.)</p>
<p>6. Molalidad, m:</p> $m = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{kilogramos de disolvente}}$	<p>Moles de soluto disueltos en cada kg de disolvente.</p>
<p>7. Fracción molar, X:</p> $X_{\text{soluto}} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de soluto y disolvente}}$ $X_{\text{disolvente}} = \frac{\text{moles de disolvente}}{\text{moles de soluto y disolvente}}$	

## 27.2.2 Acerca del equivalente-gramo y la normalidad de las disoluciones

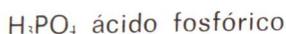
Repasa el apartado 3.5 del tema 23 del texto (pág. 212) que trata de la regla fundamental para escribir fórmulas y que después es aplicada en el tema 23, apartados 5, 6 y 7 (páginas 216, 217 y 218) a los ácidos, sales e hidróxidos.

Veamos un ejemplo:



**Distinguimos en esta molécula dos partes:** el «radical»  $\text{SO}_4$  y los dos átomos de hidrógeno. Estos suman en total dos valencias, el radical tiene también dos valencias y, por tanto, en la molécula las valencias quedan perfectamente saturadas entre sí.

Veamos más ejemplos:



Aquí el «radical» es  $\text{PO}_4$  con tres valencias, el mismo número que suman las valencias de los tres átomos de hidrógeno.



Aquí el radical es  $\text{NO}_3$  con una sola valencia, también hay un solo átomo de hidrógeno con una valencia.



El radical  $\text{SO}_4$  ya hemos visto antes que tiene dos valencias. Como cada átomo de potasio tiene una valencia, entre los dos sumarán dos valencias, el mismo número que tiene el radical  $\text{SO}_4$ .



El «radical»  $\text{SO}_4$  tiene dos valencias; el átomo de calcio tiene dos valencias.



El radical  $\text{PO}_4$  hemos visto antes que tiene tres valencias; el átomo de aluminio tiene tres valencias.

$\text{NaOH}$  hidróxido de sodio

Aquí el grupo  $\text{OH}$  (que se lee «hidróxido») tiene siempre una valencia; el átomo de sodio tiene también una valencia y en el compuesto las valencias quedan saturadas entre sí.

$\text{Ca(OH)}_2$  hidróxido de calcio

Aquí hay dos grupos  $\text{OH}$  que suman en total dos valencias; el átomo de calcio tiene dos valencias.

$\text{Al(OH)}_3$  hidróxido de aluminio

Aquí hay tres grupos  $\text{OH}$  que suman en total tres valencias; el átomo de aluminio tiene también tres valencias.

Vemos en estos ejemplos, y en otros muchos que podrían ponerse, que en los ácidos, sales e hidróxidos los compuestos tienen dos partes diferenciadas teniendo cada una el mismo número total de valencias que la otra.

**El equivalente de un ácido** se obtiene dividiendo la masa molecular de dicho ácido por el número total de valencias correspondientes a los átomos de hidrógeno. *El equivalente-gramo es un número de gramos igual al número abstracto que expresa el equivalente.* Ejemplos:

$\text{H}_2\text{SO}_4$ : Ácido sulfúrico. Masa molecular = 98:

$$1 \text{ equivalente} = \frac{98}{2} ;$$

$$1 \text{ equivalente-gramo} = 49 \text{ gramos}$$

$\text{H}_3\text{PO}_4$ : Ácido fosfórico. Masa molecular = 98:

$$1 \text{ equivalente} = \frac{98}{3} = 32,6 ;$$

$$1 \text{ equivalente-gramo} = 32,6 \text{ gramos}$$

$\text{HNO}_3$  Acido nítrico. Masa molecular = 63:

$$1 \text{ equivalente} = \frac{63}{1} = 63 ;$$

$$1 \text{ equivalente-gramo} = 63 \text{ gramos}$$

Sabemos que en las sales ha habido una sustitución de los átomos de hidrógeno de un ácido por átomos de un metal, teniendo en cuenta las valencias. Así, dos átomos de hidrógeno serán sustituidos por dos átomos de metal monovalente o por un átomo de un metal divalente. Tres átomos de hidrógeno de un ácido pueden ser sustituidos por tres átomos de un metal monovalente o por 1 átomo de un metal trivalente.

Vamos a darte una regla práctica, a nivel de 2.º de BUP, para hallar el **equivalente de una sal**:

- Se formula la sal.
- Se halla su masa molecular.
- Se calcula el equivalente dividiendo la masa molecular de la sal por el número que resulta de multiplicar la valencia del metal por el subíndice del mismo que figura en la fórmula.

Ejemplos:

*Nitrato de sodio:*

- $\text{NaNO}_3$
- $23 + 14 + 3 \cdot 16 = 85$
- Equivalente:  $\frac{85}{1 \cdot 1} = 85$

$$\text{Equivalente-gramo: } 85 \text{ gramos}$$

*Nitrato de magnesio:*

- $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

b)  $24,3 + 14,0 + 1 \cdot 16,0 = 70,3$

c) Equivalente:  $\frac{70,3}{2 \cdot 1} = 35,1$

Equivalente-gramo: 35,1 gramos

*Ortofosfato de calcio:*



b)  $3 \cdot 40,1 + 2 \cdot 31,0 + 8 \cdot 16,0 = 310,3$

c) Equivalente:  $\frac{310,3}{2 \cdot 3} = \frac{310,3}{6} = 51,7$

Equivalente-gramo: 51,7 gramos

*Sulfato de hierro (II):*



b)  $55,8 + 32,1 + 4 \cdot 16,0 = 151,9$

c) Equivalente:  $\frac{151,9}{2 \cdot 1} = 76$

Equivalente-gramo: 76 gramos

### 27.3 CUESTIONES ADICIONALES

#### ● Cuestión 1

En las disoluciones contenidas en frascos suele haber un etiqueta con la que se indica la concentración. Si tienes un frasco con la siguiente etiqueta:

ALCOHOL YODADO  
al 5 %

## ¿cómo lo interpretas?

Es frecuente este tipo de indicación, y más aún que en laboratorios químicos, en productos farmacéuticos. Cuando se indica de esta forma un tanto por ciento, se entiende que es en peso; por tanto, la interpretación de la etiqueta sería que por cada 95 g de alcohol hay 5 g de yodo. O sea, que:

$$\% \text{ en peso} = \frac{\text{número gramos de soluto}}{100 \text{ g de disolución}}$$

¿Cuál sería el % en peso de una disolución que contiene 2 g de nitrato de plata en 100 g de agua?

$$\text{masa total} = 2 + 100 = 102 \text{ g}$$

$$\frac{102}{2} = \frac{100}{x} ; \quad x = 1,96 \%$$

### ● Cuestión 2

**Explica cómo prepararías en el laboratorio una disolución de 500 cm<sup>3</sup> que contenga 3 g/dm<sup>3</sup> de nitrato de potasio.**

Antes de manipular, necesitas realizar los cálculos correspondientes:

$$500 \text{ cm}^3 = 0,5 \text{ dm}^3$$

$$\text{cantidad necesaria de soluto} = 3 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} \cdot 0,5 \text{ dm}^3 = 1,5 \text{ g}$$

Entonces medirás en una balanza 1,5 g de KNO<sub>3</sub>, los cuales los has de disolver en agua hasta obtener 500 cm<sup>3</sup> de disolución. Para ello, depositas la sal en un vaso y se va añadiendo agua destilada poco a poco, agitándolo de vez en cuando hasta que se disuelva todo el soluto, luego se añade al matraz aforado \* de 500 cm<sup>3</sup> y se va añadiendo poco a poco agua y agitando. Se completa después el volumen que falta de agua, despacio y con mucho cuidado al final, pues has de procurar que

\* Un matraz aforado tiene en su cuello una línea horizontal o señal para indicar que un líquido enrasado hasta dicha señal ocupa el volumen indicado en el aforo del matraz.

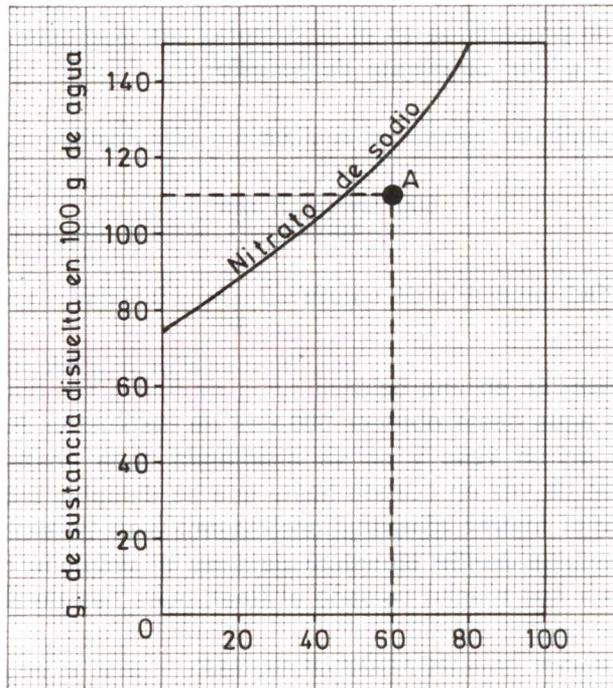
el menisco quede tangente a la línea de enrase del matraz; a veces conviene emplear un cuentagotas para las últimas porciones de agua que se añaden, a fin de obtener un enrase perfecto.



FIG. 27-1

En todo este proceso observa que *no has añadido* 500 cm<sup>3</sup> de agua, sino que *completas la disolución* hasta lograr 500 cm<sup>3</sup> de ésta.

● Cuestión 3



La curva de la figura representa la solubilidad del nitrato de sodio en agua, expresada en:

$$\frac{\text{g de NaNO}_3}{100 \text{ g de H}_2\text{O}}$$

a diferentes temperaturas.

**Razona las siguientes preguntas, dándoles una interpretación físico-química.**

**1.º ¿Qué representa el punto A? ¿Es una disolución saturada? ¿Qué tipo de disolución es?**

**2.º Si la disolución representada en el punto A se enfría hasta 10º C, ¿qué pasará?**

**3.º ¿Cuántos gramos de nitrato de sodio tendrían 100 g de H<sub>2</sub>O a 80º C si sabemos que la disolución es saturada?**

1.º El punto A representa una disolución no saturada, ya que a 60º el disolvente (agua) es capaz de disolver 124 g (en 100 g) y sólo tiene disueltos 110 g.

Podemos generalizar diciendo que todas aquellas disoluciones que tengan su punto representativo a la derecha de la curva, son disoluciones no saturadas.

2.º Al enfriar la disolución a 10º C, resulta que la cantidad de nitrato de sodio existente resulta excesiva, ya que a 10º C, según nos muestra la curva de solubilidad, sólo admite 80 g en 100 g de agua. Como consecuencia, tendrá lugar una cristalización del sobrante de sal, que sería:

$$110 - 80 = 30 \text{ g}$$

En general, el sólido se separa en forma de *cristales* (ver texto, página 288, apartado 2.6 del tema 31), por eso se llama *cristalización*. Además de la cristalización por enfriamiento, se puede lograr también evaporando el disolvente, con lo cual aumenta la concentración relativa de la sal, y cuando se alcanza la saturación, empieza a cristalizar la sal. Este es el procedimiento que se sigue en las salinas para separar la sal común (NaCl) del agua del mar.

3.ª En la gráfica puedes ver que a 80° C la saturación en la disolución de  $\text{NaNO}_3$  se alcanza con una concentración de 150 g en 100 g de agua. En general, la concentración no se expresa así, sino en % en peso. Para ello basta ver que:

$$\text{Masa total} = 150 + 100 = 250 \text{ g}$$

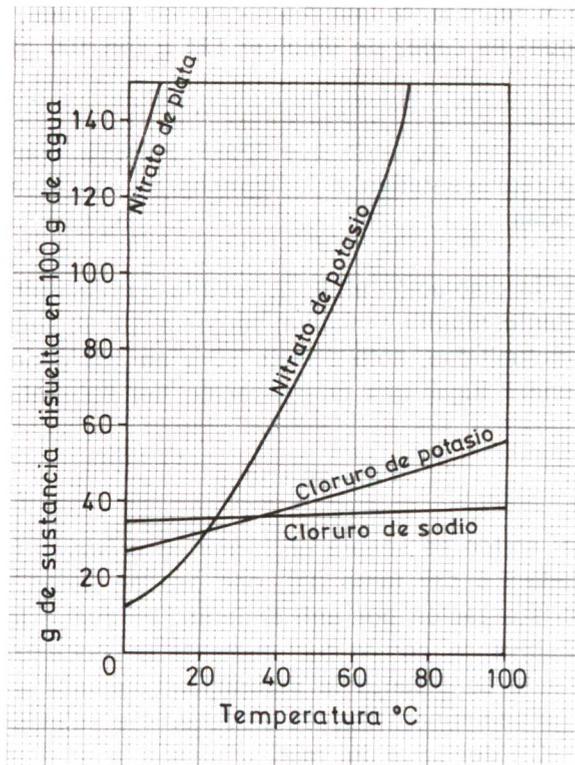
Entonces:

$$\frac{250}{150} = \frac{100}{x}$$

$$x = 60 \%$$

#### ● Cuestión 4

En la figura están representadas las curvas de solubilidad de diferentes sustancias.



Con los datos que te suministran las gráficas, responde a las siguientes preguntas:

1.ª ¿Qué consecuencia, de tipo general, se deduce al contemplar la gráfica?

2.ª A 20° C, ¿qué disolución saturada admite mayor cantidad de soluto, una de cloruro de sodio u otra de cloruro de potasio? ¿Y a 80° C?

3.ª Calcula la concentración en % y en moles/l de las disoluciones tratadas en el punto 2.

4.ª ¿Cuál será la molalidad de una disolución de nitrato de potasio cuya solubilidad es la correspondiente a 30° C?

1.ª La gráfica pone de manifiesto un hecho común a todas las sales representadas, y es que en todas ellas su solubilidad aumenta con la temperatura; según que ese aumento sea más o menos rápido, la curva respectiva tendrá mayor o menor pendiente.

2.ª A 20° C está bien claro que el cloruro de potasio es menos soluble que el cloruro de sodio, pero a 80° C sucede el fenómeno contrario; ello es debido a que la pendiente de la curva de solubilidad es más pronunciada en el KCl.

3.ª A 20° C obtenemos de la gráfica los siguientes valores:

	KCl	NaCl
Solubilidad	$\frac{31 \text{ g}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$	$\frac{35 \text{ g}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$

Concentración en % en peso a 20° C:

$$31 + 100 = 131 \text{ g}$$

$$\frac{131 \text{ g (soluto + disolvente)}}{31 \text{ g (soluto)}} = \frac{100}{x} ;$$

$$x = 23,66 \% \text{ de KCl}$$

$$35 + 100 = 135 \text{ g}$$

$$\frac{135 \text{ g (soluto + disolvente)}}{35 \text{ g (soluble)}} = \frac{100}{x'} ;$$

$$x' = 25,92 \% \text{ de NaCl}$$

Concentración en moles/ $\ell$  (o sea, molaridad) a 20° C:

$$M = \frac{n \text{ (moles soluto)}}{\ell \text{ (disolución)}}$$

$$M_{\text{KCl}} = 39 + 35,5 = 74,5$$

$$M_{\text{NaCl}} = 23 + 35,5 = 58,5$$

Como no nos dan la densidad de la disolución, entenderemos que es 1 g/cm<sup>3</sup>; entonces, 131 g equivalen a un volumen de 131 cm<sup>3</sup>.

$$\text{El número de moles para el KCl} = \frac{31 \text{ g}}{74,5 \text{ g/mol}} = 0,416 \text{ mol}$$

Por tanto, la molaridad será:

$$M = \frac{0,416 \text{ mol}}{0,131 \ell} = 3,18 \frac{\text{mol}}{\ell} \text{ (KCl)}$$

Igualmente para el NaCl:

$$M = \frac{m}{M \cdot \ell} = \frac{35 \text{ g}}{58,5 \text{ g/mol} \cdot 0,135 \ell} = 4,43 \text{ mol}/\ell \text{ (NaCl)}$$

Ahora debes operar solo para resolver las mismas cuestiones, considerando la temperatura de 80° C.

4.ª La curva de solubilidad nos da el dato siguiente: A 30° la solubilidad del KNO<sub>3</sub> es de 46 g/100 g H<sub>2</sub>O:

$$\text{molalidad} = \frac{\text{número moles soluto}}{\text{kg de disolvente}}$$

$$\text{Masa molecular del KNO}_3 = 39 + 14 + (3 \times 16) = 101$$

$$\text{Número moles de soluto en 100 g de agua} = \frac{46}{101} = 0,455$$

$$\text{molalidad} = \frac{0,455 \text{ moles}}{0,1 \text{ kg}} = 4,55 \text{ molal}$$

## 27.4 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Problema 1

$$\frac{5 \text{ g NaCl}}{20 \text{ g H}_2\text{O}} ; \quad \frac{5 \text{ g NaCl}}{0,02 \text{ kg H}_2\text{O}} = 250 \text{ g NaCl/kg de H}_2\text{O}$$

Sal común: NaCl → masa molecular = 58,5

$$5 \text{ g de NaCl serán } \rightarrow \frac{5 \text{ g}}{58,5 \text{ g/mol}} = 0,085 \text{ mol}$$

luego:

$$\text{concentración en } \frac{\text{moles}}{\text{kg de H}_2\text{O}} ; \quad \frac{0,085 \text{ mol}}{0,02 \text{ kg H}_2\text{O}} = 4,25 \text{ mol/kg H}_2\text{O}$$

### ● Problema 2

Tenemos:

$$\begin{array}{r} 25,0 \text{ g de HCl (solute)} \\ 100,0 \text{ g de H}_2\text{O (disolvente)} \\ \hline 125,0 \text{ g de disolución} \end{array}$$

Sabiendo que la densidad de la disolución es:

$$d = 1,100 \text{ g/cm}^3 = 1\,100 \text{ g/dm}^3 ;$$

el volumen que ocuparán 125 g de disolución, teniendo en cuenta que  $m = Vd$ , será:

$$m = Vd ; \quad V = \frac{125,0 \text{ g}}{1\,100 \text{ g/dm}^3} = 0,114 \text{ dm}^3$$

Entonces, la concentración en gramos de soluto por  $\text{dm}^3$  de disolución será:

$$c = \frac{25,0 \text{ g}}{0,114 \text{ dm}^3} = 220 \text{ g/dm}^3$$

Dado que la masa molecular del HCl es 36,5, calculamos el número de moles:

$$220 \text{ g son } \frac{220}{36,5} \text{ moles} = 6,02 \text{ moles}$$

$$\text{Molaridad} = \frac{\text{número moles soluto}}{\text{litro disolución}} = \frac{6,02}{1} = 6,02 \text{ mol/dm}^3$$

### ● Problema 3

Para ver la reducción de volumen que se produce en la disolución, tendremos que ver el volumen que ocuparía en estado sólido, los gramos de sal que componen un litro de disolución y sumarle el volumen correspondiente a los gramos de agua. Así obtendremos un volumen V superior a un litro. La diferencia nos dará la variación de volumen. Veamos cómo:

En 1 dm<sup>3</sup> de disolución hay

$\nearrow$  311 g de sal  
 $\searrow$   $\left[ 1\,197 \text{ (g de disolución correspondientes a 1 litro)} - 311 \right] \text{ g de H}_2\text{O}$

Así, pues, 1 dm<sup>3</sup> de disolución

$\nearrow$  311 g sal  
 $\searrow$  886 g H<sub>2</sub>O

El volumen de 311 g de sal en estado sólido será:

$$V_{\text{sal}} = \frac{m}{d} = \frac{311 \text{ g}}{2,16 \text{ g/cm}^3} = 144 \text{ cm}^3$$

El volumen de 886 g H<sub>2</sub>O  $\left( d = \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right)$  será: 886 cm<sup>3</sup>.

Entonces el volumen teórico de la disolución sería:

$$(144 + 886) \text{ cm}^3 = 1\,030 \text{ cm}^3$$

Como resulta ser 1 litro, o sea, 1 000 cm<sup>3</sup>, la variación de volumen será:

$$\Delta V = 1\,030 - 1\,000 = 30 \text{ cm}^3$$

● **Problema 4**

Recuerda lo que es % en peso:

$$\frac{2,5 \text{ g NaCl}}{100 \text{ g disolución}} = \frac{100 \text{ g NaCl}}{x}$$

$$x = 4 \cdot 10^3 \text{ g de agua de mar}$$

● **Problema 5**

Teniendo en cuenta que la molaridad es:

$$M = \frac{\text{número moles}}{\text{dm}^3 \text{ disolución}} = 3$$

Podemos calcular el número de moles para cada uno de los volúmenes dados:

$$\text{Para } 1 \text{ dm}^3 \rightarrow \text{número moles} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ mol}$$

$$\text{Para } 500 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{número moles} = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ mol}$$

$$\text{Para } 22 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{número moles} = 3 \cdot 0,022 = 0,066 \text{ mol}$$

$$\text{Para } 2 \text{ dm}^3 \rightarrow \text{número moles} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mol}$$

Ahora, teniendo en cuenta que la masa molecular del ácido sulfúrico

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 98 ; \quad 1 \text{ mol} = 98 \text{ g} ,$$

$$\text{masa en gramos} = \text{mol} \cdot 98 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Por tanto:

$$\text{Para } 1 \text{ dm}^3 \rightarrow m = 3 \cdot 98 = 294 \text{ g}$$

$$\text{Para } 500 \text{ cm}^3 \rightarrow m = 1,5 \cdot 98 = 147 \text{ g}$$

$$\text{Para } 22 \text{ cm}^3 \rightarrow m = 0,066 \cdot 98 = 6,47 \text{ g}$$

$$\text{Para } 2 \text{ dm}^3 \rightarrow m = 6 \cdot 98 = 588 \text{ g}$$

● Problema 6

a) Dado que la masa es:  $m = V \cdot d$ , y  $1 \ell = 1\,000 \text{ cm}^3$ , la masa de 1 litro será:

$$m = 1\,000 \text{ cm}^3 \cdot 1,190 \text{ g/cm}^3 = 1\,190 \text{ g}$$

b) La riqueza (en peso) de ácido es del 37,2 por 100. Podemos establecer que:

$$\frac{37,2 \text{ g HCl}}{100 \text{ g disolución}} = \frac{x}{1\,190 \text{ g disolución}}$$

x (g correspondientes a 1 litro de disolución)

$$x = \text{concentración en g/}\ell \text{ disolución} = 443 \text{ g/dm}^3$$

c)

$$\text{Molaridad} = \frac{\text{número moles}}{\text{dm}^3}; \quad \text{masa molecular del HCl} = 36,5$$

$$M = \frac{443 \text{ g/dm}^3}{36,5 \text{ g/mol}} = 12,1 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = 12,1 \frac{\text{mol}}{\ell}$$

● Problema 7

a)  $m = V \cdot d = 1\,000 \text{ cm}^3 \cdot 1,180 \text{ g/cm}^3 = 1\,180 \text{ g} = \text{masa de 1 litro.}$

Como la riqueza es el 35,4 %, tendremos:

$$\frac{35,4 \text{ g HCl}}{100 \text{ g disolución}} = \frac{x}{1180 \text{ g disolución}}$$

donde:  $x = \text{concentración en g/ℓ}$

$$x = 418 \text{ g/ℓ} = 418 \text{ g/dm}^3$$

b) Dado que molaridad es:

$$\frac{\text{moles}}{1 \text{ dm}^3 \text{ (disolución)}} = \frac{m}{M \cdot 1 \text{ dm}^3 \text{ (disolución)}} \quad [1]$$

donde:

$$\text{moles} = \frac{m \text{ (masa en gramos)}}{M \text{ (masa molecular)}} \quad [2]$$

La masa molecular del HCl será:

$$M = 1,008 + 35,45 = 36,46$$

Sustituyendo en [1] y despejando:

$$m \text{ (gramos)} = \frac{3 \text{ moles} \cdot 36,46 \text{ g/mol} \cdot 1 \text{ dm}^3}{1 \text{ dm}^3} = 109,4 \text{ g}$$

c) Para la concentración del ácido concentrado en  $\text{g/dm}^3$  hemos calculado el valor:

$$c = 418 \text{ g/dm}^3$$

y para una molaridad = 3 moles/ℓ, la masa de ácido puro en 1 ℓ es 109,4 g, tendremos:

$$\frac{418}{1 \text{ dm}^3} = \frac{109,4}{V}$$

$$V = 0,262 \text{ dm}^3$$

Otra forma de hacerlo es la siguiente:

Calculamos primero la molaridad del ácido concentrado. Sabemos por el párrafo a) que:

$$c = 418 \text{ g/dm}^3$$

Ahora aplicamos [2] para hallar el número de moles:

$$\text{moles} = \frac{m}{M} = \frac{418 \text{ g}}{36,46 \text{ g/mol}} = 11,5 \text{ mol}$$

Como los 418 g de HCl concentrado están disueltos en 1 dm<sup>3</sup> de disolución, también estarán disueltos en este volumen los 11,5 moles, por lo que la molaridad del ácido concentrado será 11,5 M. Si esta disolución se diluye con agua hasta alcanzar un volumen de disolución V', la molaridad habrá cambiado a un valor M', pero el número de moles, 11,5, será el mismo en ambos casos, siendo M' < M, ya que el mismo número de moles está disuelto en un volumen mayor de disolución (ver figuras adjuntas).



Podemos establecer:

$$M = \frac{11,5 \text{ moles}}{V} ; \quad M' = \frac{11,5 \text{ moles}}{V'}$$

luego para el mismo número de moles podemos establecer:

$$M \cdot V = M' \cdot V' \quad [3]$$

Si V<sub>x</sub> es el volumen de ácido concentrado que tenemos que tomar para preparar una disolución 3 M, evidentemente el número de moles que deberá contener el volumen V<sub>x</sub> del ácido concentrado será 3, siendo

$$V_x < 1 \text{ dm}^3$$

Este número 3 de moles debe ser el mismo en el volumen V<sub>x</sub> y en 1 dm<sup>3</sup>; podemos aplicar la ecuación 3:

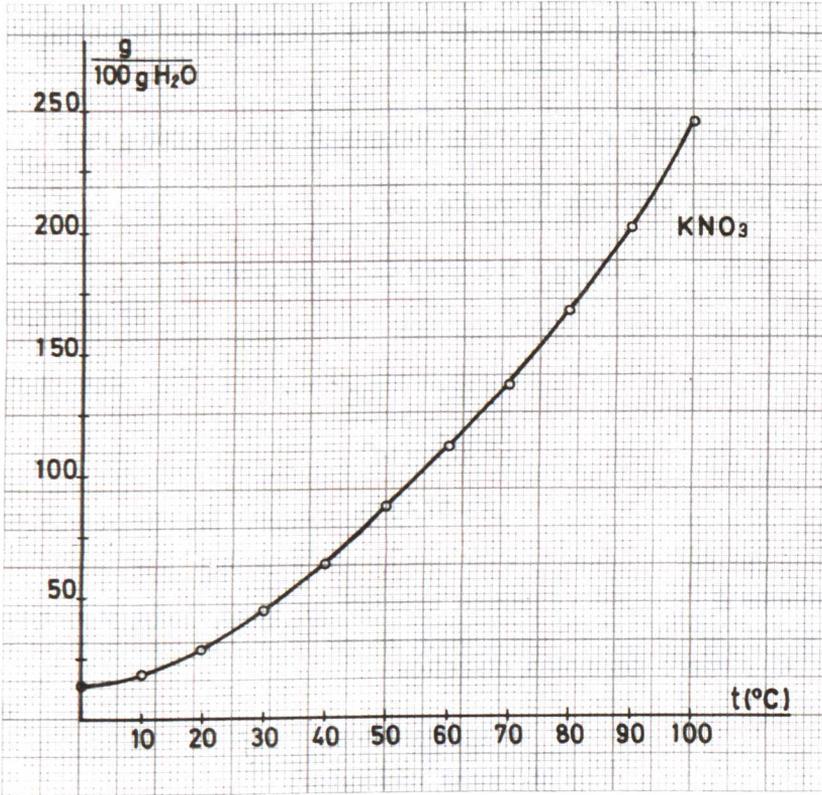
$$11,5 \cdot V_x = 3 \cdot 1 \text{ dm}^3$$

luego:

$$V_x = \frac{3 \cdot 1 \text{ dm}^3}{11,5} = 0,261 \text{ dm}^3$$

● Problema 8

a) Mira las normas de construcción de gráficas del tema 1.



b) En la gráfica se ve que a 65° C corresponde una solubilidad de 122,5 g/100 g H<sub>2</sub>O.

La concentración en tanto por ciento en peso será:

$$\text{Masa total} = 122,5 \text{ g de sal} + 100 \text{ g de H}_2\text{O} = 222,5 \text{ g}$$

Entonces:

$$\frac{222,5 \text{ g disolución}}{122,5 \text{ soluto}} = \frac{100 \text{ g disolución}}{x}$$

$$x = 55,1 \%$$

c) El agua hirviendo está a 100° C. A esta temperatura la solubilidad

del nitrato de potasio es 246 g/100 g H<sub>2</sub>O, y, por tanto, será también 2 460 g/1 000 g H<sub>2</sub>O.

Cuando se deja enfriar, la solubilidad disminuye; entonces precipitará en forma de cristales aquella cantidad de sal que sobrepasa a la solubilidad a 20° C. Por tanto:

$$\text{solubilidad a } 20^{\circ} \text{ C} = 31,6 \text{ g/100 g H}_2\text{O} = 316 \text{ g/1 000 g H}_2\text{O}$$

La masa de los cristales formados será:

$$2\,460 \text{ g} - 316 \text{ g} = 2\,144 \text{ g de KNO}_3$$

d)

$$\frac{2\,460}{2\,144} = \frac{100}{x}$$

$$x = 87,15 \%$$

### ● Problema 9

a) El número de moles disueltos:

$$\frac{m \text{ (g disueltos)}}{M \text{ (masa molecular)}}$$

$$n = \frac{4,6}{M} \left\{ \begin{array}{l} \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 \\ \text{donde } M = 3 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 3 \cdot 16 = 92 \\ n = \frac{4,6}{92} = 0,05 \text{ mol} \end{array} \right.$$

b) Representamos la molalidad por c:

$$\text{molalidad} = \frac{\text{número moles}}{\text{kg disolvente}} \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ g de H}_2\text{O} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \end{array} \right.$$

Luego:

$$c = \frac{0,05}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\text{moles}}{\text{kg}} = 5 \text{ molal}$$

c) Mira en el texto, página 254, apartado 4.3:

$$\Delta t = K_c \cdot c = 1,85 \cdot 5 = 9,25^\circ \text{ C}$$

Luego para hallar la temperatura de congelación de la disolución:

$$\Delta t = t_{\text{congelación H}_2\text{O}} - t_{\text{congel. disolución}} = 0 - t_{\text{congel. disolución}} = 9,25^\circ \text{ C}$$

Por tanto:

$$t_{\text{congel. disolución}} = -9,25^\circ \text{ C}$$

### ● Problema 10

Dado que

$$\Delta t = K_c c$$

donde  $K_c$  = constante crioscópica y

$$c = \text{concentración molal} = \frac{\text{número moles}}{\text{kg de disolvente}} = \frac{\frac{m \text{ (g)}}{M}}{\text{kg de disolvente}}$$

luego:

$$\Delta t = K_c \frac{m \text{ (g)}}{M \text{ kg (disolvente)}}$$

donde  $M$  es la masa molecular del soluto.

$$M = \frac{K_c m}{\Delta t \text{ kg (disolvente)}} = \frac{1,85 \cdot 9}{3,7 \cdot 0,025} = 180$$

### ● Problema 11

NOTA.—Hay un error en el enunciado. En vez de 0,387 mg de alcanfor, son 0,387 g de alcanfor.

El punto de fusión del alcanfor ha disminuido, de forma que:

$$\Delta t = 174,4 - 166,5 = 7,9^\circ \text{ C}$$

$$\Delta t = K_c c ; \quad \text{donde } K_c = 40 \text{ para el alcanfor}$$

$$c = \text{concentración molar} = \frac{23,7 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{0,387 \cdot 10^{-3} \cdot M}$$

siendo M la masa molecular de la fenolftaleína.

Entonces:

$$\Delta t = \frac{40 \cdot 23,7 \cdot 10^{-3}}{0,387 \cdot 10^{-3} \cdot M} = 7,9^\circ \text{ C}$$

$$M = 310$$

### 27.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización de este ejercicio valen las normas dadas en ejercicios anteriores.

#### ● Cuestiones de opción única (14 puntos):

1. Molaridad es:

- A) Número de moléculas contenidas en un litro de disolución.
- B) Número de moles de soluto contenidos en un litro de disolvente.
- C) Número de moles de disolvente contenidos en un litro de disolución.
- D) Número de moles de soluto contenidos en un litro de disolución.
- E) Número de moles de soluto contenidos en un mol de disolución.

1

2. Una de las siguientes afirmaciones es falsa:

- A) Una disolución saturada ya no admite más soluto.

- B) La ley de Henry se refiere a la solubilidad de gases en líquidos.
- C) Un disolvente siempre está en forma líquida.
- D) El descenso crioscópico de una disolución es proporcional a su molalidad.

2

3. 3,460 g de una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) se evapora hasta que se obtienen 0,914 g de producto seco. Si la solución saturada estaba a 15° C, la solubilidad del cloruro de sodio en agua a esta temperatura expresada en g soluto/100 g H<sub>2</sub>O:

- A) 3,59      B) 35,9      C) 26,4      D) 2,64      E) 20,9

3

4. Se pesan 6 g de clorato de potasio (KClO<sub>3</sub>) y se colocan en un tubo de ensayo limpio, se disuelven calentándolos con 20 cm<sup>3</sup> de agua. A continuación se enfría agitando continuamente y se observa que se empiezan a formar cristales a 56° C. La solubilidad del clorato de potasio en agua a esta temperatura es de:

- A) 6 g/ℓ      B) 600 g/ℓ      C) 300 g/ℓ      D) 150 g/ℓ

4

5. Una disolución saturada es:

- A) La que contiene mucho soluto.
- B) La que contiene mucho disolvente.
- C) La que contiene la mayor cantidad de soluto disuelto y éste está en equilibrio con el mismo sólido del soluto sin disolver.
- D) Una disolución cuyo soluto es sólido.
- E) Una disolución que tiene más soluto que disolvente.

5

6. La fracción molar del soluto en una disolución es:
- A) La relación entre los moles de soluto y de disolvente.
  - B) La relación entre los moles de disolvente y el número total de moles presentes.
  - C) La relación entre moles de disolvente y de soluto.
  - D) La relación entre moles de soluto y el número total de moles presentes.
  - E) Número de moles de soluto por kilogramo de disolución.

6

7. Normalidad es:
- A) Moles de soluto en kilogramo de disolvente.
  - B) Moles de soluto por litro de disolución.
  - C) Moles de soluto partido por el número de moles de soluto y de disolvente.
  - D) Equivalentes-gramo por litro de disolvente.
  - E) Equivalentes-gramo por litro de disolución.

7

8. El aire no contaminado es un ejemplo de disolución entre:
- A) Sólido-sólido.
  - B) Sólido gas.
  - C) Líquido-gas.
  - D) Gas-gas.
  - E) Sólido-líquido.

8

9. Cuando se añade agua sobre aceite y se agita, se mezcla todo, pero al poco rato podemos decir que:

- A) El aceite queda en el fondo del recipiente y el agua sobrenada.
- B) El agua y el aceite son totalmente miscibles.
- C) El agua y el aceite son prácticamente inmiscibles formando dos capas.
- D) Forman una mezcla homogénea.

9

10. El agua de mar necesita una temperatura inferior a los cero grados centígrados para que se congele. Esto se explica:

- A) Porque las aguas marinas tienen más temperatura que las aguas continentales.
- B) Porque el agua de mar tiene un punto de fusión fijo inferior al del agua pura.
- C) Porque la sal disuelta hace disminuir el punto de congelación.
- D) Porque la constante crioscópica del agua es menor que la del naftaleno.

10

11. Necesitamos fabricar un «anticongelante» para un automóvil en una región que en invierno se alcanzan temperaturas de hasta  $-10^{\circ}\text{C}$ . Sabemos que la constante crioscópica del agua es  $1,85^{\circ}\text{C/molal}$  y disponemos de un sólido muy soluble A en agua de masa molecular  $40\text{ g/mol}$ . Por cada litro de agua habrá que añadir:

- A) 40 g de A
- B) 200 g de A
- C) 216 g de A
- D) 210 g de A
- E) 432 g de A

11

12. Al fundir una cantidad de alcanfor (50 g) cae en él una sustancia que sospechamos que es naftaleno de masa molecular 128. Para comprobarlo hacemos todas las operaciones que se indican a continuación MENOS UNA, que es innecesaria:
- A) Pesamos de nuevo el alcanfor para saber por diferencia la masa de sustancia añadida.
  - B) Comprobamos su punto de fusión y vemos su diferencia con el valor aceptado en las tablas para el alcanfor.
  - C) Calculamos la cantidad de naftaleno supuesta a partir de la ley de Raoult que produciría el mismo descenso que en B).
  - D) Comprobamos si este peso coincide con la diferencia apreciada en A).
  - E) Averiguamos la fórmula del naftaleno para saber su masa molecular.

12

13. Un investigador acaba de preparar una nueva sustancia orgánica cristalina, investiga sus propiedades y descubre que es soluble en agua. Para determinar su masa molecular disuelve 25 gramos de esta sustancia X en 100 de agua y determina con un termómetro muy preciso el punto de ebullición, que resulta ser  $101,25^{\circ}\text{C}$ . A partir de estos datos sabe, por cálculos, que la masa molecular de X es:

- A) 52
- B) 111
- C) 104
- D) 94
- E) 208

13

NOTA.—Constante ebulloscópica del agua  $0,52^{\circ}\text{C/molal}$ .

14. Si llenamos un vaso con coca-cola u otra bebida carbónica, podremos observar que se forman burbujas que si esperamos el tiempo suficiente desaparecen, entonces:

- A) Ya no queda nada de gas carbónico disuelto en la bebida.
- B) Queda en la bebida gas disuelto, pero en una cantidad proporcional a la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.
- C) Al desprenderse el gas carbónico se ha conseguido una sobresaturación de la solución acuosa que estaba saturada.
- D) En este caso no se cumple la ley de Henry.

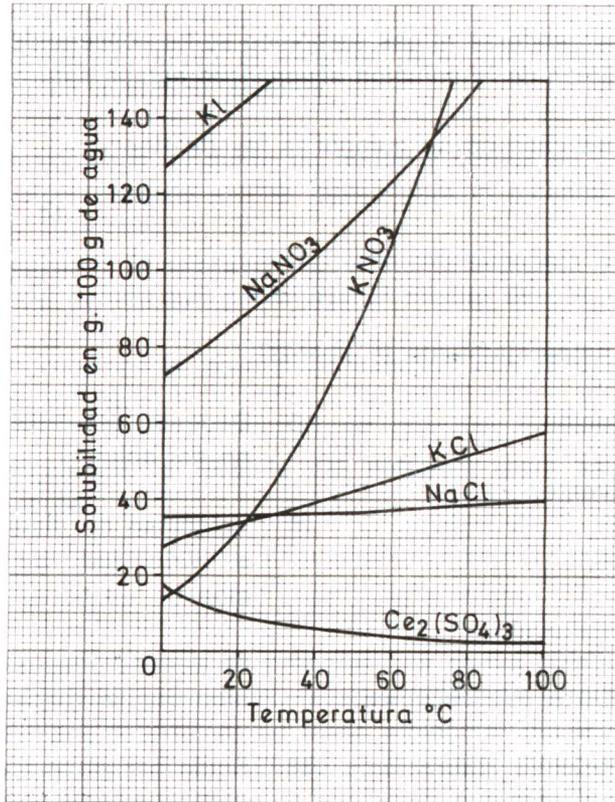
14

● **Ejercicio de emparejamiento** (6 puntos):

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| A) Disolución.               | 15. Depende del disolvente, pero no del soluto (    )                                |
| B) Disolvente.               | 16. Velocidad de disolución igual a velocidad de cristalización (    )               |
| C) Solute.                   | 17. Si tiene el mismo estado físico que la disolución (    )                         |
| D) Concentración.            | 18. Suele ser el componente menos abundante (    )                                   |
| E) Constante ebulloscópica.  | 19. Mezcla homogénea (    )  |
| F) Equilibrio de saturación. | 20. Cantidad relativa de soluto frente al disolvente o frente a la disolución (    ) |

● **Interpretación de gráficas** (10 puntos):

La gráfica adjunta contiene gran cantidad de datos, que una lectura cuidadosa permite descubrir.



21. ¿Cuál es la concentración del nitrato de potasio a 10° C? .....
22. ¿A qué temperatura tiene la misma solubilidad en g por 100 g de agua el cloruro de sodio y el cloruro de potasio (aproximada)? .....
23. ¿Cuál es la concentración molal de estas dos disoluciones a dicha temperatura? .....
24. Si se enfría una solución saturada de nitrato de potasio de 60° C a 20° C, ¿qué masa de cristales se formarán por cada 100 g de agua disolvente? .....

25. Si disolvemos 100 g de yoduro potásico en 100 g de agua, ¿la solución formada será saturada? .....
26. ¿Cuál de las sustancias que aparecen en el gráfico presentan una variación mayor de solubilidad con la temperatura? .....
27. Si disolvemos 10 g de sulfato de cerio en 100 g de agua a 15° C la solución formada, ¿será diluida, concentrada o sobresaturada? .....  
.....
28. Si la solución de sulfato de cerio anterior la calentamos, ¿qué ocurrirá? .....
29. Tenemos una solución saturada de nitrato de potasio a 70° C, que contiene como impurezas cloruro de sodio en la proporción aproximada de 10 g por 100 g de agua; si enfriamos dicha disolución a 30° C, ¿se formarán cristales de nitrato potásico y cloruro sódico juntos? .....
30. ¿Puede esto ser un modo de purificar el nitrato de potasio? .....  
.....

## 27.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Cuestiones de opción única

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. D | 6. D  | 11. C |
| 2. C | 7. E  | 12. E |
| 3. B | 8. D  | 13. C |
| 4. C | 9. C  | 14. B |
| 5. C | 10. C |       |

### ● Ejercicios de emparejamiento

15. E
16. F
17. B
18. C
19. A
20. D

### ● Interpretación de gráficas

21. Aproximadamente 22 g de  $\text{KNO}_3$  en 100 g de agua
22.  $32^\circ \text{C}$
23. 4,90 y 6,24
24.  $110 - 33 = 77 \text{ g}$
25. No
26.  $\text{KNO}_3$

27. Concentrada
28. Precipitarán cristales de sulfato de cerio, pues se insolubiliza con el aumento de temperatura.
29. No, sólo de  $\text{KNO}_3$
30. Sí

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 30 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 22 puntos.*





## TEMA 28

### OBJETIVOS

- Describir los efectos del paso de la corriente eléctrica a través de las disoluciones.
- Enunciar la ley de Faraday.
- Aplicar la ley de Faraday a la resolución de ejercicios numerados.

## Disoluciones conductoras

### INDICE

#### 28.1. CONTENIDOS BASICOS

#### 28.2. ORIENTACIONES

#### 28.3. CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

#### 28.4. EXPERIMENTOS CASIPOS

##### 28.4.1. Experimento 1

##### 28.4.2. Experimento 2

#### 28.5. EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

#### 28.6. SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION



**OBJETIVOS**

- Describir los efectos del paso de la corriente eléctrica a través de las disoluciones.
- Enunciar la ley de Faraday.
- Aplicar la ley de Faraday a la resolución de ejercicios numéricos.

**INDICE**

- 28.1 CONTENIDOS BASICOS
- 28.2 ORIENTACIONES
- 28.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 28.4 EXPERIMENTOS CASEROS
  - 28.4.1 Experimento 1.º
  - 28.4.2 Experimento 2.º
- 28.5 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 28.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 28.1 CONTENIDOS BASICOS

- Disolución conductora (T).
- Cuba electrolítica o voltámetro (T, D).
- Anodo y cátodo (T, D).
- Electrolito (T, D).
- Electrolisis (T, D).
- Electrolisis de sales fundidas (T).
- Electrolisis de sal común disuelta en agua (T).
- Electrolisis del agua (T).
- Electrolisis de una sal con ánodo soluble (T).
- Ley de Faraday (T).
- Unidad natural de carga eléctrica: el electrón (T).
- Unidad química de carga: el Faraday como mol de electrones (T).
- Teoría de la ionización de Arrhenius (T).
- Disociación electrolítica (T).
- Iones: cationes y aniones (T).

## 28.2 ORIENTACIONES

### ● Acerca de la electrolisis

La conductividad eléctrica a través de las disoluciones de electrolitos se hace posible debido a la existencia de iones en el seno de la

disolución. Estos iones son de dos tipos, los positivos, o cationes, y los negativos, o aniones.

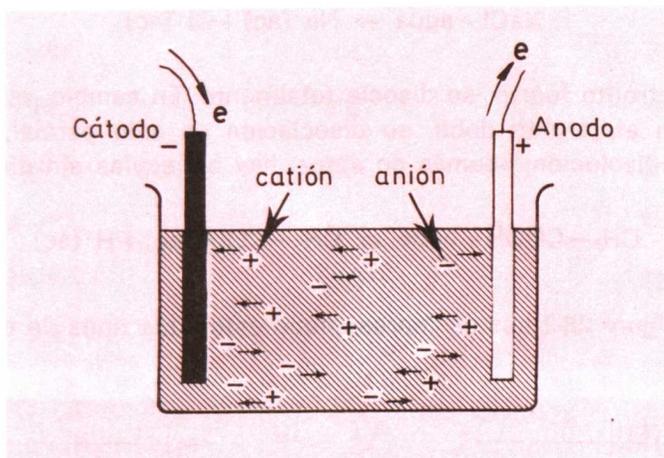


FIG. 28-1

En la figura 28-1 tienes una representación esquemática de los iones, por medio de cargas positivas y negativas. A través de la cuba electroquímica de la figura pasa la corriente, entonces los aniones cargados negativamente, se dirigen al polo positivo (ánodo), mientras que los cationes se dirigen al polo negativo (cátodo) (ver sentido de las flechas en la figura). Por tanto, dentro de la disolución hay un movimiento de iones que permite el paso de la corriente eléctrica, ya que ellos son los transportadores de las cargas eléctricas. Los aniones en el ánodo *ceden* los electrones en exceso, a los que deben su carga negativa. Los cationes en el cátodo *reciben* los electrones que tienen en defecto, causa de su carga positiva.

Los iones son átomos o grupos de átomos, cargados eléctricamente, por ejemplo:

ión cloro  $\text{Cl}^-$

$\text{OH}^-$  ión hidróxido

ión sodio  $\text{Na}^+$

$\text{SO}_4^{2-}$  ión sulfato

ión potasio  $\text{K}^+$

$\text{NH}_4^+$  ión amonio

Los compuestos químicos que en disolución acuosa se disocian en iones pueden hacerlo de dos formas: completamente disociados o sólo

parcialmente; los primeros son electrolitos fuertes, los segundos débiles. Por ejemplo:



es un electrolito fuerte, se disocia totalmente. En cambio, el ácido acético es un electrolito débil, su disociación es sólo parcial, de forma que en la disolución, además de iones, hay moléculas sin disociar:



En la figura 28-2 hemos representado estos dos tipos de electrolitos.

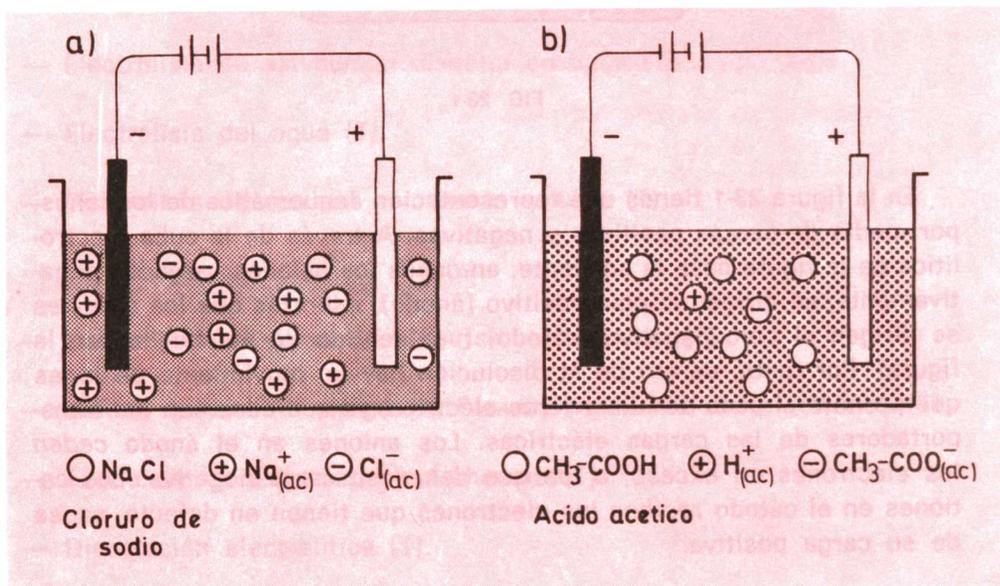


FIG. 28-2

### 28.3 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

#### ● Cuestión 1

a) GRUPO DE ACIDOS. Siempre dan iones  $\text{H}^+$

Sustancia	Anión	Catión
HCl	Cl <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>
HBr	Br <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>
HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2H <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3H <sup>+</sup>
HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>
HF	F <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>

b) GRUPO DE BASES. Siempre dan iones OH<sup>-</sup>

Sustancia	Anión	Catión
NaOH	OH <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>
KOH	OH <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>
Ba(OH) <sub>2</sub>	2OH <sup>-</sup>	Ba <sup>2+</sup>
Ca(OH) <sub>2</sub>	2OH <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>

c) GRUPO DE SALES. Dan iones iguales al anión del ácido y al catión de la base, de donde proceden.

Sustancia	Anión	Catión
NaCl	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>
KI	I <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>
AgNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup>
Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2Na <sup>+</sup>
MgSO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2Al <sup>3+</sup>
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3K <sup>+</sup>

Observa que el número de cargas positivas y negativas es el mismo.



d) GRUPO MIXTO (ten en cuenta las observaciones anteriores).

Sustancia	Anión	Catión
$K_2S$	$S^{2-}$	$2K^+$
$HI$	$I^-$	$H^+$
$H_2CO_3$	$CO_3^{2-}$	$2H^+$
$Zn(NO_3)_2$	$2NO_3^-$	$Zn^{2+}$
$NiSO_4$	$SO_4^{2-}$	$Ni^{2+}$
$Fe_2(SO_4)_3$	$3SO_4^{2-}$	$2Fe^{3+}$

### ● Cuestión 2

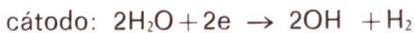
a) La sal  $ZnCl_2$  se disocia en iones:



Los aniones van al ánodo (polo positivo) y los cationes, al cátodo (polo negativo).



b)  $KI \rightarrow I^- + K^+$



El hecho de que no se deposite el metal en el cátodo es debido a que resulta más fácil el desprendimiento de hidrógeno. Fíjate en el apartado 1.4 del texto.

c) Disociación del hidróxido:  $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

ánodo:  $2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{e} + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$

cátodo: el sodio es un metal de difícil depósito, por cuya razón en el cátodo se desprende hidrógeno, según:

cátodo:  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$

d) Disolución de  $\text{AgNO}_3$

$\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$

ánodo: este es un caso de electrolisis con ánodo soluble (lee el apartado 1.6 del texto), entonces:

$\text{Ag} \rightarrow \text{e} + \text{Ag}^+$

cátodo:  $\text{Ag}^+ + \text{e} \rightarrow \text{Ag}$

### ● Problema 3

a) Un faraday es la cantidad de electricidad que deposita o desprende el equivalente gramo de cualquier elemento.

$$\text{equiv. gramo} = \frac{\text{átomo gramo}}{\text{carga del ión}}$$

Repasa el apartado 2.2 del libro de texto (página 260).

$$\text{para el Na} \rightarrow \text{equiv. g} = \frac{23}{1} \text{ g}$$

$$\text{para el Mg} \rightarrow \text{equiv. g} = \frac{24}{2} \text{ g} = 12 \text{ g}$$

$$\text{para el Al} \rightarrow \text{equiv. g} = \frac{27}{3} \text{ g} = 9 \text{ g}$$

Por tanto las cantidades depositadas al paso de 96 500 C son: 23 g de Na; 12 g de Mg y 9 g de Al.

- b) La electrolisis del sodio es la que consume menos energía eléctrica, ya que es el que se deposita en mayor proporción. Si 96 500 C depositan 23 g de Na, 12 g de Mg y 9 g de Al, para 1 g de cada metal hará falta, respectivamente:

$$\frac{96\,500}{23} ; \quad \frac{96\,500}{12} ; \quad \frac{96\,500}{9}$$

Vemos que entre sí guardan la relación:

$$\frac{96\,500}{23} < \frac{96\,500}{12} < \frac{96\,500}{9}$$

#### ● Problema 4

- a) Con un faraday (96 500 C) se depositará el equivalente gramo del aluminio:

$$m = \text{equiv.-gramo} = \frac{27,0}{3} = 9,0 \text{ g}$$

- b) Con un culombio, se deposita:

$$\frac{96\,500 \text{ C}}{1 \text{ C}} = \frac{\text{equiv.-gramo}}{\epsilon}$$

$$\epsilon = \frac{\text{equiv.-gramo}}{96\,500} = \frac{9,0}{96\,500} = 9,3 \cdot 10^{-5} \text{ g/C}$$

a  $\epsilon$  se le da el nombre de equivalente electroquímico.

- c) Dado que  $q = I t$  (mira la página 173 del libro de texto, apartado 2.2)

$$m = \epsilon q = \epsilon I t$$

$$m = 9,3 \cdot 10^{-5} \text{ g/C} \cdot 48\,000 \text{ C} = 4,5 \text{ g}$$

Ten en cuenta que:

$$t = 1 \text{ hora } 40 \text{ min} = 6\,000 \text{ s}$$

luego:

$$I t = q = 8 \text{ A} \cdot 6\,000 \text{ s} = 4,8 \cdot 10^4 \text{ C}$$

● Problema 5

Recuerda que un equivalente-gramo de cualquier sustancia necesita 96 500 C para depositarse o desprenderse.

1 equivalente-gramo de Ag = 108 g

$$\frac{96\,500\text{ C}}{108\text{ g Ag}} = \frac{q}{19,0\text{ g Ag}} \quad q = \frac{96\,500\text{ C} \cdot 19,0\text{ g}}{108\text{ g}} = 1,70 \cdot 10^4\text{ C}$$

como:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{1,70 \cdot 10^4\text{ C}}{3\,600\text{ s}} = 4,7\text{ A}$$

● Problema 6

a) Cantidad de electricidad =  $q = I t$

$$q = 1,50\text{ A} (45 \times 60)\text{ s} = 4,05 \cdot 10^3\text{ C}$$

b) Recuerda la ley de Faraday y que un equivalente-gramo de hidrógeno es 1 g (mejor 1,008 g):

$$\frac{9,65 \cdot 10^4\text{ C}}{1,008\text{ g}} = \frac{4,05 \cdot 10^3\text{ C}}{x}$$

$$x = \frac{1,008\text{ g} \cdot 4,05 \cdot 10^3\text{ C}}{9,65 \cdot 10^4\text{ C}} = 0,042\text{ g}$$

c) Un mol en condiciones normales de cualquier gas ocupa el volumen molar normal = 22,4 ℓ (mira la página 235 del libro de texto, apartado 3.1).

El número de moles a que equivalen  $m$  gramos será:

$$n = \frac{m}{M} ; \quad \text{por tanto } n = \frac{0,042}{2}$$

donde la masa molecular del hidrógeno es  $M = 2$ .

Entonces el volumen que le corresponde será:

$$V = \frac{0,042}{2} \text{ moles} \cdot 22,4 \text{ } \ell / \text{mol} = 0,47 \text{ } \ell$$

d) Dado que:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0} \quad (\text{pág. 235 del texto, apartado 3.2 b})$$

$$\frac{760 \cdot 0,47}{273} = \frac{700 \cdot V}{(273+27)}$$

de donde:

$$V = 0,56 \text{ } \ell$$

El punto d) podemos resolverlo también aplicando la ecuación  $PV = nRT$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

donde:

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$P = 700 \text{ mm de Hg} = \frac{700}{760} \text{ atm}$$

Vamos a expresar la presión en unidades del SI, por tanto en  $\text{N/m}^2$

$$P = h d g$$

$$d = \text{densidad del mercurio} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ atm} = 0,760 \text{ m} \cdot 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{fijate que } \text{kg m/s}^2 = \text{N}$$

Entonces la presión será:

$$P = \frac{700}{760} \text{ at} \cdot 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \text{ at} = 9,30 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

luego:

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{\left(\frac{0,042}{2}\right) \text{ moles} \cdot 8,31 \text{ J/mol} \cdot 300 \text{ K}}{9,30 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2}$$

nos quedan las dimensiones:

$$\frac{\text{J}}{\text{N/m}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N/m}^2} = \text{m}^3$$

$$V = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

### ● Problema 7

En primer lugar, calcularemos las masas de  $\text{H}_2$  y de  $\text{O}_2$ , que se obtienen en la electrolisis:

$$m_{\text{H}_2} = \varepsilon_{\text{H}_2} I \cdot t$$

donde  $\varepsilon_{\text{H}_2}$  = equivalente electroquímico del hidrógeno:

$$\frac{\text{equiv.-gramo}}{1 \cdot 96\,500}$$

$$I = 2,0 \text{ A}$$

$$t = 1 \text{ hora} = 3\,600 \text{ s}$$

$$m_{\text{H}_2} = \frac{1}{96\,500} \cdot 2,0 \cdot 3\,600 = 0,075 \text{ g}$$

Igualmente para el oxígeno:

$$m_{\text{O}_2} = \varepsilon_{\text{O}_2} I t = \frac{16,0}{2 \cdot 96\,500} \cdot 2 \cdot 3\,600 = 0,597 \text{ g}$$

Veamos estas masas. ¿Cuál es el volumen que les corresponde, en condiciones normales?:

$$\text{Para el H}_2 \rightarrow v = nV \quad \text{donde} \quad V = 22,4 \text{ } \ell$$

$n = \text{número moles} = m/M$

$$n_{\text{H}_2} = \frac{0,075 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 0,038 \text{ mol}$$

$$v_{\text{H}_2} = 0,038 \text{ mol} \times 22,4 \text{ } \ell/\text{mol} = 0,85 \text{ } \ell$$

$$\text{Para el O}_2 \rightarrow n_{\text{O}_2} = \frac{0,597 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 0,019 \text{ mol}$$

$$v_{\text{O}_2} = 0,019 \text{ mol} \times 22,4 \text{ } \ell/\text{mol} = 0,43 \text{ } \ell$$

Volumen de la mezcla en condiciones normales:

$$v_{\text{H}_2} + v_{\text{O}_2} = 0,85 + 0,43 = 1,28 \text{ } \ell$$

Por tanto, este volumen, medido a 15° C y 760 mm de presión equivaldría a un volumen  $V$ , tal que:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} ; \quad V = \frac{V_0 T}{T_0} = \frac{1,28 \cdot 288}{273} = 1,35 \text{ } \ell$$

### ● Problema 8

a) Si no hubiera disociación se cumpliría:

$$\Delta t = K_c \cdot c ; \quad K_c \text{ para el H}_2\text{O} = 1,85^\circ \text{ C/molal}$$

mira la página 254 del libro de texto

$$c = \text{concentr. molal} = \frac{\text{moles soluto}}{\text{kg disolvente}}$$

Masa molecular del NaCl = 58,5

$$c = \frac{1,195 \text{ g}}{58,5 \text{ g/mol} \cdot 0,1 \text{ kg de H}_2\text{O}} = 0,204 \text{ mol/kg}$$

$$\Delta t = K_c \cdot c = 1,85 \cdot 0,204 = 0,377^\circ \text{ C}$$

$$\text{luego } t = -0,377^\circ \text{ C}$$

- b) Si la disociación es total:  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ; por cada mol de sustancia se producen 2 moles de iones, por tanto, como es doble el número de moles, daría una molalidad doble:  $c = 2 \cdot 0,204$ , y como consecuencia el descenso del punto de congelación también sería doble:

$$t' = 2 \cdot 0,377 = 0,754^\circ \text{C}$$

- c) La respuesta está implícita en el apartado b), ya que hemos supuesto que por cada mol de sustancia se producen 2 moles de iones, la relación debe ser 2.

## 28.4 EXPERIMENTOS CASEROS

### 28.4.1 Experimento 1.º

#### MATERIAL

- Una pila de 4,5 V (de las llamadas de petaca).
- Una bombilla de 3,5 V con su portalámparas.
- Dos electrodos de grafito (utiliza los que conseguiste en el experimento de la pila, apartado 19.4.1 del tema 19 del Documento 31/2).
- Una taza de café o un vaso pequeño.
- Diversas soluciones líquidas (ver más adelante).

#### OBJETIVO DE LA EXPERIENCIA

Se trata de investigar el comportamiento de diversos líquidos al paso de la corriente para ver si son capaces de conducir la corriente eléctrica. Entre los muchos que puedes conseguir fácilmente, te sugerimos:

Agua del grifo.

Disolución saturada de agua con sal común.

Disolución saturada de agua con azúcar.

Disolución saturada de agua con bicarbonato.

Disolución de agua con detergente (puedes ensayar con varias marcas).

Jugo de limón.

Agua de colonia.

Alcohol.

Líquidos de limpieza.

Disolución en agua de los polvos negros que sacaste en el experimento de la pila (tema 19).

#### MONTAJE

Con el fin de que trabajes con comodidad, lo primero que debes hacer es tomar una tabla de madera delgada o una cartulina, en la que vas a insertar los dos electrodos de grafito tal como te indicamos en la

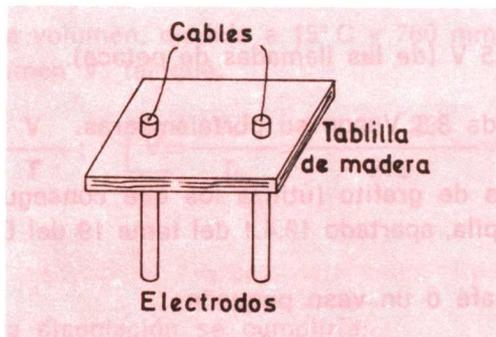
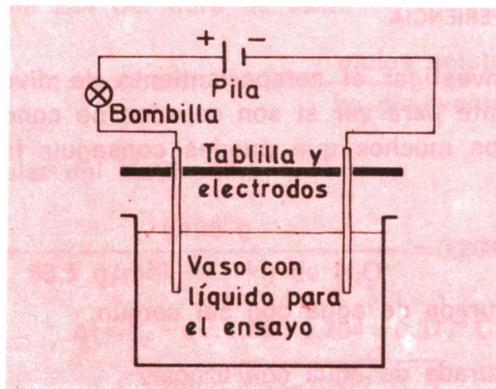


figura adjunta. Completas el montaje de la pila y la bombilla, según el esquema también adjunto:



FORMA DE OPERAR

Una vez montado el circuito de la figura, introduces en el vaso uno de los líquidos que vayas a ensayar. Observa y anota si la bombilla se enciende y también si en los electrodos de grafito hay desprendimiento de burbujas o depósitos de sólido.

Cada vez que cambies de líquido, limpia cuidadosamente el vaso y los electrodos y sécalos con un trapo.

Los resultados que obtengas los recoges anotados en la tabla siguiente:

Nombre del líquido	la bombilla				En los electrodos ocurre
	se enciende	luce mucho	luce poco	no enciende	

CUESTIONES A RESPONDER

¿Qué líquidos son buenos conductores? .....

¿En qué líquidos se producen efectos de electrolisis? .....

¿Qué podrías decir sobre la naturaleza de los líquidos que conducen la corriente? .....

¿Son conductores los líquidos que tienen fenómenos en los electrodos y en cambio no encienden la bombillita? .....

¿Podrías explicar tu respuesta? .....

¿Qué líquidos ni encienden la bombillita ni parecen tener fenómenos en los electrodos? .....

¿Qué podrías decir acerca de su naturaleza química? .....

## 28.4.2 Experimento 2.º

### MATERIAL

- Una pila tipo «petaca» de 4,5 V.
- Una bombilla tipo miniatura de 3,5 V.
- Un soporte para la bombilla.
- Dos electrodos de grafito (ya sabes que los puedes obtener de pilas gastadas).
- Hilo conductor para el circuito eléctrico.
- Vaso.
- Sal de cocina.
- Sulfato de cobre (II), este producto lo venden en las droguerías.

### OBJETIVO

Se trata de investigar lo más detalladamente posible la electrolisis de disoluciones de cloruro de sodio y de sulfato de cobre (II).

### PROCEDIMIENTO

El montaje de este experimento es exactamente el mismo que has hecho en el experimento sobre conductividad de las disoluciones.

- 1) En el vaso pones una *disolución preparada con agua y cloruro de sodio* (sal de cocina). [Repasa los apartados 1.4 y 1.6 (pág. 259) del libro de texto.]

Haz pasar la corriente eléctrica, observando atentamente los electrodos.

Con lo leído en el libro de texto y lo que has observado trata de contestar a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué iones hay en la disolución antes de efectuar la electrolisis?

- b) ¿Qué gas se desprende en el ánodo?
- c) ¿Qué gas se desprende en el cátodo?
- d) ¿A qué gas se debe el olor del vaso que se nota durante la electrolisis?
- e) ¿Sabes cuál es la razón de utilizar pilas y no corriente eléctrica alterna?
- f) ¿Se gasta la pila eléctrica durante el proceso de la electrolisis?
- g) ¿Qué nuevas sustancias químicas se han formado durante la electrolisis?

## 2) *Electrolisis del sulfato de cobre (II)*

Disuelve una cierta cantidad del producto químico en agua, hasta obtener una disolución de color azul intenso. Coloca la disolución en el vaso y procede a realizar la electrolisis como en el caso anterior.

Contesta a las siguientes preguntas:

¿Qué iones hay en una disolución de sulfato de cobre (II)?

¿A qué se debe el color que adquiere uno de los electrodos después de la electrolisis?

¿Qué electrodo es éste?



C)  $\text{Ca} : \text{Na} = 23 \times 96\,500 : 40$

D)  $\text{Ca} : \text{Na} = 40 : 96\,500$

E)  $\text{Ca} : \text{Na} = 20 : 23$

3

4. Para depositar electrolíticamente 10 g de Ca se precisan ( $\text{Ca} = 40$ ):

A) 1 faraday

C)  $10 \cdot 96\,500/40 \cdot 2 \text{ C}$

B)  $96\,500 : 2$

D)  $10 \cdot 96\,500/40 \text{ C}$

4

5. Se han depositado en una cuba electrolítica 104 g de Cr, a partir de una sal de  $\text{Cr}^{3+}$ , luego la cantidad de corriente empleada es de ( $\text{Cr} = 52$ ):

A) 193 000 C

D) 298 500 C

B) 96 500 C

E) 597 000 C

C) 144 750 C

5

6. Para obtener 44,8 litros de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) en CN, a partir de la electrolisis del agua acidulada, se precisa de una cantidad de electricidad igual a:

A) 386 000 C

D) 772 000 C

B) 96 500 C

E) 154 400 C

C) 193 000 C

6

7. Se tiene una disolución acuosa de NaCl que congela a temperatura inferior a la que cabía esperar por su concentración; esto se explica:
- A) Porque en disolución existen átomos y no moléculas de NaCl.
  - B) Porque en disolución hay iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  y moléculas de NaCl.
  - C) Porque el NaCl está disociado en iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ .
  - D) No es verdad que congele a temperatura inferior a la que se calcula por la ley de Raoult.

7

8. De las siguientes sustancias, NO son conductoras en disolución acuosa:

- A) Los ácidos.
- B) El hidróxido de sodio.
- C) El cloruro de potasio.
- D) La glicerina.
- E) Los electrolitos.

8

9. Dada la siguiente lista de sustancias: alcohol, cloruro de sodio, azúcar, sulfato de cobre, son electrolitos:

- A) El alcohol y el azúcar.
- B) El sulfato de cobre y el azúcar.
- C) La glicerina y el cloruro de sodio.
- D) El cloruro de sodio y el sulfato de cobre.

9

10. En la electrolisis tienen lugar los siguientes procesos:

- A) El cátodo cede electrones y el ánodo gana electrones.

- B) El cátodo gana electrones y el ánodo gana electrones.
- C) El cátodo gana electrones y el ánodo cede electrones.
- D) El cátodo cede electrones y el ánodo cede electrones.
- E) Ni el ánodo ni el cátodo ceden ni ganan electrones.

10

11. Un mol de electrones es la cantidad de electricidad necesaria para producir:

- A) Un átomo de plata.
- B) Un número de Avogadro de átomos de plata a partir de una disolución que contiene  $\text{Ag}^+$ .
- C) Un mol de átomos de Pb a partir de una disolución que contiene  $\text{Pb}^{2+}(\text{ac})$ .
- D) Dos g de hidrógeno.
- E) Una molécula de hidrógeno.

11

12. El número de Avogadro coincide con el número de partículas contenidas en:

- A) Un amperio.
- B) Un culombio.
- C) Un mol de electrones.
- D) Un átomo.
- E) Equivalente electroquímico.

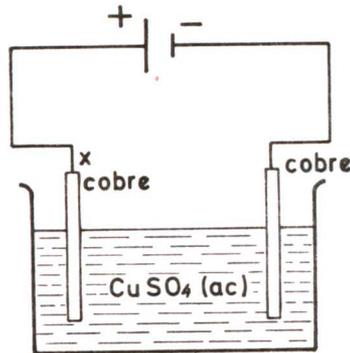
12

13. Un electrolito queda mejor definido diciendo que:

- A) Conduce la electricidad.
- B) Genera electricidad.
- C) Siempre pasa electricidad a su través.
- D) Conduce electricidad cuando está fundido.
- E) Conduce la electricidad y se descompone.

13

14. En la electrolisis que se muestra en el diagrama, ¿qué ecuación representa la reacción junto al electrodo X?



- A)  $\text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{e} = \text{Cu}(\text{s})$
- B)  $\text{Cu}(\text{s}) = \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}$
- C)  $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4(\text{ac}) + 1/2 \text{O}_2 + 2 \text{e}$
- D)  $2 \text{H}^+ + 2 \text{e} = \text{H}_2(\text{g})$

14

15. ¿Cuál de las siguientes frases define mejor un cátodo?

- A) Es un electrodo cargado negativamente.

- B) Es el electrodo en el que se verifica una reducción.
- C) Es el electrodo cargado positivamente.
- D) Es el electrodo por el que se desprende el hidrógeno.
- E) Es un electrodo por el que se desprende el oxígeno.

15

16. Cuando una corriente de 0,1 A pasa a través de un electrolito durante 1,25 horas la cantidad de electricidad en culombios es de:
- A) 0,125      B) 0,1      C) 125      D) 450      E) 4 500

16

● **Ejercicios de completar** (5 puntos):

Completa las siguientes reacciones electródicas:

- 17.  $\text{Ag}^+(\text{ac}) + 1 \text{ e} = \dots\dots\dots$
- 18.  $\text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$
- 19.  $\dots\dots\dots + 3 \text{ e} = \text{Al}(\text{s})$
- 20.  $\dots\dots\dots + 4 \dots\dots\dots = \text{Pb}(\text{s})$
- 21.  $\dots\dots\dots - 1 \text{ e} = \text{Cu}^+(\text{ac})$

● **Completar las siguientes frases** (4 puntos):

- 22. El recipiente que contiene la disolución que se va a electrolizar se llama ..... o .....
- 23. El electrodo que va unido al polo positivo se llama ....., y el que se une al negativo .....
- 24. El equivalente electroquímico es la masa depositada por un culom-

bio; luego el equivalente electroquímico del cobre se obtiene a partir de su masa atómica, su ..... y el Faraday, como datos.

25. El cociente Faraday/número de Avogadro corresponde a la carga del .....

## 28.6 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Cuestiones de opción única

- |      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1. D | 7. C  | 12. C |
| 2. D | 8. D  | 13. E |
| 3. E | 9. D  | 14. B |
| 4. B | 10. E | 15. B |
| 5. E | 11. B | 16. D |
| 6. A |       |       |

### ● Ejercicios de completar

17. Ag
18. 2 e, Cu
19. Al<sup>3+</sup>
20. Pb<sup>4+</sup>, e
21. Cu

### ● Completar las siguientes frases

22. cuba electrolítica o voltámetro
23. ánodo, cátodo
24. valencia
25. electrón

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 25 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 20 puntos.*



## TEMA 29

### OBJETIVOS

- Describir las partículas más constituyentes de la materia.
- Describir un modelo atómico. El modelo de Rutherford.
- Definir número atómico y número másico.
- Calcular composiciones isotópicas.

## Partículas elementales y modelo atómico de Rutherford

### INDICE

29.1 CONTENIDOS BASICOS

29.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

29.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

29.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION



**OBJETIVOS**

- Describir las partículas que constituyen el átomo.
- Describir un modelo atómico: El modelo de Rutherford.
- Definir número másico y número atómico.
- Calcular composiciones isotópicas.

**INDICE**

- 29.1 CONTENIDOS BASICOS
- 29.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 29.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 29.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

## 29.1 CONTENIDOS BASICOS

- Partículas elementales (T).
- Electrón (T).
- Neutrón (T).
- Rayos catódicos (T).
- Rayos positivos o canales (T).
- Experiencia de Rutherford (T).
- Modelo de átomo nuclear de Rutherford (T).
- Situación de las partículas elementales en el átomo (T).
- Núcleo atómico: dimensiones (T).
- Número atómico (T).
- Número másico (T).
- Elemento químico (T).
- Isótopo (T).

## 29.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

### ● Cuestión 1

Consulta el apartado 1.3 del texto, y también el apartado 1.4.

Interpreta cada uno de los dibujos correspondientes a la figura 29.1.

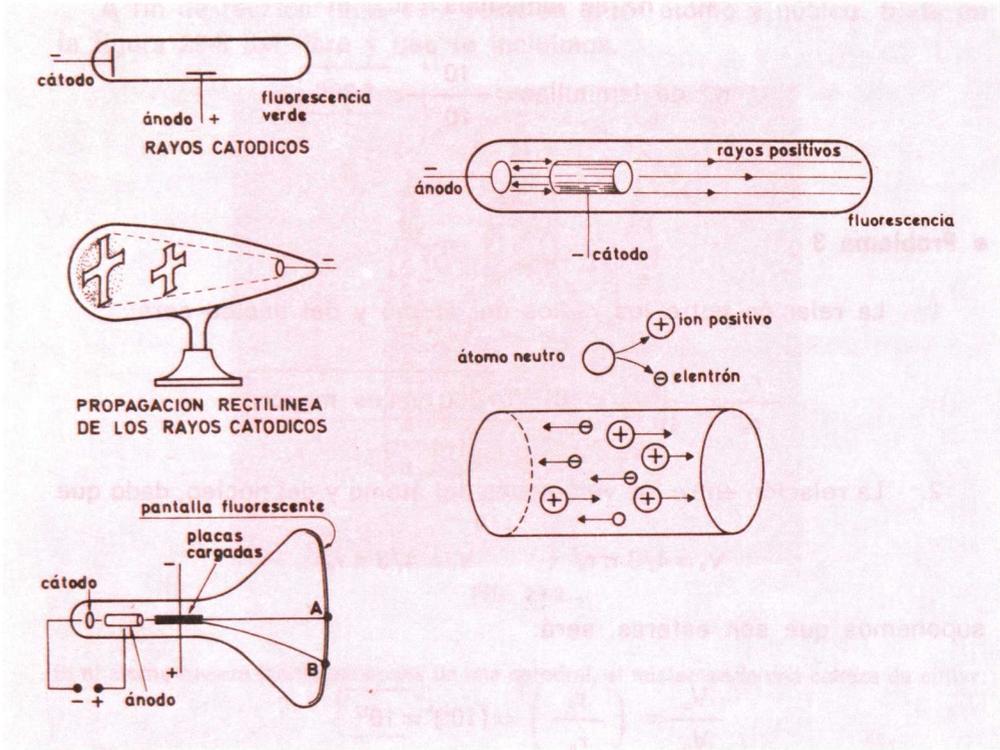


FIG. 29.1

● Problema 2

Puede que en principio te resulte difícil medir el espesor de la hoja de un libro. Sin embargo, puedes suponer que todas son iguales y puedes medir el espesor de todas con una regla y dividir por el número de ellas (éste es un método aproximado).

Nosotros hemos medido así, encontrando 20 mm las 386 páginas; luego el espesor de una hoja es, teniendo en cuenta que el número de hojas es la mitad que el de páginas:

$$\frac{20 \text{ mm}}{\frac{386}{2} \text{ páginas}} = 0,10 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m}$$

El espesor de cada laminilla de oro es  $10^{-7}$  m.

$$10^{-7} \text{ n.}^\circ \text{ de laminillas} = 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{n.}^\circ \text{ de laminillas} = \frac{10^{-4}}{10^{-7}} = 1\,000$$

### ● Problema 3

1.º La relación entre los radios del átomo y del núcleo será:

$$\frac{r_a}{r_n} = \frac{10^{-10}}{10^{-14}} = 10^4 = 10\,000 \text{ veces mayor}$$

2.º La relación entre los volúmenes del átomo y del núcleo, dado que

$$V_a = 4/3 \pi r_a^3 ; \quad V_n = 4/3 \pi r_n^3$$

suponemos que son esferas, será:

$$\frac{V_a}{V_n} = \left( \frac{r_a}{r_n} \right)^3 = (10^4)^3 = 10^{12}$$

3.º Si suponemos que el radio del núcleo es de 5 cm, o sea,  $5 \cdot 10^{-2}$  m, resulta que el  $r_{\text{átomo}}$  será 10 000 veces mayor:

$$\frac{r_a}{r_n} = 10^4 ; \quad r_a = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^4 = 500 \text{ m}$$

### ● Problema 4

La relación entre el radio del Sistema Solar y el radio del Sol es:

$$\frac{6 \cdot 10^{12} \text{ m}}{7 \cdot 10^8 \text{ m}} = \frac{6}{7} \cdot 10^4 \text{ m} = 8,6 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Por tanto, es ligeramente menor que la relación  $\frac{r_{\text{átomo}}}{r_{\text{núcleo}}}$ , pero pue-

den servir como elementos de comparación para que te hagas una idea de lo muy pequeño que es el núcleo respecto al átomo.

A fin de recalcar más esta relación entre átomo y núcleo, fíjate en la figura 29-8 del libro y que te incluimos.

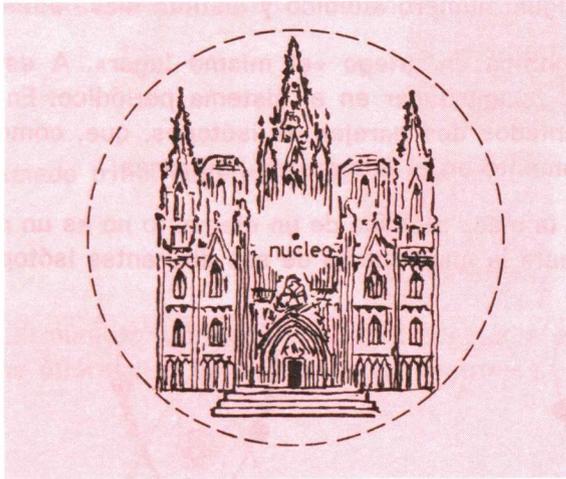


FIG. 29-2

Si el átomo tuviera las dimensiones de una catedral, el núcleo sería una cabeza de alfiler.

● **Problema 5**

El número de partículas difundidas en un determinado ángulo es proporcional al cuadrado de la carga del núcleo, carga que viene dada por el número de protones, y que es el número atómico del elemento. Por tanto, si el primero es el aluminio,  $Z=13$ , resulta:

$$\frac{2\,790}{35\,920} = \frac{13^2}{Z_x^2} ; \quad Z_x^2 = 13^2 \cdot \frac{35\,920}{2\,790}$$

$$Z_x = 46,6$$

El valor del número entero más próximo es 47, por tanto, el elemento sería la plata.

$$\frac{2\,790}{102\,810} = \frac{13^2}{Z_{x1}^2} ; \quad Z_{x1} = 79$$

El elemento correspondiente sería el oro.

● **Cuestión 6**

Hoy día ya no es correcta la definición de Dalton. Lo que verdaderamente caracteriza a los elementos químicos son los números atómicos, dado que se ha puesto de manifiesto la existencia de los isótopos, elementos de igual número atómico y distinta masa atómica.

Iso-topo significa en griego «el mismo lugar». A estos elementos corresponde el mismo lugar en el sistema periódico. En la figura 29-3 tienes representados dos parejas de isótopos, que, como ves, se diferencian simplemente en el número de neutrones.

En general, la masa atómica de un elemento no es un número entero, ya que representa la masa media de sus diferentes isótopos mezclados.

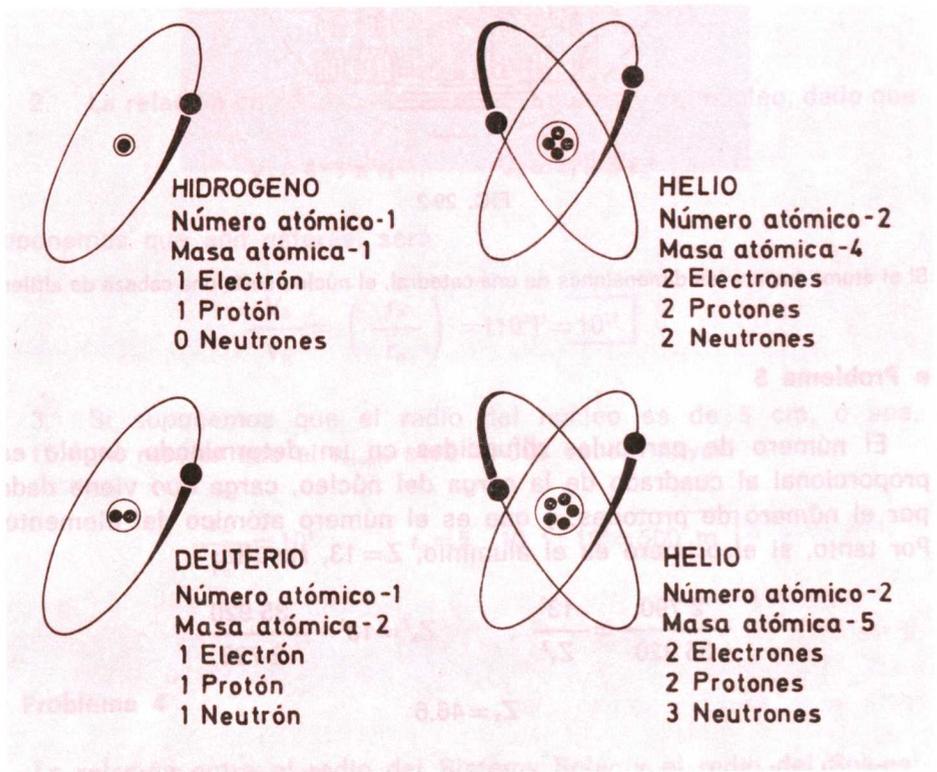


FIG. 29-3

● **Cuestión 7**

${}^1_1\text{H}$  es el hidrógeno normal o más frecuente.

Está constituido por

- 1 protón
- 1 electrón
- 0 neutrones

${}^2_1\text{H}$  es el llamado deuterio, constituido por

- 1 protón
- 1 electrón
- 1 neutrón

${}^3_1\text{H}$  es el llamado tritio, constituido por

- 1 protón
- 1 electrón
- 2 neutrones

Como ves, el número atómico permanece constante en los tres isótopos, y sólo se diferencian en el número de neutrones.

#### ● Cuestión 8

El boro,  ${}^{11}_5\text{B}$ , nos indica que su número atómico es 5 y su masa atómica 11. Entonces:

$$\text{Boro } Z = n.^{\circ} \text{ atómico} = n.^{\circ} \text{ protones} = n.^{\circ} \text{ electrones} = 5$$

$$A = n.^{\circ} \text{ másico} = n.^{\circ} \text{ protones} + n.^{\circ} \text{ neutrones} = 11$$

$$n.^{\circ} \text{ neutrones} = A - Z = 11 - 5 = 6 \text{ neutrones}$$

Igualmente, para el aluminio:  ${}^{27}_{13}\text{Al}$

$${}^{27}_{13}\text{Al}; Z = n.^{\circ} \text{ atómico} = n.^{\circ} \text{ protones} = n.^{\circ} \text{ electrones} = 13$$

$$A = 27 = n.^{\circ} \text{ p} + n.^{\circ} \text{ neutrones}$$

$$n.^{\circ} \text{ neutrones} = 27 - 13 = 14$$

Para el Au y el uranio debes hacerlo tú solo.

#### ● Problema 9

El dibujo de la figura 29-4 te pone de manifiesto el paralelismo existente entre una atracción gravitatoria y una atracción electrostática.

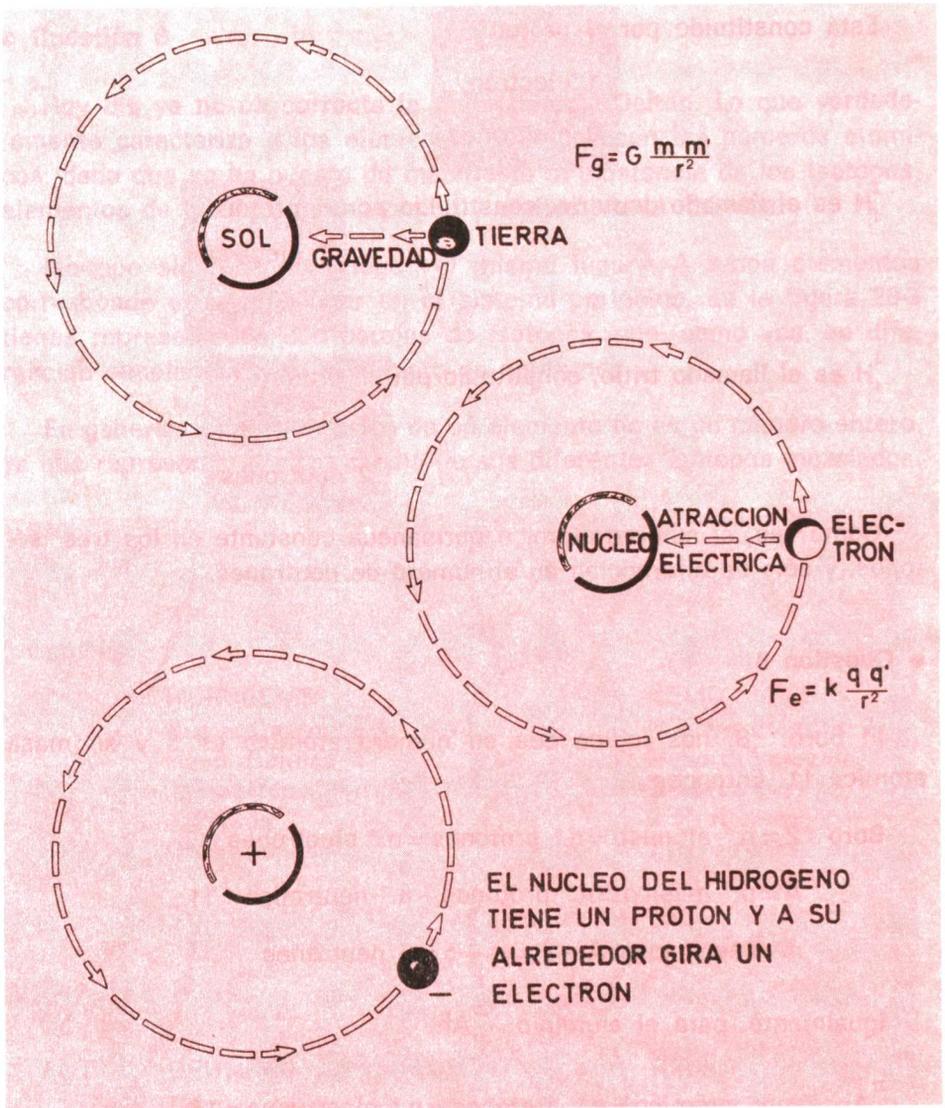


FIG. 29-4

La fuerza eléctrica entre un protón y un electrón, situados a una distancia de  $10^{-8}$  cm (mira el texto, página 163, apartado 3.1):

$$F_e = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \text{ C}^2}{10^{-20} \text{ m}^2} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

La fuerza gravitatoria sería:

$$F_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{10^{-20} \text{ m}^2} = 1,0 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

La relación entre la fuerza de atracción electrostática y la fuerza de atracción gravitatoria es:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{2,3 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{1,03 \cdot 10^{-47} \text{ N}} = 2,2 \cdot 10^{39}$$

La fuerza electrostática es, pues,  $2,2 \cdot 10^{39}$  veces mayor que la fuerza gravitatoria, lo que nos permite decir que es enormemente mayor la fuerza electrostática.

### ● Problema 10

Si  $x = \%$  del isótopo de masa atómica 6, e  $y = \%$  del isótopo de masa atómica 7, podemos establecer que:

$$x + y = 100$$

$$6x + 7y = 6,94 \cdot 100$$

Resolviendo el sistema, tendremos el tanto por ciento de cada isótopo en la mezcla:

$$6x + 7(100 - x) = 694$$

$$700 - 694 = x ; \quad x = 6 \%$$

$$y = 94 \%$$

### ● Problema 11

Fíjate que este problema es muy parecido al anterior:

$$68 + y = 100$$

$$63 \times 68 + 65y = M \cdot 100$$

$$63 \times 68 + 65(100 - 68) = 100M$$

$$M = 63,6$$

## 29.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

Para la realización de este ejercicio sigue las normas dadas en ejercicios anteriores.

### ● Ejercicios de completar

1. *Completa el cuadro siguiente (3 puntos):*

PARTICULAS ELEMENTALES DEL ATOMO

Nombre	Masa	Carga	Posición en el átomo
.....	1/1840	1-	corteza
protón	.....	.....	.....
neutrón	.....	.....	núcleo

2. *Completa el cuadro siguiente (4 puntos):*

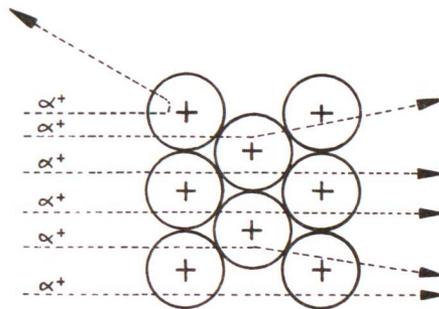
ISOTOPOS DEL OXIGENO

electrones	.....	.....	.....
protones	.....	.....	8
neutrones	.....	.....	10
notación simbólica	$^{16}_8\text{O}$	$^{17}_8\text{O}$	.....

*Completa las siguientes frases (9 puntos):*

3. Las descargas en gases a baja presión producen una luminosidad verde en la cara opuesta al cátodo, esta emisión posee energía y recibe el nombre de .....

4. El tamaño del ..... fue medido por Rutherford, a partir de su experiencia. Su diámetro es del orden de  $10^{-12}$  cm y, por consiguiente, 10 000 ..... que el del átomo.
5. La producción de rayos catódicos y positivos se debe a una ..... del gas residual en un tubo de vacío.
6. .... es el número de nucleones en un átomo.
7. La clasificación de los elementos por su número atómico se llama ..... de los elementos químicos.
8. .... es una clase de materia formada por átomos de igual número atómico.
9. Átomos con igual número atómico, pero distinta masa, se llaman .....
10. La experiencia de ..... consistió en esencia en hacer pasar un haz de ..... procedentes de un elemento radiactivo a través de una .....



11. Algunas partículas ..... sufrían una gran desviación. Para explicar la experiencia supuso que el átomo está formado por dos partes .....

● **Cuestiones de opción única (4 puntos):**

12. Los rayos canales son:
  - A) Un chorro de electrones.

- B) Un chorro de neutrones.
- C) Un chorro de protones.
- D) Un chorro de cationes.
- E) Pueden ser lo dicho en C) y en D).

12

13. Las experiencias realizadas en los campos siguientes pusieron de manifiesto que la estructura del átomo era compleja, EXCEPTO:

- A) La radioactividad.
- B) Las descargas a través de los gases enrarecidos.
- C) Las experiencias de la electrolisis.
- D) Experiencias sobre cambios de estado.

13

14. Un elemento está formado por dos isótopos de masas 35 y 37. El primero se presenta en la proporción del 75 % en su composición natural, luego la masa atómica de dicho elemento es:

- A) 36
- B) 35,5
- C) 36,5
- D) 37
- E) 35

14

15. La masa atómica de un elemento en su estado natural es 12,011, y está formado por dos isótopos A de masa atómica 12,000 y B de masa atómica 13,000. El tanto por ciento del isótopo A en la mezcla es de:

- A) 89,1 %
- B) 6,34 %
- C) 7,57 %
- D) 98,9 %
- E) 19,06 %

15

## 29.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### ● Ejercicios de completar:

1.

electrón	_____	_____	_____
_____	1	+	núcleo
_____	1	nula	_____

2.

electrones	8	8	8
protones	8	9	_____
neutrones	8	8	_____
notación simbólica	_____	_____	$^{18}_8\text{O}$

3. rayos catódicos

4. núcleo, mayor

5. ionización

6. el número másico

7. tabla periódica o sistema periódico

8. elemento

9. isótopos

10. Rutherford, partículas alfa, fina lámina de oro

11. alfa, núcleo y corteza

● **Cuestiones de opción única:**

12. E

13. D

14. B

15. D

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 20 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente 15 puntos.*

## OBJETIVOS

## TEMA 30

- Describir el modelo matemático de la corteza electrónica.
- Razonar **La corteza electrónica y el Sistema Periódico** este relacionado con la estructura del átomo.
- Escribir las expresiones de los números cuánticos (de  $Z=1$  a  $Z=18$ ) y explicar su relación con el sistema periódico.

## INDICE

- 30.1 CONTENIDOS BASICOS
- 30.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 30.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 30.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION





## **OBJETIVOS**

- Describir el modelo atómico de Bohr.
- Razonar el hecho de que el comportamiento químico esté relacionado con la estructura electrónica de la corteza.
- Escribir las estructuras electrónicas de los átomos (de  $Z=1$  a  $Z=18$ ) y explicar su relación con el sistema periódico.

## **INDICE**

- 30.1 CONTENIDOS BASICOS
- 30.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO
- 30.3 EJERCICIO DE AUTOEVALUACION
- 30.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

### 30.1 CONTENIDOS BASICOS

- Modelo atómico de Bohr (T).
- Cuanto de acción (T).
- Fotón (T).
- Niveles de energía (T).
- Número cuántico principal (T).
- Espectros continuo y discontinuo (T).
- Subniveles atómicos y spin (T).
- Distribución de los electrones en la corteza de los primeros elementos del sistema periódico (T).
- Niveles electrónicos y semejanza química: gases nobles, metales alcalinos, halógenos, etc. (T).

### 30.2 CUESTIONES Y PROBLEMAS DEL TEXTO

NOTA.—El valor de  $h$  (constante de Planck) que figura en el problema 3 del texto, es necesario también para el problema 1.

#### ● Problema 1

La cantidad mínima de energía que se puede emitir, se llama *cuanto* de energía, cuyo valor dado por Planck en la expresión

$$\epsilon = h\nu$$

nos indica que la energía de un cuanto ( $\epsilon$ ) tiene un valor que depende de la frecuencia ( $\nu$ ), ya que  $h$  es una constante universal, llamada constante de Planck.

Los cuantos o paquetes elementales de energía se llaman también fotones.

a) Para la luz roja de  $0,8 \mu\text{ m}$  de longitud de onda tendremos ( $1 \mu\text{ m} = 10^{-6}\text{ m}$ ;  $c = \text{veloc. de la luz} = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ ):

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} ; \quad \nu_{\text{rojo}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8\text{ m/s}}{0,8 \cdot 10^{-6}\text{ m}}$$

(mira las páginas 125, 126 y 142 del libro de texto, así como la tabla II de la página 19).

$$\epsilon_{\text{rojo}} = h\nu_{\text{rojo}} = 6,6 \cdot 10^{-34}\text{ J s} \frac{3 \cdot 10^8\text{ m/s}}{0,8 \cdot 10^{-6}\text{ m}} = 2,5 \cdot 10^{-19}\text{ J}$$

$$\text{b) } \epsilon_{\text{violeta}} = h\nu_{\text{violeta}} = 6,6 \cdot 10^{-34}\text{ J s} \frac{3 \cdot 10^8\text{ m/s}}{0,4 \cdot 10^{-6}\text{ m}} = 5 \cdot 10^{-19}\text{ J}$$

$$\text{c) } \epsilon_{\text{rx}} = h\nu_{\text{rx}} = 6,6 \cdot 10^{-34}\text{ J s} \frac{3 \cdot 10^8\text{ m/s}}{0,6 \cdot 10^{-10}\text{ m}} = 3,3 \cdot 10^{-15}\text{ J}$$

dado que  $1 \text{ \AA} = 10^{-10}\text{ m}$ .

## ● Cuestión 2

Los átomos en estado normal no emiten energía. Ahora bien, un átomo puede ser excitado, comunicándole una cantidad de energía; por ejemplo, colocando sodio a la llama, recibe energía calorífica, y esta energía permite que se verifiquen saltos de electrones de niveles bajos en energía a otros superiores, de mayor energía, más alejados del núcleo. Los electrones excitados vuelven a sus niveles normales de energía, más alejados del núcleo. Los electrones excitados vuelven a sus niveles normales de energía, emitiendo un fotón cuya energía vendría dada por la diferencia entre las energías correspondientes a los niveles entre los que se verificará el salto:

$$h\nu = E_s - E_i$$

(mira la página 279 del libro de texto), siendo  $E_s$  energía del nivel superior y  $E_i$  energía del nivel inferior.

La frecuencia de la radiación emitida será:

$$\nu = \frac{E_s - E_i}{h}$$

Cuanto mayor sea la diferencia entre los niveles en que tiene lugar el salto, tanto mayor será la frecuencia.

### ● Problema 3

Antes de nada, vamos a aclarar lo que es 1 electrón-voltio. Tú ya sabes que el trabajo eléctrico viene dado por:

$$\mathcal{E} = q'(V_B - V_A) \quad (\text{página 169 del libro de texto})$$

Por tanto, 1 electrón-voltio es el trabajo realizado por la carga correspondiente a 1 electrón ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C), que se mueve bajo la diferencia de potencial de 1 voltio. Por tanto, su equivalencia en Julios será:

$$\mathcal{E} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

a) *Primer nivel* ( $n=1$ ):

$$E_1 = -13,6 \text{ eV} = -(13,6 \times 1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ J} = -2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Como las energías de las diferentes órbitas se relacionan mediante la expresión

$$E = -\frac{E_1}{n^2}$$

donde  $n$ =número del nivel considerado, resulta:

Para el *segundo nivel* ( $n=2$ ):

$$E_2 = -\frac{13,6}{2^2} \text{ eV} = -3,4 \text{ eV} = -3,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_2 = -5,45 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Para el *tercer nivel* ( $n=3$ ):

Hazlo solo. Comprueba que sale

$$E_3 = -2,42 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b)

$$E_2 - E_1 = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Luego:

$$\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{(2,18 - 0,54) \cdot 10^{-18} \text{ J}}$$

$$\lambda = 1,21 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Esta longitud de onda es más pequeña que la de la luz visible, y se llama luz ultravioleta.

c)

$$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

(zona visible del espectro, que está comprendida entre  $4 \cdot 10^{-7}$  y  $8 \cdot 10^{-7}$  m).

#### ● Cuestión 4

${}_{14}^{28}\text{Si}$  tendrá:

Núcleo	{	14 neutrones
		14 protones
Corteza		14 electrones

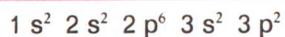
distribuidos en la siguiente forma:

primer nivel = 2 e  $\rightarrow$  1 s<sup>2</sup>

segundo nivel = 8 e  $\rightarrow$  2 s<sup>2</sup> 2 p<sup>6</sup>

tercer nivel = 4 e  $\rightarrow$  3 s<sup>2</sup> 3 p<sup>2</sup>

Debe escribirse en la forma:



● **Cuestión 5**

El número atómico de los elementos, lo representamos por Z

Nivel n	Z	Elementos	Estructura electrónica
1	1	H	$1 s^1$
2	3	Li	$1 s^2 2 s^1$
3	11	Na	$1 s^2 2 s^2 2 p^6 3 s^1$
4	19	K	$1 s^2 2 s^2 2 p^6 3 s^2 3 p^6 4 s^1$

Podemos observar que todos estos elementos tienen en común el tener un solo electrón en la última capa y en el subnivel s. Esta es la característica de este primer grupo de elementos del Sistema Periódico. El Rb y el Cs, que son del mismo grupo, tienen por tanto también 1 electrón en su última capa y en el subnivel s de los niveles  $n=5$  y  $n=6$ , respectivamente. El H en realidad, es un elemento que debe colocarse fuera del grupo 1 A, pues sus propiedades no encajan con las de ese grupo.

● **Cuestión 6**

Nivel n	Z	Elementos	Estructura electrónica
2	9	F	$1 s^2 2 s^2 2 p^5$
3	17	Cl	$1 s^2 2 s^2 2 p^6 3 s^2 3 p^5$

Se puede ver que los elementos de este grupo VII B del SP, tienen en común tener siete electrones en su última capa, dos en el subnivel s y cinco en el p. El bromo y el yodo tendrán, asimismo, dos electrones s y cinco p en los niveles  $n=4$  y  $n=5$ , respectivamente.

● Cuestión 7

	Elementos	Subniveles		N.º total de electrones en la capa externa
		s	p	
Nivel n=2	Na	1	0	1
	Mg	2	0	2
	Al	2	1	3
	Si	2	2	4
	P	2	3	5
	S	2	4	6
	Cl	2	5	7
	Ar	2	6	8

● Cuestión 8

Para  $n=4$  pueden existir los subniveles s, p, d, f.

Hay 1 orbital s, con cabida para dos electrones que se diferencien en su spin.

En el subnivel s habrá un máximo de 2 e.

Hay 3 orbitales p, en cada uno de los cuales puede haber 2 electrones de distinto spin.

En total, en el subnivel p habrá un máximo de  $3 \times 2 = 6$  electrones.

Hay 5 orbitales d, en cada uno de los cuales puede haber 2 electrones de distinto spin.

En total en, en el subnivel d puede haber  $5 \times 2 = 10$  electrones.

Hay 7 orbitales f, en cada uno de los cuales puede haber 2 electrones de distinto spin.

En total, en el subnivel f puede haber  $7 \times 2 = 14$  electrones.

Observa la tabla I del texto (pág. 281).

● Cuestión 9

- a) Si  $Z=20$  = número electrones = número protones.

Por tanto, en el núcleo tiene 20 protones.

El número de neutrones puede variar según el isótopo considerado.

- b) Hay 20 electrones situados en los orbitales  $s$   $p$  de los niveles correspondientes, según:



- c) Tienen 2 electrones situados en el  $4s$ .
- d) Un elemento metálico, divalente, uno de los llamados metales alcalino-térreos.



4. Un elemento posee una estructura  $1s^2 2s^2 2p^5$ . ¿Cuál de las siguientes conclusiones es FALSA porque no se puede deducir de esta configuración electrónica?:

- A) Es un elemento halógeno.
- B) Tiene dos electrones en el primer nivel y siete en el segundo.
- C) Su número atómico es 9.
- D) Su masa atómica es 18.
- E) Si gana un electrón adquiere la forma de un gas noble.

4

5. Cuando un electrón de un átomo pasa de un nivel a otro inmediatamente superior, según la teoría de Bohr, se puede decir que:

- A) Se ha ionizado el átomo.
- B) La energía permanece estacionaria.
- C) Que el átomo ha perdido electrones.
- D) Que el átomo ha absorbido energía.
- E) Que el átomo ha cedido energía.

5

6. Un elemento no-metal de valencia máxima 6, tiene una estructura electrónica externa:

- A)  $s^2 p^6$       B)  $s^2 p^5$       C)  $s^2$       D)  $s^2 p^2$       E)  $s^2 p^4$

6

7. Una estructura externa del tipo  $s^2 p^5$  puede pertenecer al:

- A) Na      B) Ca      C) C      D) S      E) Cl

7

8. Todas las afirmaciones son ciertas, EXCEPTO que:

- A) Los gases nobles o inertes tienen su capa externa completa con un octete u ocho electrones.
- B) Los metales alcalinos y alcalinotérreos tienen en su órbita más externa electrones del tipo s.
- C) Los átomos tienen sólo electrones p en su órbita más externa.
- D) Cuando hablamos de órbitas nos referimos al átomo entendido según la teoría de Bohr.
- E) En las modernas teorías a los niveles de energía les llamamos orbitales.

8

9. En la fórmula  $E_3 - E_1 = h\nu$ , **h** significa:

- A) Nivel de energía.
- B) Cuanto de acción.
- C) Es un número cuántico.
- D) La constante de Planck.
- E) La longitud de onda de la luz emitida por átomo.

9

10. Un átomo de un elemento incandescente emite una radiación violeta de longitud de onda de 434 nm; la energía en julios de su cuanto de acción es:

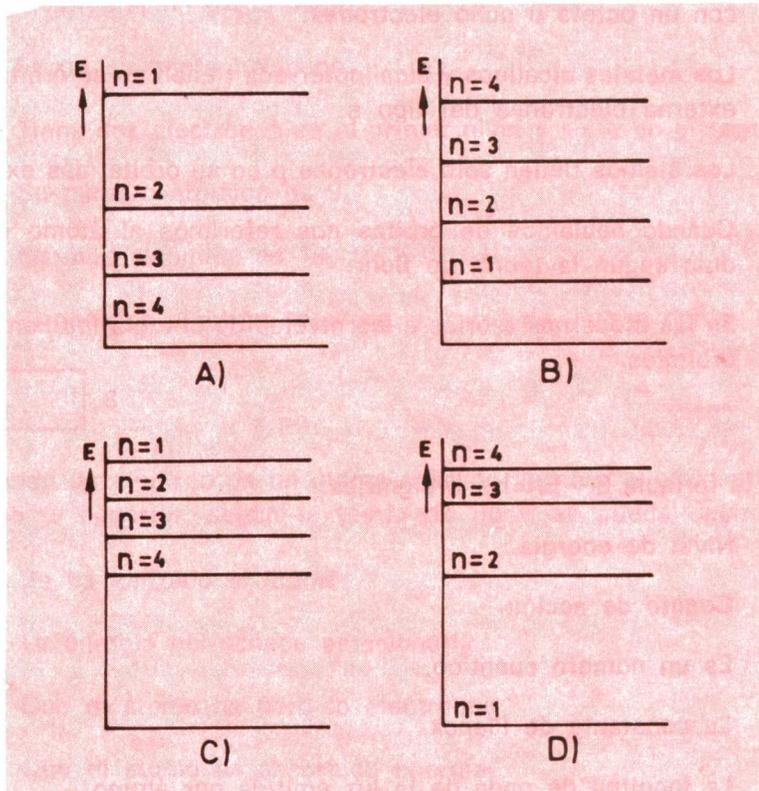
- A)  $7,3 \cdot 10^{-31}$
- B)  $1,97 \cdot 10^{-29}$
- C)  $9,55 \cdot 10^{-31}$
- D)  $4,58 \cdot 10^{-19}$
- E)  $954 \cdot 10^{-33}$

10

**Datos.**—Constante de Planck:  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J s

Velocidad de la luz:  $3 \cdot 10^8$  ms<sup>-1</sup>

11. La representación gráfica que mejor representa los niveles de energía del átomo de hidrógeno es:



11

#### 30.4 SOLUCIONES AL EJERCICIO DE AUTOEVALUACION

1. D

5. D

9. D

2. C

6. E

10. D

3. D

7. E

11. D

4. D

8. C

*Puntuación máxima que se puede alcanzar: 11 puntos.*

*Puntuación mínima indispensable para pasar a estudiar el tema siguiente: 7 puntos.*







*Servicio de Publicaciones  
del Ministerio de Educación y Ciencia*