ATLAS TEMÁTICOS

RELACIÓN DE TÍTULOS

CIENCIAS EXACTAS

Atlas de Matemáticas (Análisis + Ejercicios)
Atlas de Matemáticas (Álgebra + Geometría)
Atlas de Física
Atlas de Química
Atlas de Prácticas de Física y Química

CIENCIAS COSMOLÓGICAS

Atlas de Geología
Atlas de Mineralogía
Atlas de la Naturaleza
Atlas de los Fósiles
Atlas de la Arqueología

CIENCIAS NATURALES

Atlas de Zoología (Invertebrados)
Atlas de Zoología (Vertebrados)
Atlas de Parasitología
Atlas de Biología
Atlas de Botánica

CIENCIAS PURAS

Atlas del Átomo
Atlas de la Astronomía
Atlas de la Meteorología
Atlas de la Microscopia
Atlas de la Informática

ANATOMÍA

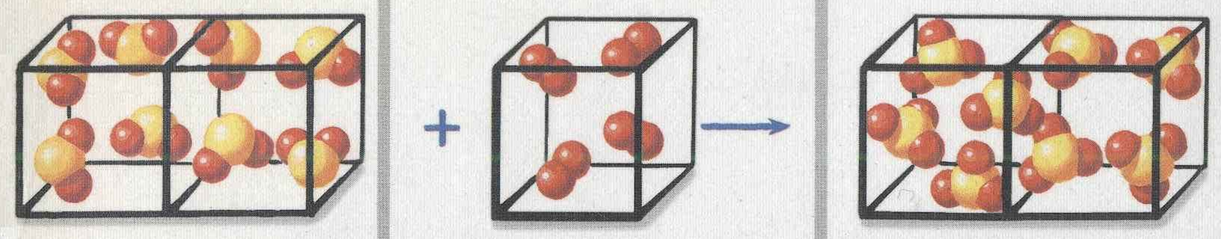
Atlas de Anatomía Animal
Atlas de Anatomía Humana
Atlas del Cuerpo Humano
Atlas del Hombre
Atlas de la Cirugía

PRACTICAS Física y Química

ATLAS TEMÁTICO

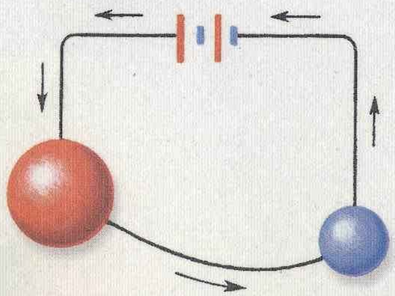
PRÁCTICAS

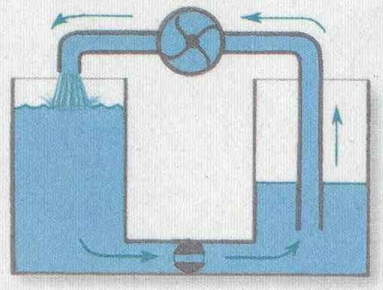
FÍSICA Y QUÍMICA



Leyes de los gases

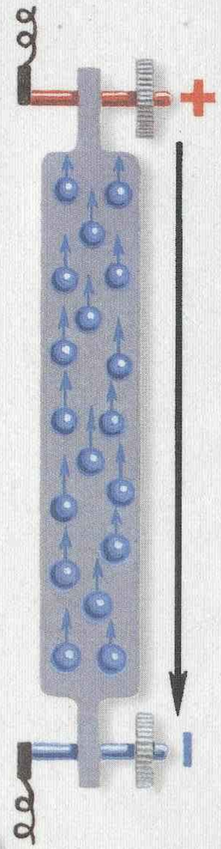
Diferencias de potenciales invariables

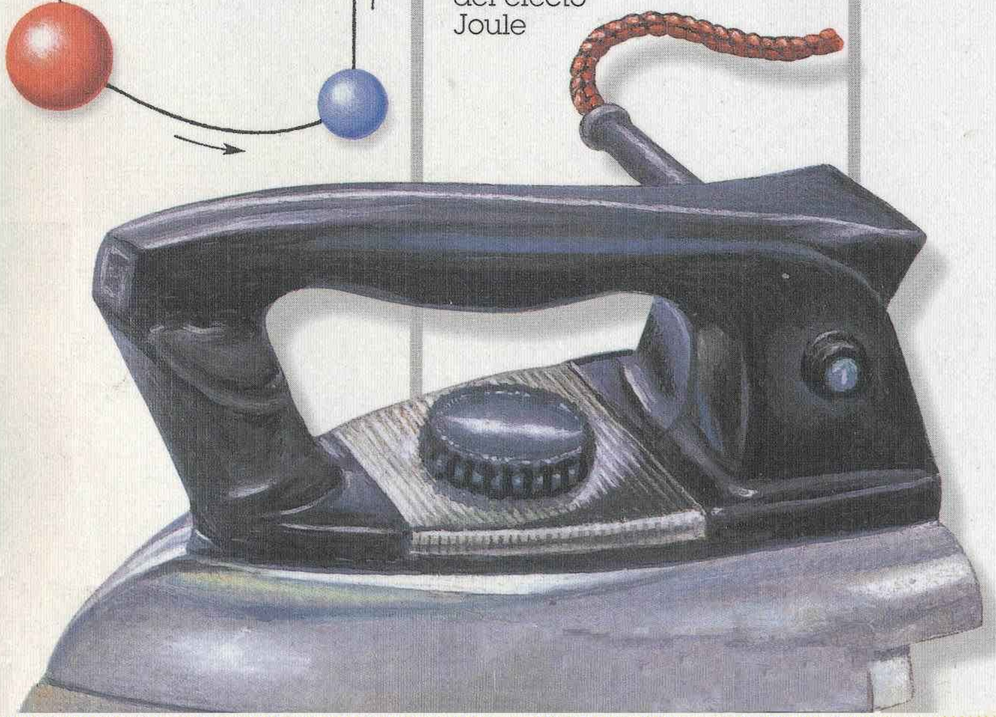




Aprovechamiento doméstico del efecto Joule

Inducción electrostática





PRÁCTICAS DE FÍSICA Y QUÍMICA

IDEA BOOKS, S.A.

Título de la colección
ATLAS TEMÁTICOS

Texto e ilustración
© 1996 **IDEA BOOKS, S.A.**

Redacción / E. Seba y A. Roca, Doctores en Ciencias Químicas

Ilustraciones / Equipo gráfico editorial

Diseño de la cubierta / Lluís Lladó Teixidó

Printed in Spain by
Emegé, Industria Gráfica, Barcelona

EDICIÓN 1997

PRÓLOGO

La Física y la Química son ciencias cuyo estudio contribuye a una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren en el entorno físico del hombre. Por ser Ciencias Experimentales, se asimilan y comprenden mejor «partiendo de» o «apoyándose en» hechos experimentales verificados por quien las estudia.

En este ATLAS se recogen experiencias de diversos temas básicos de Física y de Química con la pretensión de ayudar a quien quiera iniciarse en el estudio de estas ciencias, sin limitarse a memorizar leyes y teorías sin relación aparente con la realidad física. También pretende facilitar la difícil labor de los profesores que imparten clases de ciencias en los niveles primario y secundario.

Las experiencias incluidas al principio de cada tema suelen ser muy sencillas, requiriendo sólo la observación y apreciación cualitativa de los fenómenos. A continuación se proponen otras cuya realización requiere cierta habilidad experimental y mayor precisión en la medida y en la elaboración de los datos obtenidos. Algunas de las primeras experiencias pueden ser consideradas como «ciencia recreativa» y se han incluido precisamente por este motivo, ya que al presentarse como entretenidas y/o divertidas facilitan el interés por los fundamentos, procedimientos y resultados de las mismas.

Muchas de las experiencias descritas se pueden realizar con materiales y productos de uso doméstico o de fácil adquisición, y bajo costo; otras requieren materiales y productos que se encuentran habitualmente en los laboratorios de centros educativos.

Las primeras experiencias de este ATLAS se plantean como si se tratara de trabajos de investigación cuyo resultado se ignora, aunque en realidad pueda conocerse de antemano, a fin de poner en evidencia los aspectos básicos del trabajo científico: reconocimiento o planteamiento de un problema y su estudio bibliográfico, elaboración de hipótesis y forma de contrastarlas experimentalmente y, finalmente, comunicación de los resultados obtenidos. Muchas de las experiencias posteriores pueden plantearse de esta forma, probablemente la más fructífera para quien las realiza, pero por limitaciones de espacio se ha preferido incluir mayor cantidad de experiencias redactadas de forma breve, sin dividir explícitamente su desarrollo en las etapas citadas.

Todas las experiencias que se realicen deben contribuir a desarrollar la capacidad de observación, la habilidad de manipulación experimental y a afianzar leyes y teorías científicas, eliminando su apariencia dogmática. Realizando experiencias se aprende a utilizar las manos y la mente y a veces del fracaso en las mismas se pueden obtener mejores frutos que del éxito inmediato, ya que el primero obliga a un repaso y profundización del trabajo realizado a fin de encontrar un camino mejor.

LOS AUTORES

Introducción al trabajo de laboratorio

MATERIAL DE USO CORRIENTE EN EL LABORATORIO

Para trabajar en el laboratorio es indispensable conocer y familiarizarse con el nombre y la forma de las distintas piezas que constituyen el material de uso corriente. Este material, que se relaciona junto a dibujos esquemáticos agrupado en función de sus características o utilidad, es el habitual del laboratorio de química y muy frecuente en el de física. En éste, además, suelen utilizarse piezas o aparatos específicos de experiencias concretas que, para evitar una relación demasiado extensa, no se han incluido.

Una gran parte del material de uso común en laboratorio es de vidrio o porcelana, por tanto es frágil y debe manejarse con cuidado. A continuación se indican algunas normas de uso y limpieza:

1) Para calentar a altas temperaturas sólo debe utilizarse la cápsula de porcelana o el crisol.

2) Excepto en el caso del tubo de ensayo, que puede calentarse directamente a la llama, se intercalará una rejilla metálica con amianto entre la llama y el recipiente.

3) Cuando se caliente algo dentro de un tubo de ensayo (o se realice una reacción dentro de él), su boca se dirigirá hacia donde no haya nadie, ya que pueden haber proyecciones del contenido. El tubo de ensayo no debe llenarse más de la mitad y cuando se caliente se colocará inclinado sobre la llama y de forma que ésta incida en la parte superior del contenido.

4) Nunca se someterá al material de vidrio o porcelana bajo la acción del agua fría inmediatamente después de haber sido calentado.

5) La bureta, la pipeta aforada y el matraz aforado sirven para medir volúmenes de líquidos con elevada precisión. La pipeta graduada y la probeta miden volúmenes con menor precisión. Algún material de laboratorio (erlenmeyers, vasos de precipitados, matraces, etc.) lleva indicado el volumen de forma aproximada.

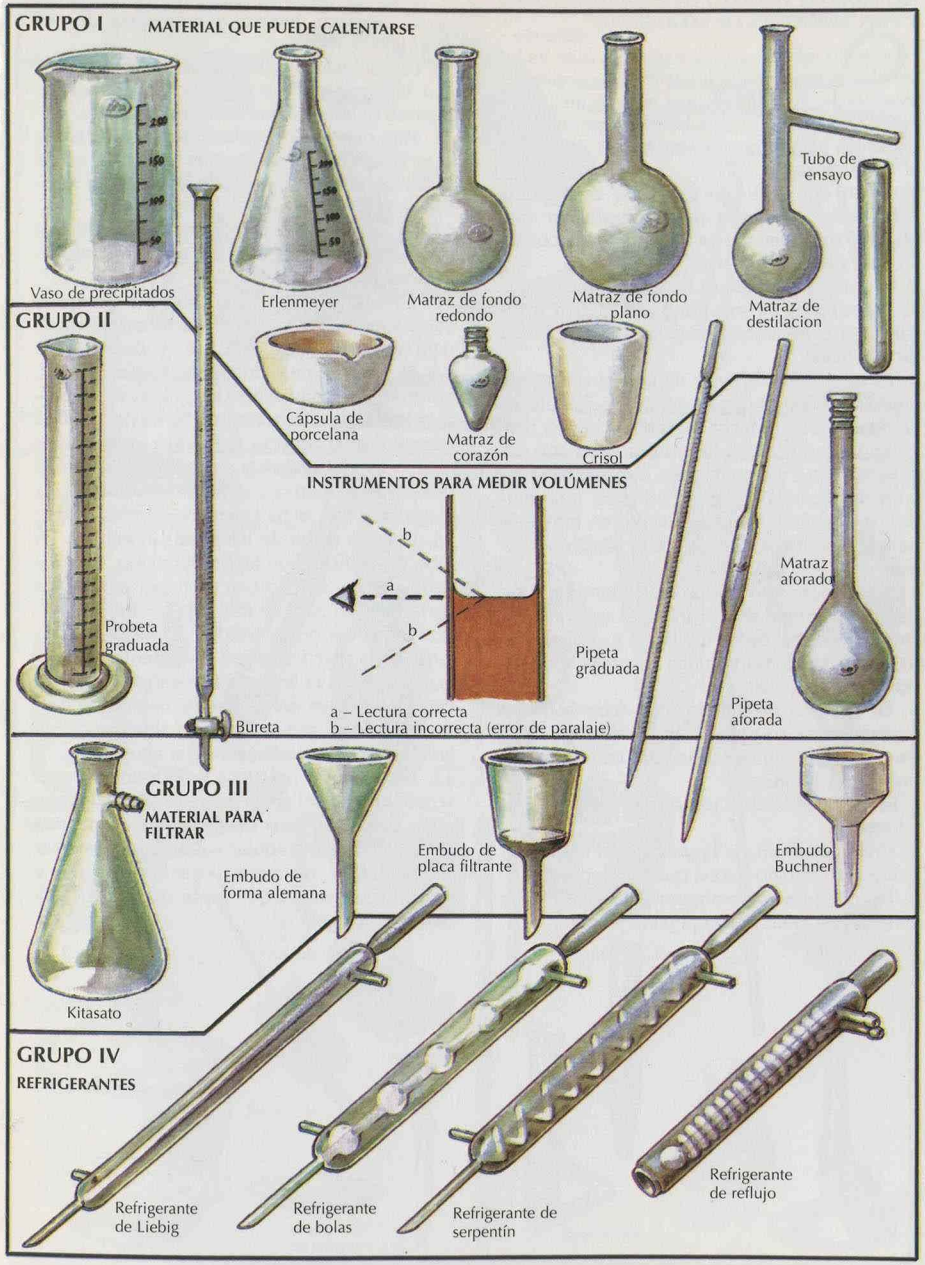
6) Al realizar la lectura del volumen de un líquido debe tenerse en cuenta la forma del menisco y no cometer error de paralaje (ver figura). El líquido cuyo volumen se quiera determinar no debe estar caliente.

7) Para realizar una filtración al vacío se utiliza el embudo Buchner o el embudo de placa filtrante, que se adaptarán al kitasato por medio de una junta de goma. El kitasato se conecta a la trompa de agua mediante un tubo de goma resistente al vacío.

8) Los refrigerantes forman parte de un aparato de destilación o de reflujo. En todos ellos el agua debe circular en sentido contrario al vapor.

9) La limpieza del material de vidrio normalmente debe hacerse con agua abundante y detergente, pasando un escobillón del tamaño adecuado por las paredes y fondo de los recipientes. Si la suciedad persiste, deben ensayarse otros procedimientos que resulten más adecuados (ácido clorhídrico, mezcla crómica, disolvente orgánico, etc.). Una vez eliminados los residuos, se enjuagará con agua del grifo, y, si se han de realizar trabajos de análisis, se enjuagará otra vez con agua destilada con ayuda del frasco lavador.

10) El material se deja secar al aire libre colocándolo boca abajo, los tubos de ensayo en la gradilla y el resto en un escurridor.



NORMAS DE TRABAJO EN EL LABORATORIO Y PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

En el texto relativo a cada experiencia se incluyen las precauciones y normas de seguridad específicas. A continuación se indican las de carácter general que deben tenerse siempre presentes para la buena marcha del trabajo en el laboratorio.

1. Antes del inicio de cualquier experiencia debe leerse el guión para comprender qué objetivo se persigue, con qué medios se cuenta y cómo debe procederse.
2. El orden y la limpieza facilitan el trabajo.
3. Por razones de seguridad sólo deben realizarse las experiencias propuestas en el guión de prácticas.
4. Es necesario disponer de un «cuaderno de laboratorio» en el que se anotarán: *a*) título de la experiencia, *b*) fecha de realización, *c*) descripción de los pasos llevados a cabo con sus características y condiciones, *d*) observaciones y mediciones realizadas, *e*) cálculos, *f*) resultados, presentándolos si es posible en forma de tablas, *g*) gráficos, si procede, y *h*) conclusiones.

Las anotaciones no válidas no se borrarán, sino que simplemente se cruzarán con una raya.

Deben anotarse todos los datos y observaciones en el cuaderno y nunca en papel aparte o confiarlos a la memoria.

5. En la mesa de trabajo sólo debe haber el material necesario para la experiencia a realizar y el cuaderno de laboratorio con el correspondiente guión.
6. Es recomendable el uso de una bata de laboratorio.
7. Una vez terminada la práctica, el material y la mesa de trabajo deben quedar limpios.
8. No debe probarse ningún producto y debe evitarse su contacto con la piel.
9. Antes de verter el contenido de un frasco debe leerse su etiqueta y asegurarse de qué producto se trata.
10. La manipulación de productos sólidos se hará con la ayuda de una espátula y para trasvasar líquidos se utilizará una varilla de agitación.
11. Para oler algún producto no se acercará la cara al recipiente, sino que se arrastrará el vapor hacia la nariz pasando la mano por encima de él.
12. Nunca se devolverán al frasco los restos de productos no utilizados a fin de evitar contaminaciones.
13. En caso de que algún producto corrosivo caiga sobre la piel o prendas de vestir, se eliminará rápidamente con agua fría y abundante.
14. El material de vidrio es sumamente frágil, por lo que deben evitarse los golpes y los cambios bruscos de temperatura. Se ha de tener en cuenta que el aspecto del vidrio es el mismo tanto si está frío como si está caliente, por tanto debe esperarse un rato antes de volver a utilizar el material que se ha calentado.
15. Cuando se ha de introducir (o extraer) un tubo de vidrio en un tapón horadado, siempre debe cogerse el tubo con un trapo, para evitar cortaduras en caso de rotura del vidrio.
16. Todos los restos sólidos acumulados a lo largo de la práctica deben tirarse en la papelera, nunca en la fregadera, reservándose ésta para la limpieza del material y vertido de residuos líquidos, que se efectuará siempre con el grifo abierto, dejando salir agua abundante.
17. Los trabajos prácticos propuestos no presentan ningún peligro si se desarrollan tal como están descritos, pero debe tenerse la máxima precaución al manipular sustancias corrosivas o inflamables, mecheros y fuentes de calor y montajes o aparatos que vayan conectados a la red eléctrica general.

La medida

Las Ciencias Experimentales, y por tanto la Física y la Química, pretenden establecer relaciones cuantitativas entre las magnitudes físicas. Por magnitud física entendemos cualquier cualidad o fenómeno que se puede medir; medir es comparar una magnitud con otra de la misma especie que se toma como referencia y se denomina unidad.

En nuestra vida cotidiana «medimos» con frecuencia (está lejos, falta tiempo, es más bajo, etcétera) y para ello nos valemos de observaciones realizadas con nuestros sentidos, pero ¿son siempre correctas y fiables las apreciaciones de nuestros sentidos? Podemos probarlo observando atentamente las figuras (1-6) y respondiendo a las cuestiones:

1. ¿Es recta o quebrada la línea AB de la figura 1?
2. ¿Son iguales las distancias CD y CE en la figura 2?
3. ¿Tienen la misma altura las tres columnas de la figura 3?
4. ¿Son rectas paralelas las líneas FG y F'G' de la figura 4?
5. ¿Son espirales las curvas de la figura 5?
6. ¿Son iguales las dos circunferencias centrales de la figura 6?

Y realizando la siguiente experiencia:

Se disponen tres recipientes, uno con agua fría, otro con agua caliente y el tercero con una mezcla a partes iguales de agua fría y caliente. Se introduce una mano en el recipiente con agua fría y otra en el de agua caliente y al cabo de medio minuto se introducen en el tercer recipiente. ¿Qué sensación percibe cada mano? El agua ¿está fría o caliente?

Para responder con certeza a las cuestiones anteriores deberemos recurrir a algún método o dispositivo más fiable y objetivo que nuestros sentidos, es decir, necesitamos instrumentos de medida.

Así, con el instrumento de medida más sencillo, una cinta métrica o regla graduada, podremos evitar las dudas que surgen sobre las seis figuras. En el caso de la figura 5, lo más sencillo es señalar un punto de una curva y con el dedo o un lápiz seguirla toda una vuelta. ¿Es una circunferencia o una espiral? En relación a la pequeña experiencia sugerida, un termómetro resuelve objetivamente la duda ¿más fría o más caliente?

Las medidas pueden ser directas o indirectas. En las primeras se compara la magnitud de valor desconocido con el patrón de la misma magnitud; en las medidas indirectas el valor de la magnitud desconocida se determina mediante operaciones matemáticas entre las medidas efectuadas.

Las magnitudes pueden ser fundamentales, si se definen por sí mismas, o derivadas, si se definen a partir de las primeras. Que una magnitud sea fundamental o derivada depende de los convenios que adopten los científicos. Las unidades de medida de cada magnitud también dependen de estos convenios. En el Sistema Internacional (S.I.) de unidades, las magnitudes tomadas como fundamentales y las correspondientes unidades y símbolos son las siguientes:

magnitud	unidad	símbolo de la unidad
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
temperatura	kelvin	K
intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
intensidad luminosa	candela	cd
cantidad de sustancia	mol	mol

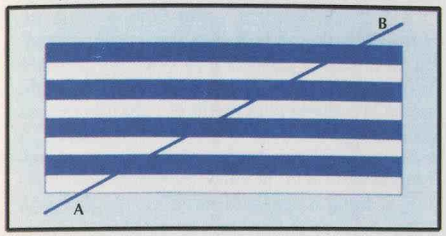


Fig. 1 – La línea AB es recta.

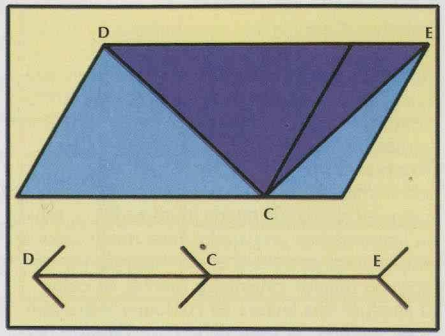


Fig. 2 – La distancia CD y CE son iguales.

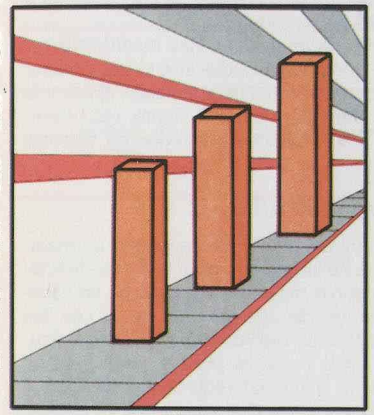


Fig. 3 – Las tres columnas tienen la misma altura.

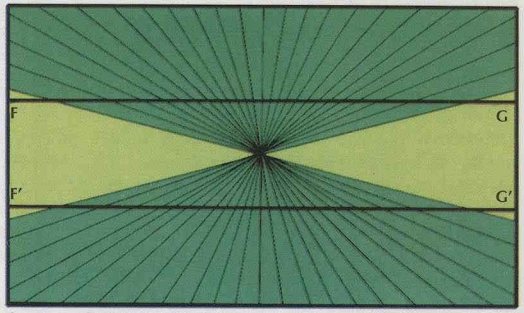


Fig. 4 – Las líneas FG y F'G' son paralelas.

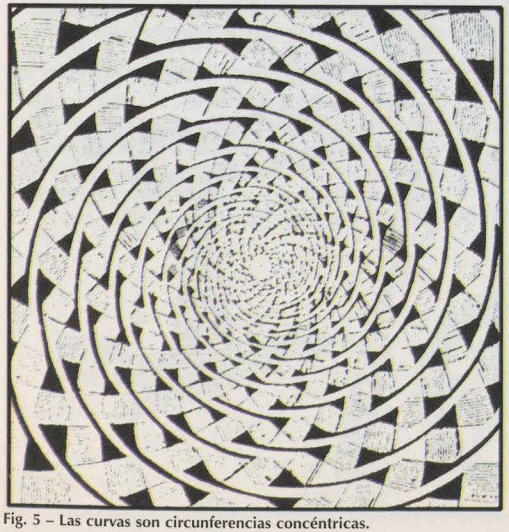


Fig. 5 – Las curvas son circunferencias concéntricas.

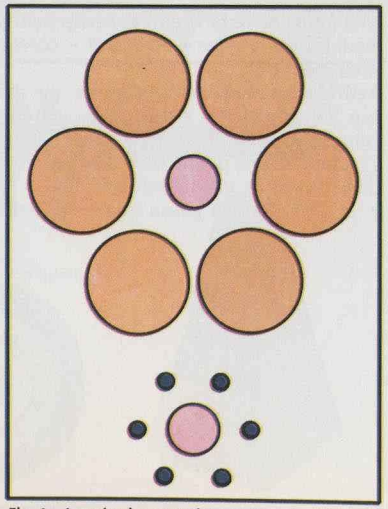


Fig. 6 – Los círculos centrales son del mismo tamaño.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Objetivo: Conocer las características y limitaciones de diferentes aparatos de medida.
Material necesario: Cinta métrica o regla graduada, pie de rey, balanza, termómetro, cronómetro, probeta, bureta, pipeta y otros instrumentos de medida.
Observaciones: Los instrumentos de medida deben manejarse con sumo cuidado, ya que cualquier alteración puede inutilizarlos, y, salvo los instrumentos preparados para medir calor o temperatura, se evitará el contacto de los mismos con objetos calientes o fuentes de calor.
Al efectuar una lectura en cualquier instrumento de medida, la vista debe estar dirigida perpendicularmente a la escala en el punto en el que se realiza la lectura.
Actividad: Observar los instrumentos de medida disponibles y completar la tabla de la figura 1.

MEDIDAS DIRECTAS

Objetivos: Aprender a usar correcta y hábilmente diferentes instrumentos de medida.
Material necesario: Cinta métrica, pie de rey, probeta, cronómetro, termómetro.
Observaciones: Para efectuar medidas correctamente es necesario conocer o determinar las características y limitaciones de los instrumentos a utilizar y tener habilidad. Todo ello se adquiere a partir de la experiencia y el no tener prisa.
Una forma de reducir errores es efectuar varias medidas de la misma magnitud y obtener su valor medio.
Actividades: Medir las magnitudes que se indican a continuación y para cada una de ellas completar la tabla de la figura 2.
1. Altura de una puerta o de una persona o las dimensiones de una habitación.
2. El diámetro y el grosor de una moneda. En este caso: ¿qué es mejor utilizar, la cinta métrica o el pie de rey? Con los instrumentos disponibles: ¿puede medirse directamente el diámetro de un balón de fútbol? ¿y el de un cabello?
3. Capacidad de un vaso, botella, etc. ¿Puede usarse la probeta para medir el volumen de una gota de agua?
4. El tiempo que se tarda en recorrer una determinada distancia. Si varias personas cronometran el tiempo que otra tarda en recorrer una distancia, ¿obtienen el mismo resultado? El cronómetro disponible, ¿permite medir el tiempo de caída de un objeto desde 20 cm de altura? y ¿desde 10 m (3-4 pisos)?
5. La temperatura del aire. Para medirla correctamente, ¿dónde debe colocarse el termómetro: cerca del suelo, cerca de una pared, al sol, a la sombra, protegido o no del viento, etc.? Compárense los resultados obtenidos en distintas posiciones.

MEDIDAS INDIRECTAS

En el apartado anterior se ha puesto de manifiesto que no siempre es posible medir directamente algunas magnitudes (grosor de un cabello, volumen de una gota de agua) con los instrumentos de medida disponibles. En algunos de estos casos es posible determinar el valor de la magnitud recurriendo a cálculos matemáticos elementales; entonces la medida se denomina «indirecta».
Material necesario: Cinta métrica o regla graduada, pie de rey, probeta, balanza, arena, agua y alcohol (fig. 3).
Observaciones: Además de las indicadas en el apartado de medidas directas, se debe recordar que al realizar operaciones matemáticas pueden obtenerse valores con muchas cifras decimales que carecen de sentido desde el punto de vista físico; los resultados correctamente expresados sólo deben contener las cifras significativas.

Instrumento de medida	Magnitud que mide	Unidad de medida	Valor mínimo que aprecia	Valor máximo que aprecia	Valor de la división más pequeña (sensibilidad)
Cinta métrica					
Pie de rey					
Termómetro					
Cronómetro					
etc.					

Fig. 1 – Tabla.

Medidas efectuadas	Valores obtenidos v_i	Desviación (error) de cada medida $d_i = v_i - v_r$
1ª 2ª 3ª … …		
Valor medio (media aritmética)	v_r = (valor representativo)	e_a = (error absoluto)

error relativo = $\frac{e_a}{v_r} = e_r$

(Cuanto menor es el valor de e_r mejor es la medida efectuada.)

Fig. 2 – La expresión correcta del valor numérico de la medida efectuada es ($v_r \pm e_a$). v_r es la media aritmética de los v_i y e_a es la media aritmética de las d_i.

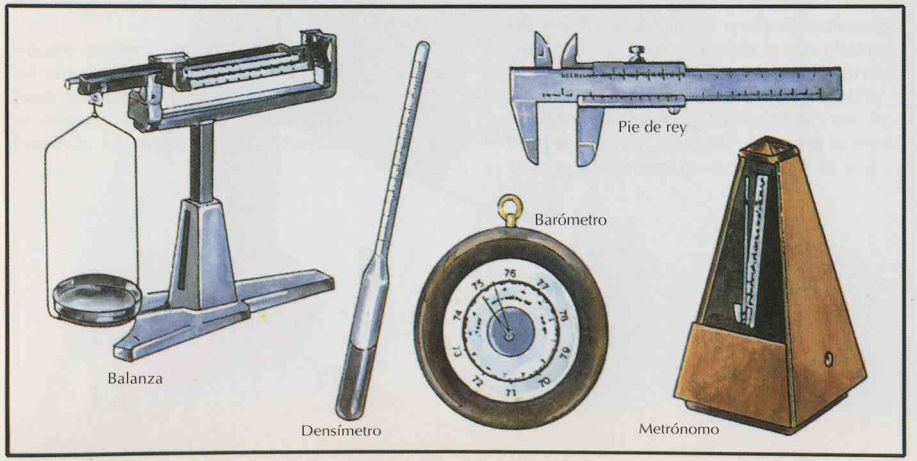


Fig. 3 – Instrumentos de medida.

Actividades: 1. *¿Cómo determinar la altura de un edificio o de un árbol desde el suelo?* Se descarta cualquier método de medida directa porque se debería ascender para ir midiendo la altura. En el caso del edificio cabe la posibilidad de medir la altura de la primera planta y multiplicar este valor por el número de plantas, pero ¿y si no son iguales todas la plantas? Evidentemente este método (indirecto) no sirve para medir la altura de un árbol. ¿Cómo resolver este problema?

Si es un día soleado, se dispone de un método sencillo observando que las longitudes de las sombras son proporcionales a las alturas de los objetos que las proyectan. Así, si se mide la longitud «S» de la sombra de un objeto o persona de altura «H» conocida y la longitud «S'» de la sombra de un edificio o árbol de altura «H'» desconocida, un cálculo sencillo permite hallar el valor de H' (fig. 1A).

Determinar por este procedimiento la altura de un edificio, comparar los resultados obtenidos en distintas mediciones y decidir cuál es la «medida real» de éste.

2. *¿Cómo determinar la altura anterior en un día nublado?* Si se sitúa un listón (o una persona) vertical, de altura H conocida, a una distancia BB' de árbol y con un hilo se une el extremo superior C del listón con un punto A del suelo de forma que mirando a lo largo del hilo se encuentren alineados el punto C y el extremo superior C' del árbol, como se indica en fig. 1B, se forman dos triángulos rectángulos. ¿Qué relación hay entre la magnitud desconocida H' y las que se pueden medir: H, S y S'?

Determinar la altura de un árbol y comparar el resultado con el obtenido por el procedimiento anterior.

3. *¿Cómo medir el grosor de una hoja de papel con una cinta métrica graduada en milímetros?* Medir el grosor de una sola hoja no es posible ya que es menor que un milímetro, pero sí se puede medir el grosor de 100 hojas juntas o de otra cantidad grande. ¿Cuál es el grosor de una página de un libro o de un folio?

4. *¿Cuál es el diámetro de un hilo de coser o de un cabello?* Este caso es más complicado que el anterior ya que no es posible tomar muchos hilos o cabelos juntos y medirlos porque se deforman y aplastan. La medida directa de esta magnitud requiere un microscopio, pero si no se dispone de él, con el montaje de la fig.2 puede obtenerse un resultado satisfactorio: delante de un foco se coloca una cartulina opaca con una rendija pequeña (p. ej. de 5 mm × 10 mm) en el centro de la cual se pega el hilo tenso de diámetro «d» desconocido; delante se sitúa una lupa (puede servir un vaso cilíndrico transparente y lleno de agua) que proyecta la imagen de la rendija y del hilo sobre una pared o pantalla. La proporción entre las dimensiones de la rendija y su imagen es la misma que entre el cabello (o hilo) y su sombra.

Con un proyector de cine o de diapositivas se puede precisar mejor el resultado.

5. *La balanza, ¿sirve para medir una longitud?* Si se dispone de alambre enrollado y quiere conocerse su longitud sin desenrollarlo, ¿cómo hacerlo con la ayuda de una balanza?

Con la balanza se determina la masa «M» de un trozo de alambre de longitud «L» (medida directamente con una cinta métrica) y la masa total del rollo de alambre. Una simple proporción permite calcular la longitud deseada.

¿Qué se entiende por densidad lineal de un alambre?

¿Cuál es la del alambre cuya longitud se ha determinado?

Puede plantearse el problema inverso: disponiendo de una cinta métrica y conociendo la densidad lineal de un alambre, ¿puede hallarse el valor de su masa? Razonar el proceso a seguir y ensayarlo con un trozo del alambre anterior.

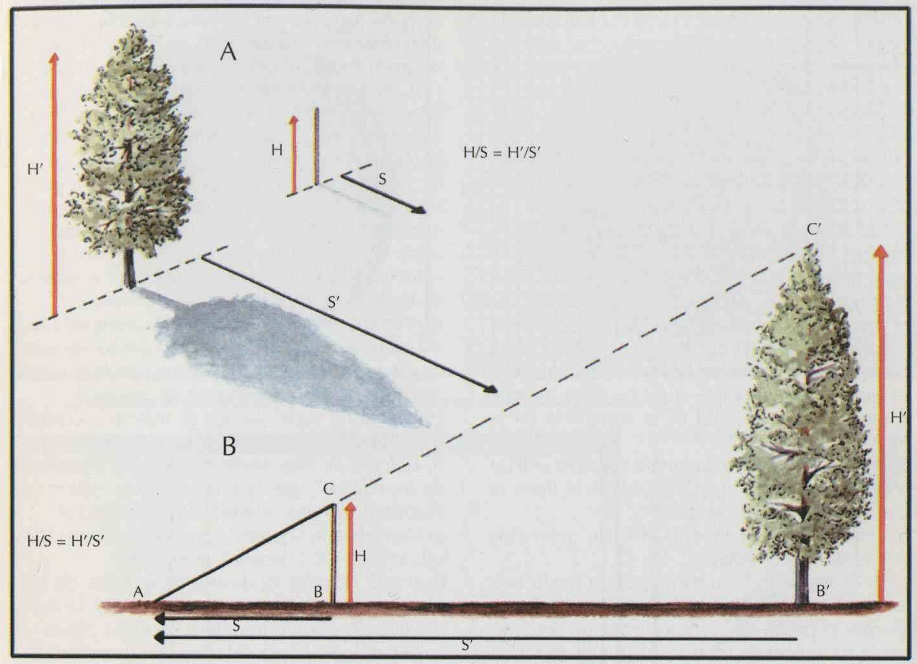


Fig. 1 – El método esquematizado en la figura B también sirve para calcular distancias desconocidas (S') si se conoce la altura (H') de un árbol o edificio situado en el punto cuya distancia se quiere determinar.

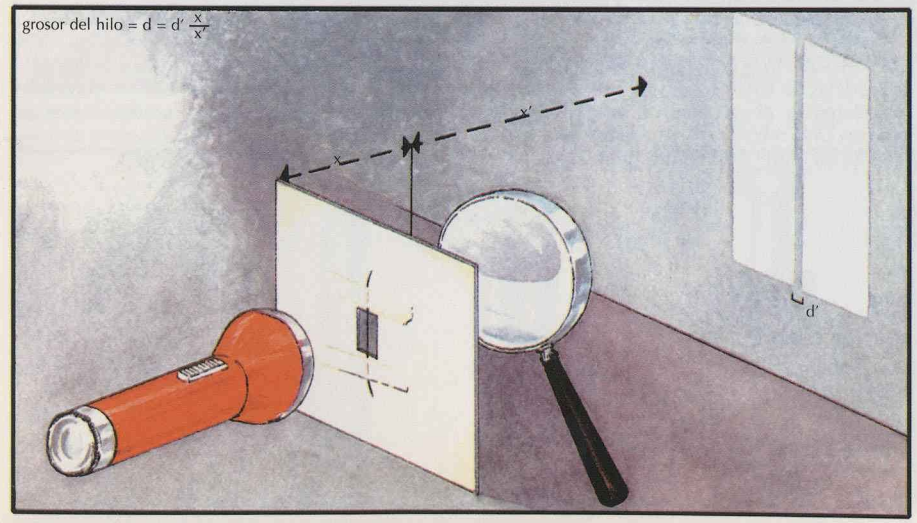


Fig. 2 – Las distancias x y x' entre la rendija y la lente y entre ésta y la pantalla deben ensayarse a fin de obtener una imagen nítida.

Siempre que sea posible es conveniente contrastar los valores obtenidos por medidas indirectas de las magnitudes indicadas con los obtenidos con la medida directa a fin de conocer la bondad del procedimiento seguido.

6. *Medidas de superficie:*

a) Determinar la superficie de una habitación con una cinta métrica. Si la habitación es rectangular, ¿qué medidas se deben tomar? y ¿qué operación da la superficie?

Si en el suelo de la habitación hay baldosas, ¿puede usarse la «baldosa» como unidad de superficie?, ¿cuántas «baldosas» mide la habitación?

b) La superficie de la cara de una moneda puede medirse directamente. ¿Cómo? Para determinar indirectamente esta superficie, ¿qué magnitud debe medirse con una cinta métrica o un pie de rey? ¿cuál es la superficie de la moneda elegida?

El canto de una moneda puede considerarse un rectángulo enrollado. ¿Qué superficie tiene el canto de la moneda elegida?

El resultado de la medida directa, ¿coincide con el de la indirecta?

c) En el apartado 5) se ha propuesto medir una longitud con ayuda de una balanza. Ahora se plantea el problema: ¿cómo se puede determinar la superficie de un trozo de papel de forma irregular, con la ayuda de una balanza?

Medir la superficie de un folio como producto de las longitudes de sus lados y comparar el resultado con el obtenido por el procedimiento de comparar pesos de todo el papel y de un trozo de superficie conocida.

7. *Medidas de volumen:*

a) Determinar el volumen de una habitación con una cinta métrica. ¿Se puede medir el volumen de un libro? ¿y el de una página?

b) ¿Cómo determinar el volumen de una piedra? Se pone agua en una probeta, se anota el volumen obtenido, y se sumerge una piedra. El nuevo volumen menos el anterior dará el de la piedra.

c) ¿Cómo determinar el volumen de cierta cantidad de arena? Se pone arena en una probeta, llenándola aproximadamente hasta la mitad. Se anota el volumen leído en la escala y se guarda en otro recipiente. Se vuelve a llenar la probeta, esta vez de agua, hasta la mitad aproximadamente y se anota el volumen. Se añade la arena y se anota la nueva medida. ¿Cuál es el volumen de la arena sola?, ¿cuál es el volumen de los huecos entre los granos de arena?

d) ¿Cómo determinar el volumen de una gota? Con un cuentagotas se introduce un número elevado de gotas dentro de una probeta y se anota el volumen total. ¿Cuál es el volumen de una sola?

Una gota de agua, ¿ocupa el mismo volumen que una de alcohol o de aceite? Determinarlo.

8. *Cálculo de densidades.* ¿Qué es la densidad de un cuerpo?, ¿en qué unidades se mide? La densidad, ¿es una propiedad característica?

a) Densidad de líquidos: agua, disoluciones (de sal, azúcar, etc.), alcohol, aceite, etc.

Con una balanza se determina la masa de un recipiente pequeño; se introducen en él 10 cm^3 del líquido elegido, medidos con una pipeta y se determina la masa del conjunto, por diferencia entre esta masa y la del recipiente vacío se halla la del líquido.

¿Cuál es la densidad del líquido?

Ordenar los distintos líquidos según su densidad.

b) Densidad de sólidos: piedras, monedas, etc. Con una balanza se determina la masa del cuerpo elegido y a continuación el volumen por algún procedimiento de los indicados en el apartado anterior (7). La relación entre ambos valores dará la densidad del cuerpo.

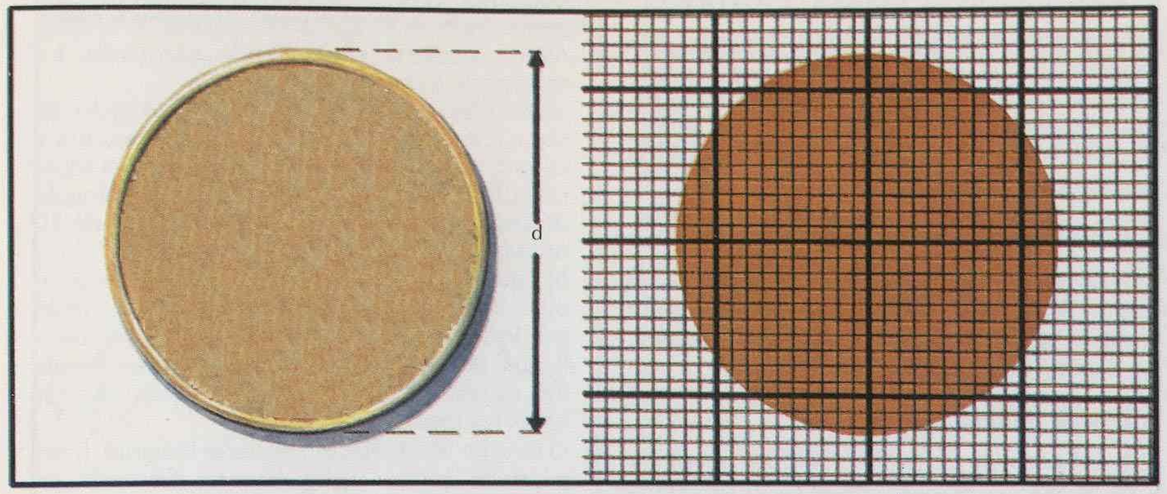


Fig. 1 – La superficie de una moneda puede medirse directamente o aplicando la fórmula: $S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$.

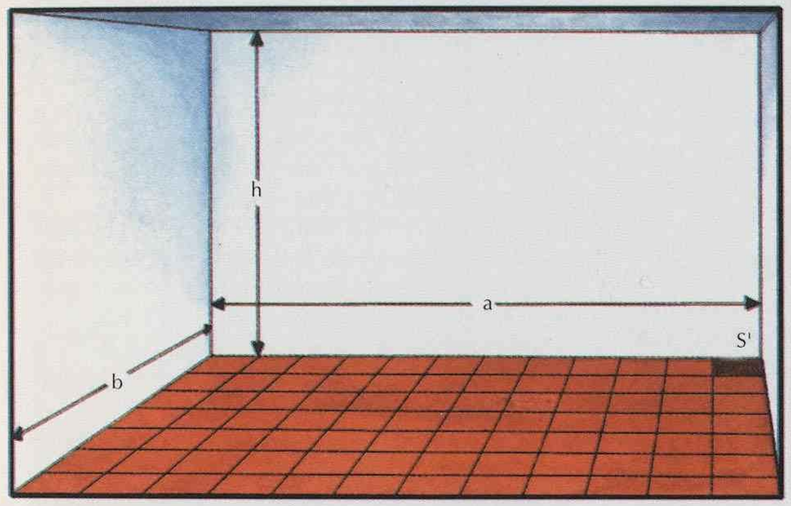


Fig. 2 – S = a × b; $S' = \frac{a \times b}{\text{n baldosas}}$; S = n «baldosas»; V = a × b × h.

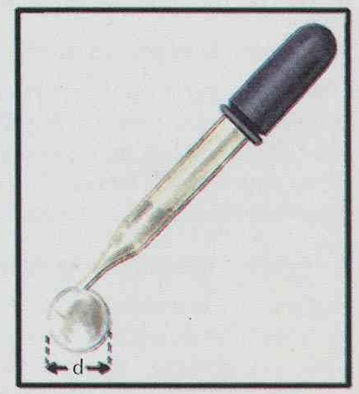


Fig. 3 – Si se actúa con rapidez y precisión, puede medirse el diámetro de una gota y calcular su volumen considerándola esférica.

$$V = \frac{4}{3}\ \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3$$

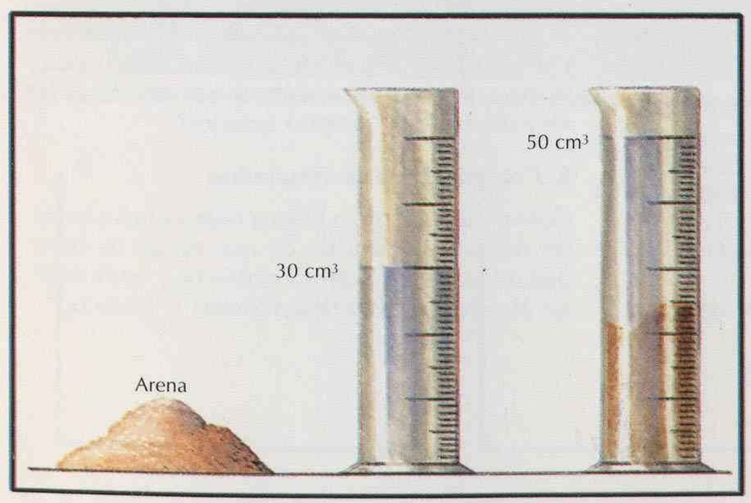


Fig. 4 – El volumen de la arena sola es: 50 cm^3 – 30 cm^3 = 20 cm^3.

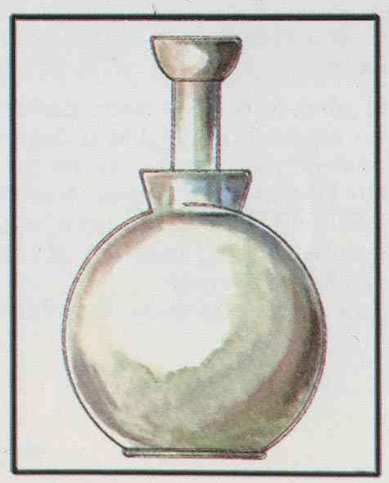


Fig. 5 – Picnómetro: recipiente utilizado para determinar densidades.

APROXIMACIÓN AL TRABAJO CIENTÍFICO

Objetivo: Realizar una pequeña investigación científica suponiendo que se está ante un problema no resuelto y proceder, a grandes rasgos, como lo haría un científico. Para ello el trabajo se divide en las etapas que suelen constituir el denominado «método científico».

1. Planteamiento del problema:

Cuando un péndulo simple (fig. 1) se separa un ángulo de α de su punto de equilibrio (O) y se suelta, empieza a oscilar. ¿Qué magnitudes físicas afectan a su período T?

2. Estudio bibliográfico:

Ante un problema científico se debe averiguar si ya ha sido abordado o resuelto. El problema propuesto está, evidentemente, resuelto, pero se trata de proceder como si no lo estuviera.

3. Emisión de hipótesis:

Obsérvese cómo oscila un péndulo y anótense los factores que parezca que influyen sobre el valor de T. Las hipótesis se deben razonar y eliminar aquellas que no puedan contrastarse experimentalmente con los medios disponibles.

4. Diseño y montaje de la experiencia:

Elegidas las hipótesis que se pretende contrastar experimentalmente, por ejemplo en este caso: «el período depende del ángulo (α) de oscilación, de la masa (m) del péndulo y de su longitud (l)", indíquese: ¿qué experiencia deben realizarse? ¿cómo y con qué medios? También debe preverse la forma de minimizar los errores en las medidas. ¿Entre qué puntos debe medirse la longitud de un péndulo?

5. Realización de la experiencia. Recogida de datos:

El péndulo se debe hacer oscilar en un plano sin separarlo un ángulo α demasiado grande. Midiendo el tiempo «t» de 10 oscilaciones (10 T) se reducen errores. Antes de empezar a medir el tiempo deben tener lugar varias oscilaciones (2 o 3) para que el movimiento del péndulo sea regular.
Para poder establecer la influencia de cada magnitud sobre el período, a lo largo de cada experiencia se va alterando el valor de la magnitud estudiada manteniendo constantes los valores de todas las demás.
a) Estudio de la relación período-ángulo de separación (α): manteniendo fija la masa (m) y la longitud (l) del péndulo, se hace oscilar separándolo diversos ángulos (α). Para cada ángulo de oscilación α se anota el tiempo «t» de 10 oscilaciones.
b) Estudio de la relación período-masa: se mantiene fija la longitud (l) del péndulo y el ángulo (α) de separación y se miden tiempos de oscilación del péndulo cambiando sucesivamente los valores de la masa (m) colgada. Anotar todas las medidas efectuadas.
c) Estudio de la relación período-longitud (l) del péndulo: ¿cómo debe hacerse teniendo en cuenta las indicaciones de las experiencias anteriores y sus resultados?
La mejor forma de recoger los datos es en tablas como las indicadas en la figura 2.

6. Análisis de los datos obtenidos:

Del examen de los datos obtenidos se puede deducir que: «el período de un péndulo simple depende de...(Z)» y «no depende de...».
Para establecer cuantitativamente la dependencia del período (T) de un factor o magnitud (Z) debe recurrirse a la elaboración de tablas y gráficas como las indicadas en las figs. 2 y 3.
¿Qué clase de línea es la de la gráfica Z/T^2? y ¿qué tipo de ecuación matemática corresponde a esta línea?

7. Formulación de la «ley del péndulo simple»:

El análisis anterior conduce a unas conclusiones que constituyen una «ley empírica». ¿Cuál es la ley del péndulo simple?
Si distintos grupos de trabajo con diferentes péndulos han llegado a la misma conclusión, se trata de una ley universal: ¿es universal la «ley del péndulo simple» anterior?

8. Comunicación de resultados:

Cuando un científico llega a unas conclusiones las debe divulgar a fin de que sirvan de base para el trabajo de otros científicos y contribuir así al crecimiento y desarrollo de la Ciencia.

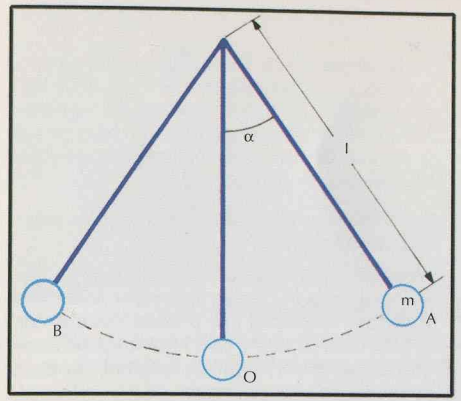


Fig. 1 – *Péndulo simple:* Es un cuerpo suspendido de un punto fijo mediante un hilo inextensible de masa despreciable en comparación con la del cuerpo.
***Período:* Es el tiempo requerido para que el cuerpo realice una oscilación completa; es una magnitud característica de cada péndulo. Se mide en segundos y suele representarse por T.**
El material necesario para realizar la experiencia propuesta es: hilo, cuerpos de distinta masa (o mejor, pesas y portapesas), cronómetro, cinta métrica, transportador y soporte para el péndulo.

α	t = 10 T (s)	T (s)

l = cte. (p. ej. 50 cm)

m = cte. (p. ej. 50 cm)

α = variable (p. ej. 10°, 20°, 30°, 40°)

m	t = 10 T (s)	T (s)

l = variable (p. ej. 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm)

l = cte. (p. ej. 50 cm)

α = cte. (p. ej. 15°)

l	t = 10 T (s)	T (s)

m = variable (p. ej. 25 g, 50 g, 75 g, 100 g)

Fig. 2 – Recogida de datos. Repitiendo varias veces cada medida se minimizan los errores.

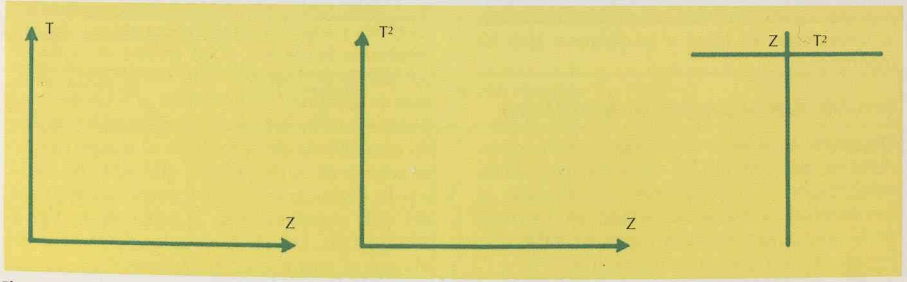


Fig. 3 – Análisis de los datos obtenidos.

El movimiento

El movimiento es un fenómeno físico cuyo estudio requiere establecer un sistema de referencia y medir o calcular cambios de posición, que en ciertos casos pueden coincidir con el espacio recorrido, velocidades y aceleraciones.
En la determinación de velocidades y aceleraciones deben distinguirse valores instantáneos y valores medios, no confundiendo éstos con valores promedio.

TRAYECTORIAS

Se define trayectoria como «la línea que un cuerpo sigue en su movimiento».
Si se observa una línea trazada a lápiz sobre un papel, ¿se puede afirmar que es la trayectoria del lápiz sobre dicho papel? ¿se puede medir la distancia recorrida por el lápiz?
1. Mientras una persona sujeta un lápiz apoyado por su punta sobre una hoja de papel, otra persona tira horizontalmente del papel y lo desplaza
a) en línea recta (siguiendo el borde de la mesa;
b) avanzando y haciéndolo oscilar o dar pequeños giros.
¿Qué líneas se obtienen en estos casos? ¿son las trayectorias del lápiz? ¿qué distancia ha recorrido el lápiz en cada caso?
2. Mientras una persona con la ayuda de una regla traza una línea recta sobre un papel, moviendo el lápiz a velocidad constante, otra persona desplaza el papel en línea recta y a velocidad constante de forma que
a) coincidan las direcciones y sentidos de los movimientos;
b) coincidan las direcciones y los sentidos sean opuestos;
c) las direcciones sean perpendiculares.
¿Cómo son las líneas resultantes?, ¿coincide su dirección con la del movimiento del lápiz o del papel? y a partir de ellas, ¿se puede determinar la trayectoria del lápiz y la distancia que ha recorrido?

ESTUDIO DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO

Objetivos: Establecer relaciones entre tiempos, cambios de posición (o espacios recorridos), velocidades y aceleraciones, clasificando el movimiento (uniforme, acelerado, etc.) a partir de la tabulación de datos experimentales y la representación gráfica de los mismos.

Material necesario: Cinta métrica, cronómetro, bola de acero, riel metálico de 2 o 3 m de longitud (puede servir una mesa larga de superficie lisa), nivel, nueces y soportes, un trozo de riel o de cartulina y papel milimetrado para las representaciones gráficas.

1. Estudio del movimiento de una bola sobre una superficie horizontal.

Montaje experimental: Se pretende conseguir que una bola de acero se mueva sobre una superficie horizontal (riel o mesa) siempre con la misma velocidad y para ello se fija un trozo de riel, de 20 o 30 cm de longitud, un poco inclinado en un extremo del plano horizontal, y se deja caer la bola siempre desde el mismo punto, señalando sobre el riel inclinado (fig. 3). El origen del movimiento que se estudia es el punto en el que la bola empieza a moverse sobre el riel horizontal. Este punto se toma como origen de coordenadas, x = 0, y a partir de él se señalan distancias cada 0,5 m.
Realización de la experiencia y recogida de datos: Se deja caer la bola, sin comunicarle nigún impulso, siempre desde el mismo punto, y se empieza a cronometrar cuando llega a x = 0, parando el cronómetro cuando llega a la primera señal. Se repite esta medida varias veces y se calcula el valor medio (t) de los tiempos obtenidos. Realizando este proceso para cada una de las distancias señaladas se completa la tabla de la fig. 4.
Análisis de los datos obtenidos y conclusiones: *a*) representar gráficamente x (posiciones) frente a t (tiempo transcurrido para alcanzarlas). ¿Cómo es la gráfica resultante? ¿corresponde a una ecuación del tipo x = kt (k es una constante)? ¿qué significado físico tiene k y en qué unidades se mide? *b*) calcular la velocidad media (v_m) para cada uno de los desplazamientos medidos y representar gráficamente los valores obtenidos frente a t. ¿Qué gráfica se obtiene? ¿se puede afirmar que este movimiento, además de rectilíneo, es uniforme? *c*) A fin de completar el esudio anterior, a continuación, dejando caer la bola siempre desde el mismo punto, se cronometran los tiempos que tarda en recorrer la distancia entre dos puntos cualesquiera del riel, completándose la tabla de la fig. 5 (lámina C/1). El análisis de estos datos, ¿confirma que el movimiento es uniforme?

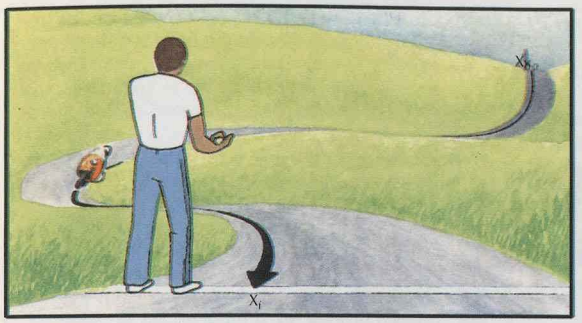


Fig. – 1 Si x_0 es la posición inicial de un móvil y al cabo de un tiempo t está en x_f (posición final), se define la velocidad media: $v_m = \frac{x_f - x_0}{t}$.
Si v_m es constante para cualquier intervalo de posición o tiempo, el movimiento es uniforme.

Fig. 2 – El velocímetro de un vehículo no mide velocidades medias (v_m) sino instantáneas (v_i). Si un móvil tiene una velocidad v_0 y al cabo de un tiempo t su velocidad es v_f, su aceleración media (a_m) es:

$$a_m = \frac{v_f - v_0}{t} .$$

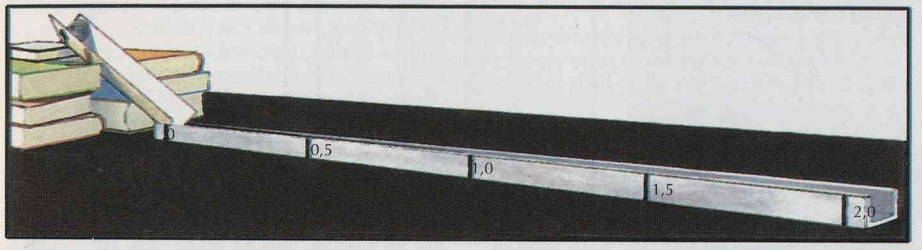


Fig. 3 – Montaje experimental. El riel debe colocarse de forma perfectamente horizontal, comprobándolo con el nivel en distintos puntos del mismo. El riel y la bola deben ser perfectamente lisos a fin de minimizar los efectos del rozamiento. A fin de no comunicar ningún impulso a la bola, ésta puede aguantarse sobre el riel inclinado mediante un listón (una regla o un lápiz) y levantarlo cuando se desee. La llegada de la bola a cada una de las señales será más perceptible si en ellas se coloca un pequeño obstáculo contra el que choque. En lugar del trozo de riel inclinado puede usarse una cartulina doblada en forma de v.

Posiciones Inicial x_0	Posiciones Final x_f	Desplazamiento $x_f - x_0$	Medidas efectuadas 1.ª t_1	2.ª t_2	3.ª t_3	Valor medio $t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$
0	0,5	0,5 – 0 = 0,5				
0	1,0					
0	1,5					

Fig. 4– Recogida de datos.

Posiciones x_0	Posiciones x_f	Desplazamiento $x_f - x_0$	Medidas efectuadas t_1	t_2	t_3	Valor medio t	Velocidad media $V_m = \frac{x_f - x_0}{t}$
0,5		1,5 – 0,5 = 0,5					
0,5	2,0						
1,0	1,5						
1,0							

Fig. 5 – Recogida de datos. Cálculo de la velocidad media.

2. Estudio de la caída libre.

Resulta sencillo observar una caída libre y responder a la primera cuestión que se puede plantear: ¿cómo es la trayectoria que sigue un cuerpo al caer? Se debe considerar una caída desde una altura moderada (pocos metros) y sin viento y distinguir entre la trayectoria de un cuerpo «pesado» (moneda, piedra) y la de uno ligero (papel o pluma) que siempre parece distinta. Un objeto pesado y uno ligero, además de diferenciarse en la trayectoria de caída, se distinguen por la «rapidez» de ésta. ¿Es correcto afirmar que la rapidez de caída es una propiedad debida al peso? (fig.1).

Experiencias breves:

a) Se toman dos hojas de papel iguales, una de ellas se arruga formando una bola de papel compacta y ambas se dejan caer simultáneamente desde la misma altura. ¿Cuál llega antes al suelo?, ¿por qué?

b) Se coloca una moneda y un trozo de papel dentro de una caja abierta por la parte superior y se deja caer el conjunto. ¿Qué llega antes al suelo: la moneda o el papel?

A continuación se hacen varios agujeros en el fondo del recipiente, se introducen de nuevo la moneda y el papel y se deja caer otra vez el conjunto. ¿Cuál es ahora la respuesta a la pregunta anterior?

c) Si se dispone de algún sistema para hacer el vacío (p. ej. una trompa de agua) y de un tubo largo de vidrio grueso que se pueda cerrar herméticamente y conectar al sistema de vacío, se introducirá una moneda (o una bolita) y un trozo de papel dentro del tubo. Se extrae el aire y se dispone el tubo verticalmente observando si los cuerpos de su interior caen juntos o no. Si no se puede realizar esta experiencia pero se han hecho las anteriores, ¿cual es el resultado previsible de ésta? (fig. 2).

Se presenta otro problema: ¿el movimiento de caída es uniforme o acelerado?

Cuando se deja caer un cuerpo, en un tiempo breve (Δt) pasa de estar en reposo ($v_o = 0$) a poseer una cierta velocidad ($v_f \neq 0$) por tanto se puede concluir que, por lo menos en los instantes iniciales, la caída es un movimiento acelerado. Y surge una nueva pregunta: ¿es un movimiento unifomemente acelerado?, cuya respuesta requiere efectuar medidas de alturas y tiempos de caída (fig. 3).

La duración de una caída libre desde pocos metros de altura es demasiado breve para ser medida con precisión con un cronómetro sencillo (que aprecie décimas de segundo) por lo que se está ante un problema de diseño experimental. Caben varias soluciones, debiéndose elegir la que se pueda llevar a cabo con los medios diponibles aunque no sea la mejor:

a) Dejar caer los cuerpos desde grandes alturas.

b) Idear y utilizar sistemas muy precisos de medición de tiempos.

c) Usar algún dispositivo que retarde el movimiento de caída, así si se «dilata» el tiempo de caída se podrá medir con precisión.

Con los medios disponibles tampoco es posible eliminar el aire, por lo que debe idearse el dispositivo que minimice el rozamiento.

3. Estudio del movimiento de una bola sobre una superficie inclinada.

Observaciones: Para resolver el problema de la rapidez de una caída y del rozamiento con el aire, se propone adoptar la solución ideada por Galileo (fig. 5), consistente en dejar caer una bola por un plano inclinado (riel).

Se debe dejar caer la bola siempre desde el mismo punto y sin comunicarle ningún impulso. El punto origen ($x = 0$) del movimiento que se quiere estudiar es aquel desde el que se deja caer la bola.

Cuando se realizan representaciones gráficas a partir de datos experimentales deben aceptarse ciertos márgenes de imprecisión y no pretender que la gráfica pase por todos los puntos. Una vez representados todos los puntos deben ensayarse varias gráficas a fin de determinar la que encaje mejor con todos ellos.

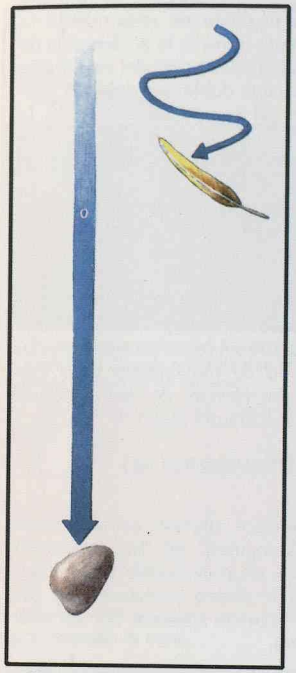


Fig. 1 – Los objetos «pesados» caen más veloces que los «ligeros». El rozamiento con el aire es el responsable de esta diferencia.

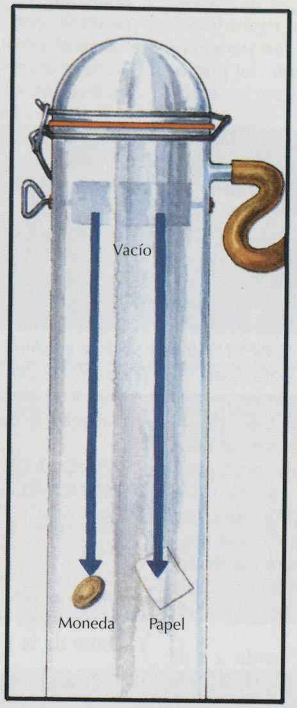


Fig. 2 – Si se elimina el rozamiento con el aire todos los objetos caen a igual velocidad.

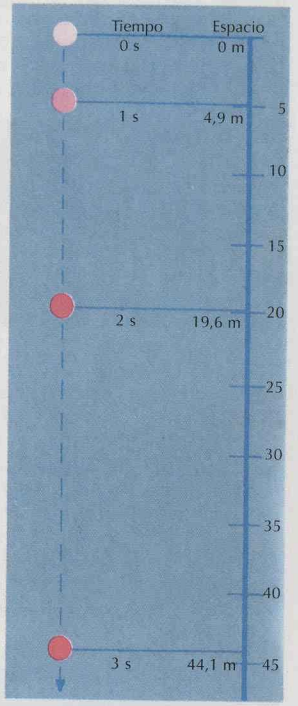


Fig. 3 – En intervalos de tiempo iguales, el espacio recorrido en una caída libre se hace cada vez mayor.

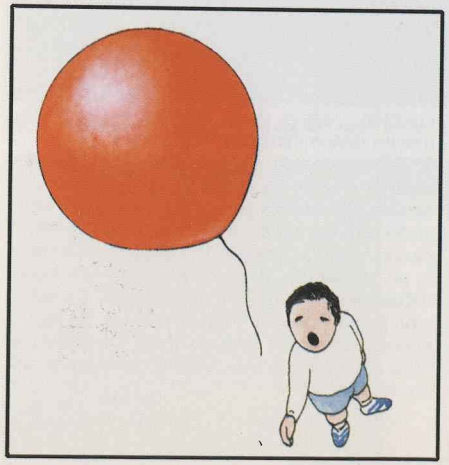


Fig. 4 – Los globos ¿se «caen hacia arriba»? Esta paradoja se debe al aire y se justifica a partir de las propiedades de los fluidos.

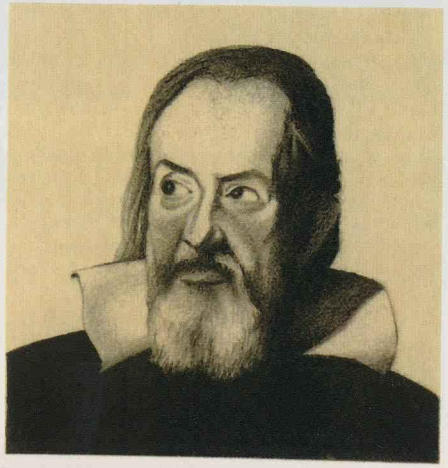


Fig. 5 – Galileo Galilei (1564-1642) fue el primero en estudiar científicamente el movimiento de caída de los cuerpos.

Montaje experimental: Tal como se indica en la fig. 1, se coloca el riel con una ligera inclinación y se apoya por distintos puntos para evitar su tendencia a curvarse. A partir del punto x = 0, sobre el riel se señalan distancias cada 0,5 m.

Realización de la experiencia y recogida de datos: Se deja caer la bola siempre desde el punto superior x = 0, se mide varias veces el tiempo que tarda en llegar a cada una de las señales. Y se completa una tabla como la de la fig. 2.

Análisis de datos y conclusiones:

a) Representar gráficamente x frente a t.

x representa las posiciones de la bola que coinciden con el espacio recorrido ya que el movimiento ha empezado en x = 0. t es el valor medio de los tiempos medidos para cada x. Para definir mejor esta gráfica puede ser conveniente determinar algún punto más de la misma. Para ello se deben medir los tiempos necesarios para que la bola alcance otras posiciones (p. ej. 0,3 m, 0,8 m, 1,2 m, etc.). Un punto de la gráfica es el (0,0). ¿Por qué?, ¿es una recta la gráfica obtenida?, ¿qué curva es?

b) Calcular la velocidad media para los distintos intervalos indicados en la tabla y realizar una representación gráfica de v_m frente a t. ¿Es constante v_m?

La representación gráfica de v_m frente a t da lugar a una gráfica como la de la fig. 3. ¿Puede preverse cómo serían los sucesivos gráficos que se obtendrían reduciendo cada vez más los intervalos de tiempo?

c) Si la v_m no es constante se trata de un movimiento acelerado. ¿Es un movimiento uniformemente acelerado?

Prosiguiendo con el análisis de datos, se tabulan y representan gráficamente los valores de x frente a t^2 y (fig. 4). ¿Es una línea recta la gráfica obtenida?

Si la gráfica obtenida es una recta, la conclusión es que x es función lineal de t^2, es decir, se cumple una ecuación del tipo: $x = kt^2$ (k es una constante propia del movimiento estudiado).

¿Cuál es la ecuación de un movimiento uniformemente acelerado, sin velocidad inicial y con origen en el origen de coordenadas?

¿Cuál es la aceleración de caída de la bola en el movimiento estudiado?

¿Se puede concluir que la caída de los cuerpos es un movimiento uniformemente acelerado?

Realizada la experiencia anterior, se propone repetirla con la finalidad de responder a la siguiente pregunta: ¿aumenta la aceleración de caída al aumentar la inclinación del riel? Y si la inclinación se hace el doble, ¿se dobla la aceleración? o bien ¿el tiempo de caída será la mitad?

Comentario final: De las experencias anteriores se concluye que

a) Si una bola se deplaza, debido a un impulso inicial, por una superficie horizontal sin rozamiento, lo hace con movimiento uniforme.

b) Si un cuerpo cae libremente, sigue una trayectoria rectilínea y su movimiento es uniformemente acelerado. Si se deja caer a lo largo de un plan inclinado sin rozamiento, se produce el mismo tipo de movimiento pero con menor aceleración. El valor de ésta se regula variando la inclinación del plano.

ESTUDIO DE MOVIMIENTOS NO RECTILÍNEOS

Objetivos: Investigar algunas características (trayectoria y velocidad) de tiro horizontal (superposición de un movimiento rectilíneo y un movimiento rectilíneo acelerado) y del movimiento de rotación aparente del Sol alrededor de la Tierra.

1. Estudio del tiro horizontal.

Material necesario: Cinta métrica, bola de acero, nivel, cuña de madera o un trozo de riel, tabla rígida o plataforma que se pueda fijar a diferentes alturas (puede servir una carpeta que se coloque sobre varios libros), hojas de papel carbón, de papel blanco y milimetrado, cinta adhesiva.

Observaciones: Se pretende responder a la cuestión: ¿cómo es la trayectoria del movimiento denominado tiro horizontal?

Se debe encontrar algún sistema que deje grabada la trayectoria o que permita realizar las medidas necesarias para determinarla. La fotografía o filmación del movimiento podría servir para conocer su trayectoria, pero probablemente no se dispone de estos medios y por tanto deben buscarse otros más sencillos. La solución puede consistir en combinar las dos experiencias anteriores relativas a los movimientos cuya superposición es la base del estudio del tiro horizontal.

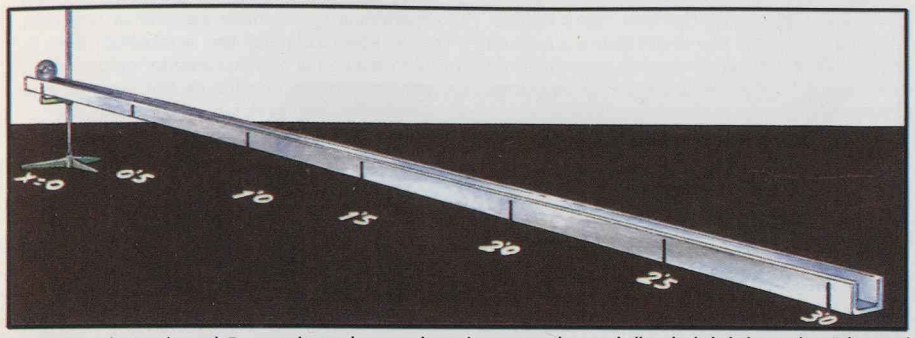
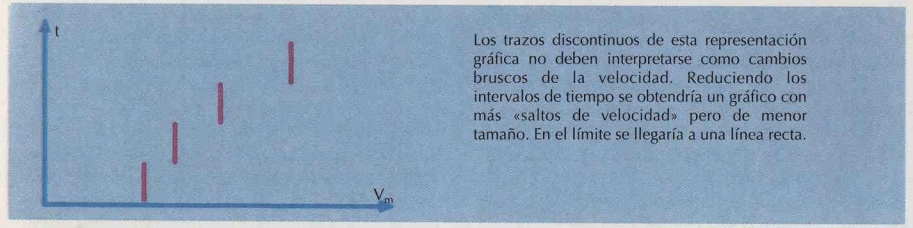


Fig. 1 – Montaje experimental. Es conveniente adoptar un buen sistema para detectar la llegada de la bola a cada señal y repetir las mediciones de cada recorrido para minimizar errores. Si no se dispone de riel, puede utilizarse una mesa larga ligeramente levantada por uno de sus extremos.

Posición		Desplazamiento	Medidas efectuadas			Valor medio
inicial x_0	final x_f	$x_f - x_0$	1.ª t_1	2.ª t_2	3.ª t_3	$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$
0	0,5	0,5				
0	1,0	1,0				
0	1,5	1,5				

Fig. 2 – Recogida de datos.



Los trazos discontinuos de esta representación gráfica no deben interpretarse como cambios bruscos de la velocidad. Reduciendo los intervalos de tiempo se obtendría un gráfico con más «saltos de velocidad» pero de menor tamaño. En el límite se llegaría a una línea recta.

Fig. 3 – Representación gráfica de la velocidad media frente a t.

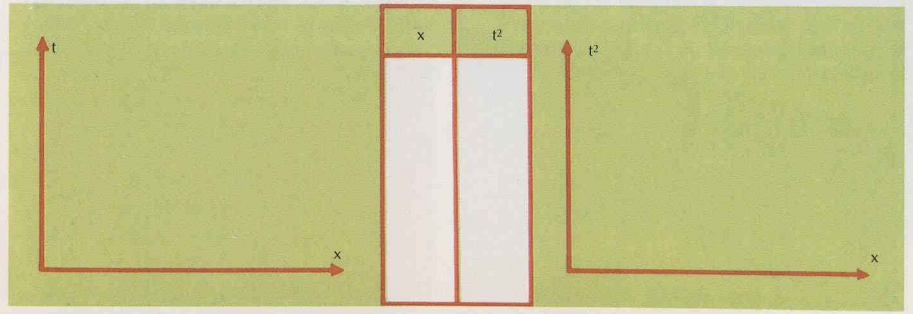


Fig. 4 – Análisis de los datos obtenidos. La ecuación del movimiento uniformemente acelerado con origen en el origen de coordenadas y velocidad inicial nula es: $x = (1/2)\ a\ t^2$.

Montaje y realización de la experiencia: Se dispone una tabla rígida con una ligera inclinación (fig. 1) y sobre ella se adhiere una hoja de papel milimetrado de forma que unas líneas de éste coincidan exactamente con la horizontal (comprobarlo con un nivel) y así las líneas perpendiculares a las anteriores coincidirán con la máxima pendiente de la tabla.

Se fija una pequeña rampa (cuña de madera) en uno de los extremos superiores de la hoja, comprobando que su dirección coincida con las líneas horizontales del papel. La inclinación de la rampa se regulará de forma que permita que la trayectoria de la bola al caer sea lo más larga posible dentro de la hoja de papel.

Hechas las comprobaciones anteriores, se fija una hoja de papel carbón sobre la de papel milimetrado y se deja caer por la rampa una bola de acero, suficientemente pesada para que al moverse sobre el papel carbón deje impresa la trayectoria sobre el milimetrado. Es conveniente, en general, repasar con un lápiz el trazado de la trayectoria para apreciarla bien.

Análisis de la trayectoria: Observando la huella dejada por la bola en su caída, se puede concluir que la trayectoria en el tiro horizontal no es rectilínea ni circular. ¿Podría ser una parábola? Si la línea obtenida es una parábola debe cumplir una ecuación del tipo $y = kx^2$, siendo «k» una constante, «x» los deplazamientos horizontales (eje de abscisas) e «y» los desplazamientos de caída por la tabla inclinada. El origen de coordenadas se sitúa en el punto origen del movimiento estudiado.

Establecido el sistema de referencia, completar la tabla (figs. 2 y 3), eligiendo valores enteros de «x» a fin de facilitar los cálculos. Los valores de la relación y/x^2, ¿son del mismo orden?

En caso afirmativo se concluye que la trayectoria estudiada es parabólica.

La relación anterior es la constante «k» de la ecuación de la parábola. ¿Qué significado físico tiene?

Estudiar las variaciones de la trayectoria al variar la inclinación de la tabla y la de la rampa.

Observaciones: Se propone ahora realizar una experiencia que permita calcular la ecuación de la trayectoria del tiro horizontal. Éste se obtendría con el montaje anterior colocando la tabla con una inclinación de 90°, pero en esta posición la bola no dejaría ninguna huella.

Se debe diseñar una experiencia en la que una bola se lance horizontalmente, siempre con la misma velocidad, y se puedan medir desplazamientos horizontales (x) frente a caídas verticales (y) a fin de encontrar alguna relación entre ambos. Esta relación es la ecuación de la trayectoria del tiro horizontal.

El movimiento a estudiar empieza cuando la bola abandona la superficie horizontal y por tanto empieza a caer.

Montaje y realización de la experiencia: La mejor forma de obtener un tiro horizontal siempre con la misma velocidad inicial (v_o) es disponer una pequeña rampa (cuña de madera) prolongada por una superficie horizontal.

Las medidas de los distintos valores de «x» frente a los valores de «y» pueden realizarse con dos montajes distintos.

a) Se coloca la rampa sobre una pequeña plataforma que se puede desplazar a lo largo de un soporte vertical (fig. 5). Se suelta la bola siempre desde el mismo punto de la rampa y cae hasta el suelo. La mejor forma de detectar el punto de impacto es colocar un papel en el suelo y encima una hoja de papel carbón. Para facilitar las medidas es conveniente colocar en el suelo papel milimetrado con origen en la vertical del punto en el que empieza el «tiro horizontal». Para cada altura «y», que se va variando gradualmente, se deben efectuar varios lanzamientos, obteniéndose distintos valores de «x» (x_1, x_2, x_3) con los que se calcula su valor medio ($\bar{x}$). Con estos valores completar la tabla (fig. 4).

En lugar de un soporte vertical, para obtener distintos valores de «y» resulta muy sencillo y cómodo colocar distintas cajas o libros debajo de la rampa.

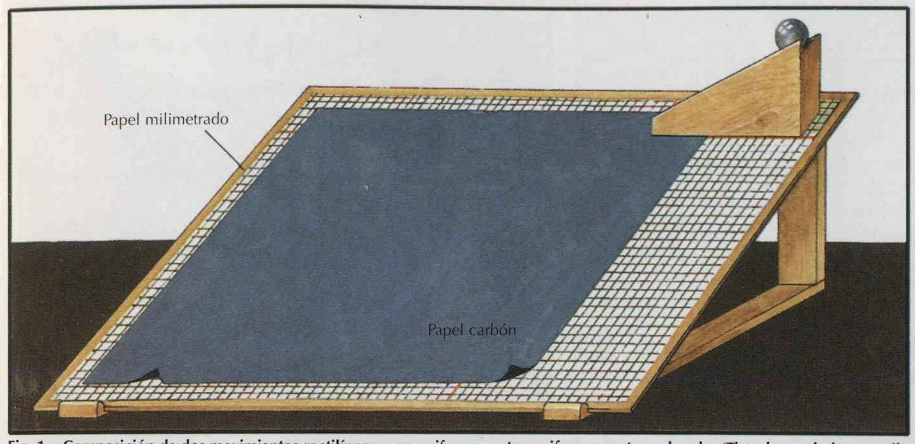


Fig. 1 – Composición de dos movimientos rectilíneos, uno uniforme y otro uniformemente acelerado. (Tipo de movimiento análogo al tiro horizontal.)

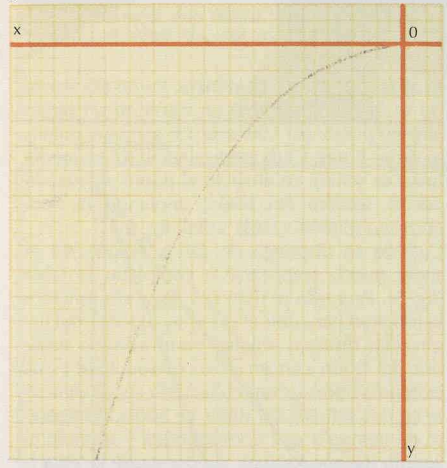


Fig. 2 – Como «unidad» de medida se toma la longitud del lado de un cuadrado.

y	x_1	x_2	x_3	x (Valor medio)

Fig. 4 – Recogida de datos.

x	y	x^2	y/x^2
10			
20			
30			
40			

Fig. 3 – Análisis de datos. $K = y/x^2$.

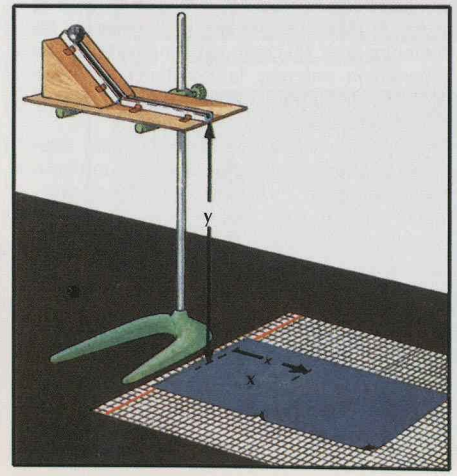


Fig. 5 – Tiro horizontal.

b) Sobre una mesa se coloca una rampa perpendicular al borde y a unos 10 cm del mismo, y se deja caer la bola de forma que choque contra un obstáculo vertical (una pared o una caja) en el que, para detectar el punto de impacto, se ha adherido una hoja de papel y encima una de papel carbón. Si el papel es milimetrado y con origen en el punto en el que empieza el «tiro horizontal», se facilitan las medidas a efectuar (fig. 1). Con este montaje, el valor del desplazamiento horizontal (x) es la distancia entre el borde de la mesa y el obstáculo; el valor de «y» es la altura de la que la bola cae desde que se separa de la mesa hasta que choca con el obstáculo. Alejando progresivamente la mesa del obstáculo, se fijan distintas distancias «x» y para cada una de ellas se efectúan dos o tres lanzamientos de la bola; así se obtienen varios valores de «y» (y_1, y_2, y_3) con los que se calcula su valor medio (media aritmética) y se completa la tabla de la fig. 2.

Observación: Si se quiere precisar el valor de las coordenadas o desplazamientos «x» e «y», el origen de coordenadas de las mediciones que se efectúan debe situarse en el centro de la bola y no en el borde de la mesa o plataforma horizontal desde la que se efectúa el lanzamiento.

Análisis de datos: Obtenida la tabla de valores x/y, se procede a su representación gráfica. ¿Es una parábola esta gráfica resultante?, ¿corresponde a la trayectoria de la bola?

A fin de confirmar que se trata de una parábola, se calculan los valores de x^2 para cada «y» y la relación y/x^2 como se indica en la tabla de la fig. 3. ¿Son coincidentes los valores de los cocientes y/x^2? Tal como se ha indicado en una experiencia anterior, la constancia de este cociente indica que la gráfica correspondiente es una parábola.

Teniendo en cuenta que el movimiento estudiado se considera superposición de uno horizontal uniforme y de otro vertical uniformemente acelerado, se cumple:

$$x = v \cdot t,\ y = \frac{1}{2} g t^2,\ \text{de donde}\ t = \frac{x}{v}$$

y por tanto

$$y = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v}\right)^2 = \left(\frac{g}{2v^2}\right) x^2 = kx^2 \ \text{siendo}\ \frac{g}{2v^2}$$

un valor constante (k) para cada valor de la velocidad (v) de salida de la bola al separarse de la mesa.

2. Determinación de la velocidad de rotación aparente del Sol.

Observaciones y planteamiento del problema: Cada día el Sol sale por un lado, recorre un arco, a diferente altura sobre el horizonte según la época del año, y desaparece por el otro lado.

Se plantea responder experimentalmente a la cuestión: ¿a qué velocidad angular gira el Sol alrededor de nuestro punto de observación? y, ¿esta velocidad es uniforme?

El trabajo que se debe realizar es medir ángulos girados por el Sol en diferentes intervalos de tiempo.

Material necesario: Listón que se pueda fijar o clavar firmemente en el suelo, hilo, transportador y reloj.

Realización de la experiencia: En un día soleado se fija verticalmente un listón en un punto que no pueda ser cubierto por sombras durante varias horas. Cada cierto tiempo (p. ej. media hora) se señala en el suelo el punto alcanzado por la sombra del listón, anotando la hora correspondiente a cada señal (fig. 4).

Cuando se disponga de varias señales en el suelo puede empezarse a completar la tabla (fig. 5). Para ello se fijan dos hilos (de suficiente longitud para unir el extremo superior del listón y las distintas señales) en el extremo superior del listón con un clavo o chincheta y sus extremos libres se van colocando sucesivamente en dos señales del suelo, se anota el intervalo de tiempo a que corresponden y se mide el ángulo (α) que forman. ¿Es constante la velocidad angular aparente del Sol?

El Sol parece que describe un arco. ¿Puede afirmarse que la sombra de un objeto, situado en cualquier punto de la Tierra, también gira alrededor de él?

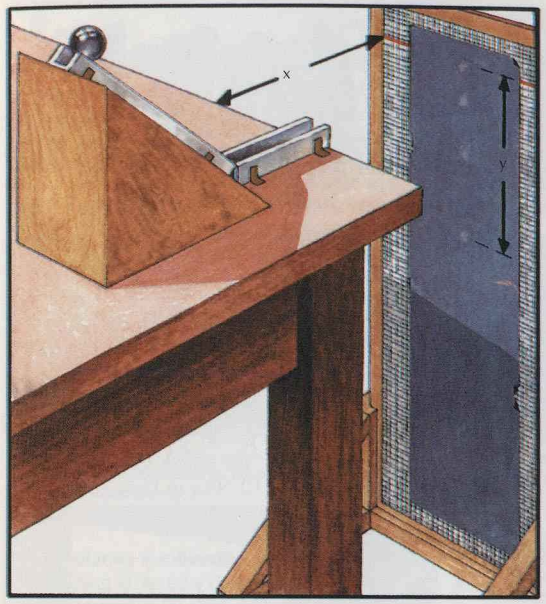


Fig. 1 – Tiro horizontal.

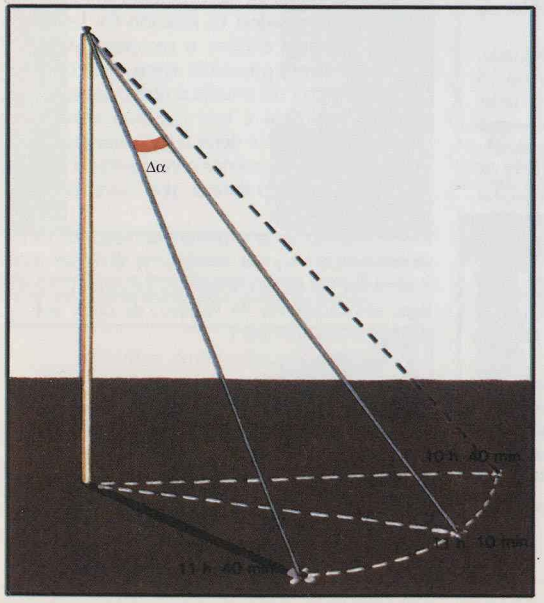


Fig. 4 – Velocidad de rotación aparente del sol.

x	y_1	y_2	y_3	y_{media}

Fig. 2 – Recogida de datos.

y	x^2	y/x^2

Fig. 3 – Análisis de los datos obtenidos.

Intervalo de tiempo Δt	Ángulo girado Δα	Velocidad angular $\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$

Fig. 5 – Recogida y análisis de los datos.

Las fuerzas

¿Qué son y cómo se perciben o detectan las fuerzas?

Las fuerzas no se pueden tocar, no se ven y tampoco pueden oírse; entonces ¿cómo es posible detectarlas?

Una fuerza no es un cuerpo material y por tanto ningún sentido permite «verla», pero es fácil ver los efectos de la misma.

Estos efectos pueden agruparse en dos tipos:

1) Cambios del estado de movimiento.

2) Deformaciones.

¿Pueden existir fuerzas que no produzcan cambios en el estado de movimiento de un cuerpo ni lo deformen?; ¿pueden detectarse estas fuerzas?, ¿cómo? (figs. 1 y 2).

Actividad:

1) Hacer una relación de cambios de movimiento indicando la fuerza que actúa.

2) Clasificar cuerpos o materiales conocidos en elásticos y no elásticos.

ESTUDIO DE LAS FUERZAS ELÁSTICAS

Objetivos: Establecer alguna relación entre las fuerzas aplicadas a un cuerpo elástico y la deformación producida, calculando el valor de la constante elástica o recuperadora.

Deducir alguna aplicación del estudio efectuado.

Material necesario: Una goma elástica de 15 cm o más de longitud o, mejor, un muelle; cinta métrica o regla graduada en mm; cuerpos de masa conocida: en casa se dispone de paquetes de galletas o de pasta de sopa o de arroz o azúcar, etc., cuyas masas suelen oscilar entre 100 g y 1.000 g, y en el laboratorio se dispone de pesas; un dispositivo para colgar los cuerpos anteriores de la goma o el muelle: puede servir una bolsa o un vaso o portapesas; un soporte para colgar la goma elástica o el muelle: en casa puede servir el marco de una puerta o una escalera.

Montaje y realización de la experiencia: Se fija la goma o muelle en un punto elevado sobre el suelo y se sujeta una bolsa (o un portapesas) en su extremo inferior, colocando algún cuerpo en su interior a fin de que la goma quede tensada (fig. 3). Se mide y anota la longitud (l_o) de la goma o muelle (no del conjunto con el cuerpo colgado). A continuación se van colgando distintas masas, midiendo para cada una la nueva longitud (l) de la goma elástica y por diferencia con la longitud inicial (l_o) se obtiene el alargamiento en cada caso. Este alargamiento puede medirse directamente si se fija una regla vertical y junto a la goma de forma que el «0» coincida con el extremo inferior de ésta y la graduación crezca hacia abajo.

Observaciones: Los datos tomados relacionan «masas colgadas» con «alargamientos producidos». Estos alargamientos no se deben a la «masa» (m) del cuerpo colgado sino a su «peso» (p). Estas dos magnitudes no deben confundirse y se debe recordar que en el Sistema Internacional de unidades la masa se mide en kg y el peso, que es una fuerza, en newton (N). La relación es $p = m \cdot g$, siendo g la intensidad del campo gravitatorio que puede tomarse aproximadamente como 10 N/kg (o bien 10 m/s^2), y permite calcular la fuerza aplicada al muelle en cada caso (fig. 4).

Análisis de los datos obtenidos y conclusiones: Completar la tabla (fig. 4) y trazar la gráfica que relaciona fuerzas aplicadas (F) y alargamientos producidos (x). ¿Hay una relación lineal entre estas dos magnitudes? La relación F/x se denomina «constante elástica o recuperadora» (k). ¿Qué relación es previsible entre esta constante y la «dureza» del muelle u otro material elástico? La respuesta a esta cuestión constituye una hipótesis que se debe constrastar realizando la experiencia anterior con muelles o gomas de distinto grosor o dureza. ¿Era cierta la hipótesis emitida?

La conclusión de la experiencia realizada es la denominada «ley de Hooke» y, al igual que con todas las leyes científicas, se deben investigar sus márgenes de validez, es decir averiguar si se cumple para:

1) Masas tan pequeñas como se quiera.

2) Masas tan grandes como se quiera, resultando claro que para el segundo caso existe un límite que corresponde a la fuerza que rompe el material elástico.

Construcción de un dinamómetro: De acuerdo con los resultados de la experiencia anterior, con un muelle (o goma elástica) y un listón de madera puede construirse un dinamómetro (figs. 5 y 6).

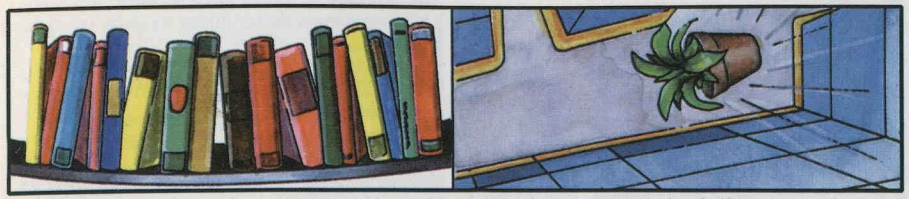


Fig. 1 – Las fuerzas producen deformaciones o cambios en el movimiento de los cuerpos. Pueden clasificarse como «de contacto» y «a distancia».

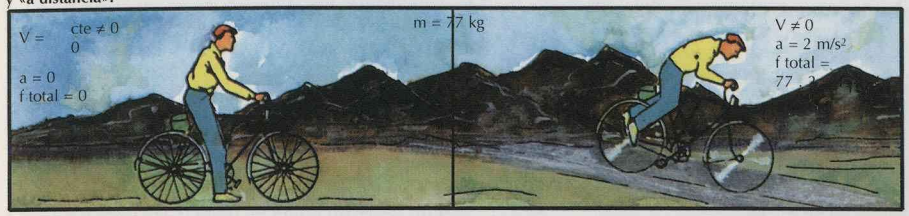


Fig. 2 – La suma de las fuerzas aplicadas a un cuerpo en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme es cero (principio de inercia). Si la suma de las fuerzas no es cero, el cuerpo sufre un movimiento acelerado y se cumple la relación f = m . a (principio fundamental de la dinámica).

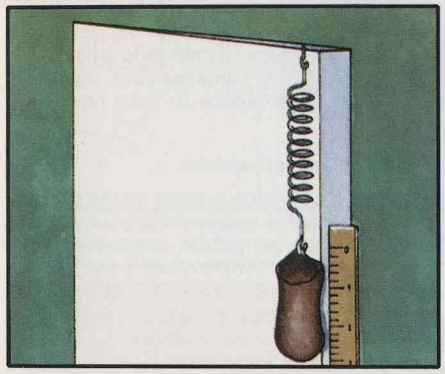


Fig. 3 – Montaje de la experiencia. Si la goma (o muelle) es delgada, pueden usarse monedas iguales como pesas. El «peso de una moneda» puede usarse como «unidad de fuerza».

Masa m (kg)	Fuerza aplicada F = (peso) = m . g (N)	Alargamiento x = l – l_o (m)	$\frac{F}{x}$ = K (N/m)

Fig. 4 – Recogida y análisis de datos. Si se toma la «moneda» como unidad de fuerza, la fuerza aplicada es el número de monedas colgadas del muelle. Ley de Hooke: F = –K . x

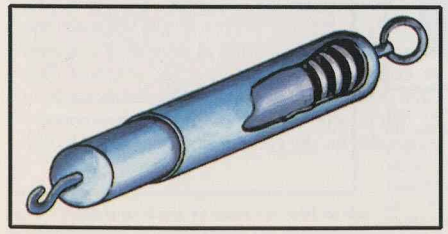


Fig 5 – Dinamómetro (podría denominarse «forcímetro»). Es el instrumento que mide fuerzas. Está constituido por un cuerpo elástico que se deforma al aplicarle fuerzas. De acuerdo con la ley de Hooke, midiendo los alargamientos se mide la fuerza que los provoca.

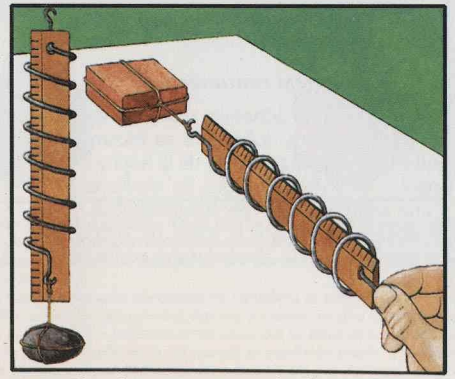


Fig. 6 – Dinamómetro casero. La graduación se establece colgando distintos cuerpos (monedas, paquetes de galletas, etc.) y señalando sobre el listón el alargamiento producido por cada peso.

LAS FUERZAS SON MAGNITUDES VECTORIALES

El estudio de las fuerzas debe dejar claro que son magnitudes vectoriales (diferenciándolas claramente de las escalares), las características de éstas y la forma como se suman.

Material necesario: Dinamómetros, aunque pueden servir, de acuerdo con la experiencia anterior, gomas elásticas o muelles; hilo y una anilla para unir los dinamómetros, regla graduada y transportador.

1. La fuerza es un vector deslizante.

Mediante un hilo se une un objeto (p. ej. un libro, un ladrillo) y un dinamómetro (fig. 1). Si se tira del dinamómetro en distintas direcciones, tanto en un plano horizontal como vertical, ¿la fuerza para mover el objeto es siempre la misma? y, ¿se mueve siempre hacia el mismo sitio?

Si se tira del dinamómetro siempre en la misma dirección y sentido, pero se va variando la longitud «l» del hilo que lo une al objeto arrastrado, ¿varía la fuerza requerida para ello?

2. Las fuerzas se crean por parejas.

Se unen dos dinamómetros directamente o mejor mediante un hilo y una anilla y uno de ellos se fija o se sujeta con la mano por su extremo libre de forma que pueda girar alrededor de él (fig. 2). Se tira del otro dinamómetro sucesivamente en distintas direcciones hasta que indique una fuerza F: ¿qué valor indica el otro dinamómetro?, ¿qué ángulo forman los dinamómetros?

Indíquese en cada caso la fuerza (módulo, dirección y sentido) que hace cada dinamómetro sobre la anilla.

3. Suma de fuerzas concurrentes.

Se fija (con cinta adhesiva) una hoja de papel sobre una mesa y sobre ella se trazan líneas que se unan en el centro (0) de la hoja y formen ángulos de 45° entre sí (fig. 3). Mediante hilos y una anilla se unen tres dinamómetros y uno de ellos se fija sobre la mesa de forma que, centrando la anilla alrededor del punto central «0», indique la fuerza «f» y su dirección coincida con alguna de las líneas trazadas (p. ej. la línea «A0»).

Tirando de los dos dinamómetros, D_1 y D_2, según las direcciones de las líneas trazadas sobre el papel (ambos en la misma dirección y sentido igual u opuesto o en dos direcciones distintas) se debe intentar conseguir que la anilla quede centrada alrededor de 0, con lo que el dinamómetro fijo siempre marcará el valor f establecido inicialmente. Variando las direcciones de tracción de D_1 y de D_2, se van anotando los valores de las fuerzas que señalan y se completa la tabla de la fig. 3. ¿Qué relación tiene f con f_1 y f_2? y,¿f_1 (o f_2) con f y f_2 (o f_1)? ¿Se consigue siempre centrar la anilla alrededor de 0?

A continuación se procede a sumar gráficamente las fuerzas f_1 y f_2. Para ello se dibujan a escala (p. ej. cada unidad de fuerza igual a un cm) sobre un papel en blanco, o mejor milimetrado, f_1 y f_2 formando en cada caso el ángulo γ correspondiente; trazando una paralela a cada fuerza por el extremo de la otra (fig. 4), se obtiene un paralelogramo cuya diagonal equivale a la suma de f_1 y f_2; ¿midiendo la longitud de esta diagonal y transfomándola según la escala aplicada se obtiene un valor numérico igual a f?

4. Suma de fuerzas paralelas.

Con tres gomas elásticas fuertes e iguales de longitud «l» (o muelles o dinamómetros), un listón ligero y objetos que puedan colgarse por los extremos se realiza el montaje de la fig. 5. Una goma unida al punto medio «B» del listón se cuelga de un soporte y se mide su longitud «l» (si el listón es ligero puede tomarse $l_i = l$). Por medio de las otras dos gomas se cuelgan objetos en dos puntos C y E del listón de forma que éste permanezca en equilibrio horizontal. Se miden las longitudes de las gomas: l_1, l_2, l_3 y se calculan los incrementos: $\Delta l_1 = l_1 - l$, $\Delta l_2 = l_1 - l$ y $\Delta l_3 = l_3 - l$. ¿Se cumple que $\Delta l_1 = \Delta l_2 + \Delta l_3$? ¿variando el peso de los objetos se cumple siempre la relación anterior? Para cada peso en D y F se miden las distancias BC y BE con las que el listón permanece horizontal y en equilibrio. ¿Se cumple que $\Delta l_2 \cdot BC = \Delta l_3 \cdot BE$?

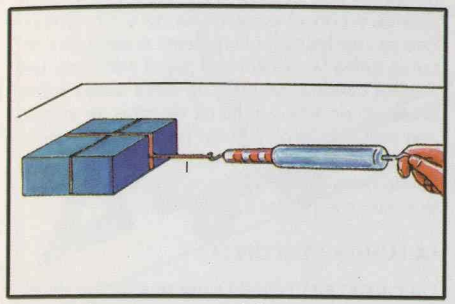


Fig. 1 – Las fuerzas son vectores deslizantes, por tanto su punto de aplicación puede ser uno cualquiera de la dirección que tengan, sin que se alteren los efectos de las mismas. Módulo, dirección y sentido de una fuerza no pueden variar sin alterar también sus efectos.

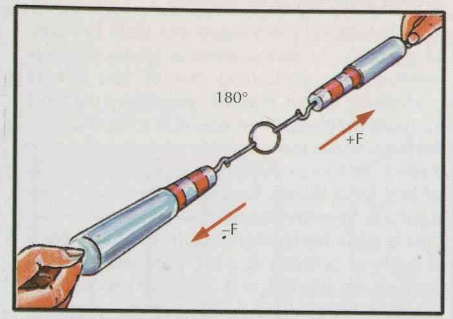
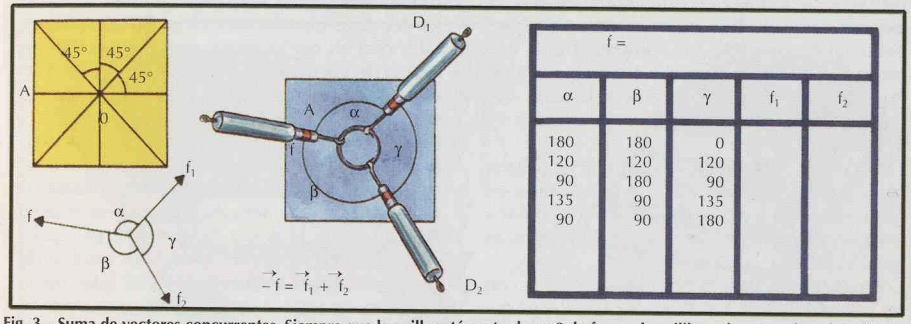


Fig. 2 – Las fuerzas que los dinámometros hacen sobre la anilla son de igual módulo, igual dirección y sentido opuesto. Sólo si se cumple esta condición, un cuerpo sometido a dos fuerzas está en equilibrio.



f =

α	β	γ	f_1	f_2
180	180	0		
120	120	120		
90	180	90		
135	90	135		
90	90	180		

Fig. 3 – Suma de vectores concurrentes. Siempre que la anilla esté centrada en 0, la fuerza f equilibra a las otras dos : f_1 (o f_2) también equilibra a las otras dos. Por tanto las tres fuerzas suman cero.

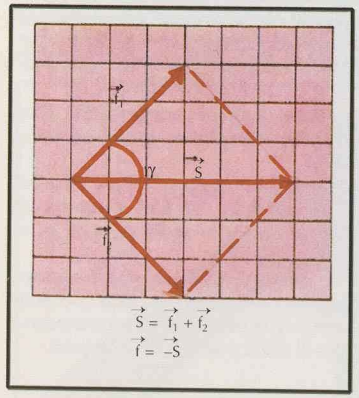


Fig. 4 – Análisis de datos. La suma vectorial de dos de las tres fuerzas es igual a la otra con signo opuesto (fig. 2), siempre que haya equilibrio. Sólo si $\alpha = \beta = 180°$ la suma escalar de f_1 y f_2 es igual al módulo de f. Si $\alpha = 180°$ y $\beta < 180°$, entonces $f_1 = -f$ y $f_2 = 0$.

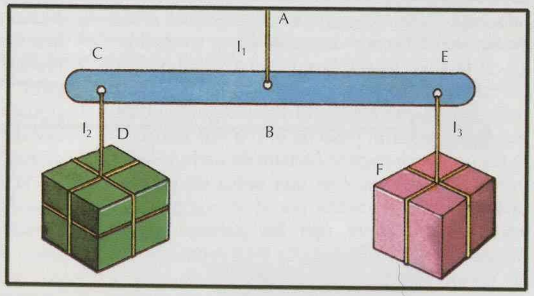


Fig. 5 – Suma de fuerzas paralelas. Dado que los incrementos de longitud de un cuerpo elástico son proporcionales a las fuerzas aplicadas (ley de Hooke) y que la goma AB soporta el peso de los dos cuerpos en D y F, debe cumplirse: $\Delta l_1 = \Delta l_2 + \Delta l_3$.

Cuando el listón permanece horizontal en equilibrio se cumple: $\Delta l_2 \cdot BC = \Delta l_3 \cdot BE$. Por tanto, la suma de dos fuerzas paralelas es otra fuerza, cuyo módulo es la suma de los módulos de las otras dos (si éstas tienen el mismo sentido) y su punto de aplicación (B) cumple la condición citada, y su sentido es el de las dos fuerzas. La fuerza ejercida en E (Δl_3) es de igual módulo y dirección y sentido opuesto a la resultante de las fuerzas aplicadas en B (Δl_1) y en C (Δl_2).

5. Descomposición de fuerzas.

a) Se coloca un patín sobre una tabla horizontal y en uno de sus extremos se fija un dinamómetro (o goma elástica) con el que deberá medirse la fuerza mínima, paralela a la tabla (f_x), para mantenerlo en equilibrio; en el centro del patín se fija otro dinamómetro con el que se medirá la fuerza mínima perpendicular a la tabla (f_y) que deberá hacerse sobre el patín para separarlo ligeramente de ella.

Con la tabla horizontal (ángulo entre la tabla y el suelo o la mesa $\alpha = 0$), para mantener el patín en equilibrio $f_x = 0$, y al tirar con el dinamómetro vertical, el patín deja de apoyarse, cuando f_y = «peso del patín». A continuación se va inclinando la tabla, aumentando progresivamente el ángulo α, y para cada valor de éste se mide la fuerza f_x que impide descender al patín. Con el otro dinamómetro se tira perpendicularmente a f_x (se compueba con una escuadra) y se determina el valor de la fuerza f_y que separa ligeramente el patín de la tabla. Los datos obtenidos se tabulan como se indica en la figura 1.

Cuando $\alpha = 90°$, ¿cuál es el valor de f_x? y ¿f_y es igual a 0? El peso del patín es equilibrado en cada caso por f_x y f_y, pero la suma numérica (escalar) de estas dos fuerzas, ¿en qué casos es igual al peso?

Compárense los valores obtenidos de f_x y f_y con los valores teóricos: $f_x = P \cdot \text{sen } \alpha$ y $f_y = P \cdot \cos \alpha$.

b) ¿Cuánto peso puede soportar una hoja de papel apoyada por sus extremos? Si se coloca una hoja sobre dos soportes, no aguanta nada, ya que se dobla por su propio peso; sin embargo, si la hoja se dobla en forma de acordeón con pliegues iguales y se apoya por sus extremos (fig. 2) manteniendo los pliegues juntos, puede aguantar el peso de uno o dos libros.

c) ¿Es muy resistente la cáscara de un huevo? Se introduce un huevo en una bolsa de plástico (medida de precaución por si se rompe) y se aprieta fuertemente con las palmas de las manos rodeándolo. ¿Resulta fácil romperlo?

Se rompen varios huevos procurando que la cáscara quede lo más entera posible (por ejemplo golpeándolos por su extremo más estrecho). Con unas tijeras se recortan las cáscaras de forma que queden tres mitades (o cuatro) iguales y con el corte uniforme y sin grietas. Esto se consigue más fácilmente si antes de cortar se rodea la cáscara con papel adhesivo. Las medias cáscaras se colocan boca abajo sobre un trozo de tela y encima de ellas se apoya, con precaución para evitar golpes, una bandeja plana o un libro; encima de éste se van colocando otros libros. ¿Cuántos libros son necesarios para romper las cáscaras?

LA FUERZA CENTRÍPETA

Un cuerpo gira cuando sufre una fuerza dirigida hacia el centro que se denomina fuerza centrípeta.

Se toma un trozo (10-20 cm) de tubo rígido de 1 cm de diámetro, de interior liso y extremos redondeados para evitar que corten al rozar fuertemente un hilo con ellos. Se atraviesa el tubo con un cordel fino y resistente (o hilo de pesca) de 1,5 m de longitud y en un extremo de éste se ata fuertemente una goma de borrar o un tapón de caucho (objeto poco pesado y blando para evitar que rompa algo si sale despedido) y en el otro extremo cuelgan (mediante un gancho de alambre) varias arandelas o tuercas (fig. 3). Se empuña el tubo y se mueve de forma que la goma de borrar (o el tapón) describan un círculo horizontal por encima de la cabeza. En el tramo vertical del hilo, cerca del tubo, se sitúa un clip o pinza que sirve de referencia para mantener el radio de giro constante.

Al hacer girar el objeto, la mano experimenta una fuerza: ¿qué dirección y sentido tiene esta fuerza? ¿parece aumentar con la velocidad de giro?

¿Quién aguanta el contrapeso del extremo inferior del hilo vertical? Se pueden establecer relaciones entre:

1.– la fuerza centrípeta (peso de las arandelas o tuercas) y la velocidad de giro (frecuencia) manteniendo constante el radio de giro y la masa del cuerpo que gira;

2.– radio de giro y frecuencia, manteniendo constante la fuerza centrípeta y la masa que gira;

3.– la frecuencia y la masa que gira manteniendo constantes el radio y la fuerza centrípeta.

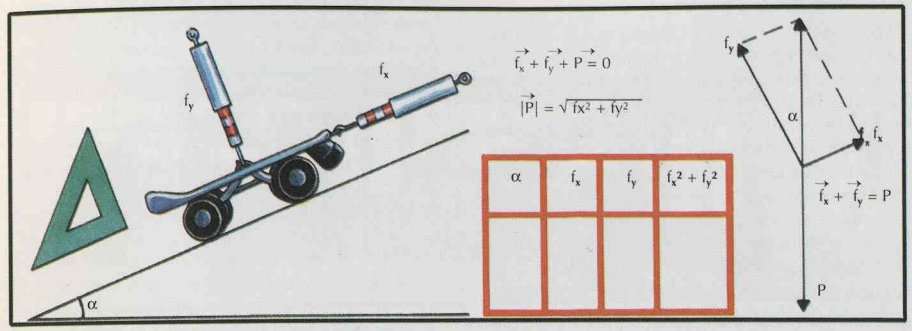


Fig. 1 – El dinamómetro paralelo a la tabla se puede fijar a ésta mediante un gancho o clavo. Las fuerzas f_x y f_y sumadas vectorialmente dan una fuerza de igual módulo y dirección que el peso del patín, pero de sentido contrario (–P); sumados sus módulos escalarmente sólo dan un valor igual al peso cuando $\alpha = 0°$ (f_v = peso, $f_x = 0$) o $\alpha = 90°$ (f_x= peso, $f_y = 0$)

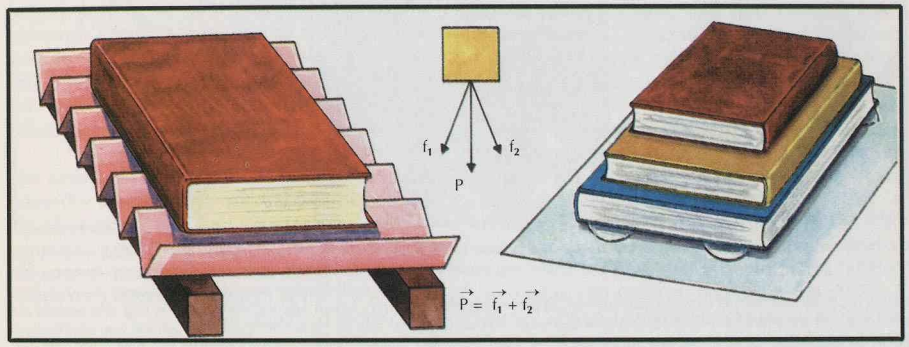


Fig. 2 – La fuerza aplicada sobre una estructura en forma de acordeón (u ondulada como en los tejados) o mejor de bóveda se reparte (descompone) homogéneamente en las direcciones de dicha estructura y no en la del grosor del material. Así el peso que puede soportar depende más de la forma de la estructura que del grosor del material.

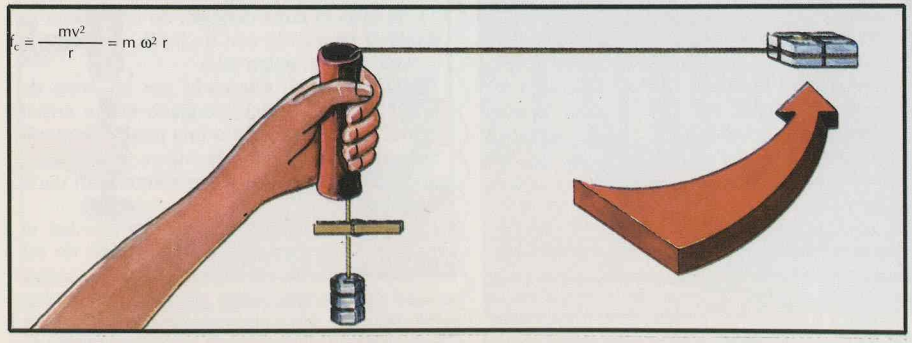


Fig. 3 – El peso de las arandelas se transmite por el hilo y proporciona la fuerza centrípeta necesaria para mantener la rotación del objeto. A su vez el objeto que gira tira del contrapeso (y de la mano) con una fuerza igual y de sentido contrario a la centrípeta. Las magnitudes que intervienen en la rotación son: fuerza centrípeta, radio de giro, masa del cuerpo que gira y velocidad de giro. Manteniendo fijas dos de estas magnitudes con el dispositivo de la figura se pueden establecer, al menos cualitativamente, las relaciones entre las otras dos.

LA INERCIA

El principio de inercia establece que si un cuerpo está en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, prosigue en esta situación mientras no sufra la acción de ninguna fuerza. Cuanto mayor es el cuerpo, mayor ha de ser la fuerza aplicada, o el tiempo de actuación, para producir efectos perceptibles.

Muchas experiencias fáciles de realizar producen efectos sorprendentes o inexplicables si se ignora el principio anterior.

1. Cuando un vehículo arranca bruscamente, ¿quién empuja a los pasajeros contra el asiento? Si se produce un frenazo, la tendencia de los pasajeros es a proseguir hacia adelante hasta que algo los detenga (p. ej. el cinturón de seguridad) (fig. 1).
2. En un ascensor que arranca hacia arriba o frena cuando baja (en ambos casos acelera hacia arriba) se produce la sensación de aumentar el peso sobre las piernas. La sensación opuesta se produce si frena mientras sube o arranca hacia abajo.
3. Si un vehículo entra en una curva a gran velocidad, los pasajeros parecen ser empujados hacia afuera (fig. 2).
4. En una curva resbaladiza (agua o hielo) es fácil que el coche salga de la carretera. ¿Como lo hace, en dirección radial o en dirección tangencial a la curva? (fig. 2).
5. Se ata una piedra en un trozo de cordel y se hace girar en un plano vertical. Cuando la piedra está abajo parece claro que es el cordel quien la retiene, pero cuando está arriba, ¿por qué no cae? Si la piedra se suelta (como en una honda), ¿en qué dirección prosigue su movimiento?
6. Si se deja caer una pelota ligera sobre un disco que gira, sale despedida. El secado por centrifugación mantiene la ropa pegada a las paredes del tambor, mientras las gotas de agua son expulsadas a través de los orificios de éste.
7. Se pone agua en un plato y se tira de éste brusca y horizontalmente. ¿Por qué se derrama el agua?
8. Sobre una hoja de papel o una servilleta se coloca un vaso, plato y cubiertos. Tirando bruscamente de las servilletas, las piezas mantienen su posición sobre la mesa. Si la servilleta se desplaza suavemente, arrastra todo lo que tiene encima. Si se dispone un vaso boca abajo, encima un trozo de papel y sobre éste otro vaso lleno de agua, puede extraerse el papel con un movimiento rápido, sin tocar el vaso de arriba y sin que éste caiga, pero no ocurre lo mismo si el movimiento es lento (fig. 3).
9. Entretenimientos con monedas:

a) Se tapa un vaso con una cartulina y encima, sobre el centro del vaso, se coloca una moneda. Un movimiento suave de la cartulina arrastra a la moneda, un tirón brusco la hace caer dentro del vaso.

b) Una moneda de diámetro grande puede mantenerse en equilibrio en el borde de un vaso. Se determina en qué posición mantiene el equilibrio y entre ella y el vaso se coloca una tira de papel; ensayando algunas veces, se consigue extraer el papel, con un tirón o golpe seco, dejando la moneda en equilibrio.

c) Se apilan monedas iguales (o fichas de juego de damas) y se lanza con fuerza otra moneda resbalando sobre la mesa de forma que choque con la parte inferior de la torre. La moneda inferior de ésta sale disparada y el resto de monedas se mantiene apilado (disminuyendo su altura).

d) Se coloca de canto una moneda gruesa en equilibrio sobre una tira de papel que sobresale por el extremo de una mesa. Tomando el extremo libre de la tira de papel con una mano y dando un golpe fuerte y rápido con la otra, el papel se retira y la moneda permanece en equilibrio sobre su canto.

10 Se introduce un cuchillo en una manzana de forma que quede bien sujeta. Golpeándolo con otro cuchillo o cuchara, etc. sin tocar la manzana, ésta se parte.

11. El tallo (o rama delgada) de una planta se dobla al empujarlo con un listón, pero queda cortado con un golpe seco.
12. Un proyectil disparado por un arma de fuego hace un orificio pequeño en un cristal plano. Si este proyectil o una piedra de tamaño similar se tira con la mano, y por tanto «tiene menos fuerza», hace añicos gran parte del cristal.
13. Si se baja de un vehículo en marcha, al tocar el suelo se produce la sensación de ser empujado hacia adelante y es fácil caerse. ¿Cuál es la mejor forma de bajar para evitar este peligro?, ¿de dónde procede este empujón hacia adelante? (fig. 4).

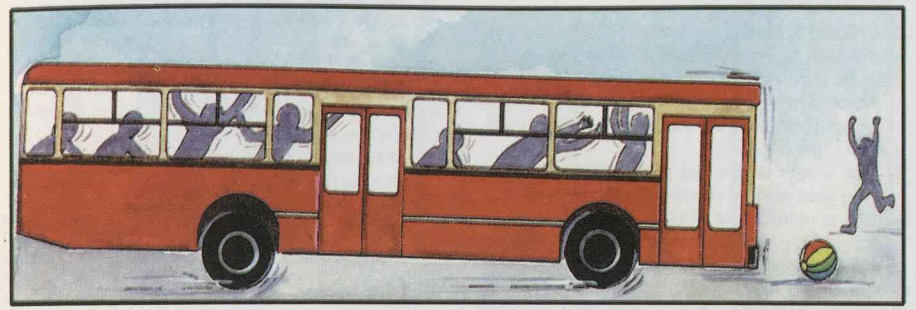


Fig. 1 – Cuando un vehículo acelera en un sentido (al arrancar o frenar), aparentemente los cuerpos situados en su interior son empujados en sentido contrario. Esta apariencia conduce a la idea de «fuerzas de inercia» que pueden considerarse un buen artificio para resolver un problema, pero que no existen.

Fig. 2 – Si se pone agua en un cubo y se le da vueltas en un plano vertical a suficiente velocidad, durante un breve tiempo el cubo está invertido, pero el agua no cae; aparentemente existe una fuerza que mantiene el agua contra el fondo del cubo: es una fuerza ficticia (de inercia) que se denomina «centrífuga».
Un cuerpo sólo gira si está sometido a una fuerza centrípeta (dirigida hacia el centro); si esta fuerza desaparece (p. ej., al soltarse la piedra de una honda, al resbalar un coche en una curva), el cuerpo sigue una trayectoria rectilínea tangente a la curva, mientras que si existiese una fuerza centrífuga, debería seguir una trayectoria radial alejándose del centro de giro. Algunos espectáculos circenses y juguetes infantiles en los que algún vehículo da una vuelta completa en un plano vertical, se basan en las fuerzas indicadas: el único requisito es que el vehículo tenga suficiente velocidad.

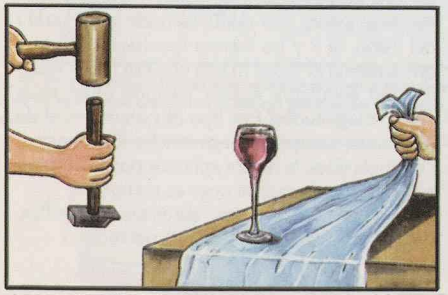


Fig. 3 – Una fuerza aplicada durante un tiempo breve sobre un punto de un cuerpo no se transmite al resto del cuerpo o a los que estén en contacto con él. Así este punto sufre todo el efecto de la fuerza y el resto del cuerpo (o los demás) se queda como estaba, Este mismo principio se usa para afianzar un mango a un martillo o azada: se golpea repetidamente el mango por el lado opuesto a la herramienta sin apoyarla en el suelo.

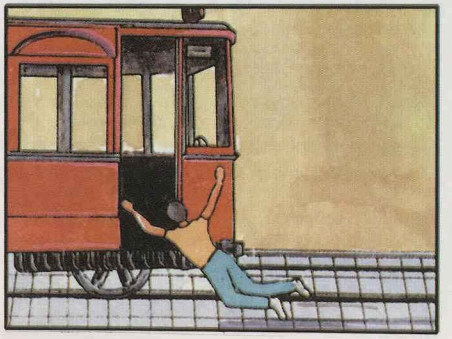


Fig. 4 – Al bajar de un vehículo en marcha, los pies son frenados bruscamente al tocar el suelo, pero el resto del cuerpo sigue con la misma velocidad que tenía y se produce la caída. Si se salta hacia atrás con la misma velocidad que tiene el vehículo hacia adelante, entonces la velocidad respecto al suelo es cero y se mantiene el equilibrio.

MOMENTO DE UNA FUERZA

Cuando se desplaza un cuerpo, el efecto de la fuerza aplicada depende sólo de las características de ésta: módulo (intensidad), dirección y sentido.

El efecto de una fuerza que provoca un giro ¿de qué factores depende?

1. ¿Por dónde se empuja y en qué dirección y sentido para abrir o cerrar una puerta (o ventana)? Si se empuja por el centro de la hoja de la puerta, ¿debe hacerse más fuerza? y, ¿si se empuja a 1 cm de distancia de la bisagra? Se fija un dinamómetro (o una goma elástica) en la manecilla de una puerta y se mide la fuerza mínima para moverla, ¿qué dirección tiene? Fijando el dinamómetro a distintas distancias del eje de giro de la puerta: por ejemplo a 1 cm y a 20 cm de la bisagra, en el centro y en el extremo (puede hacerse clavando chinchetas en el canto inferior o superior de la puerta, donde los orificios no serán visibles) se mide la fuerza mínima necesaria para moverla en cada caso.

Una experiencia similar consiste en disponer una escalera plegable horizontalmente en el suelo y tirar verticalmente con un dinamómetro de la hoja superior, mientras la inferior se sujeta para evitar que la escalera se mueva, a fin de determinar la fuerza mínima necesaria para empezar a levantarla desde distintas distancias al eje de giro. Así se puede completar una tabla como la de la fig. 1 ¿Qué relación se aprecia entre la distancia al eje de giro y la fuerza necesaria para provocarlo?

2. Palancas:

a) Se apoya por el centro un listón rígido sobre un soporte estrecho (p. ej. un lápiz) de forma que quede en equilibrio horizontal. Cada lado del listón se divide en cuatro partes iguales (fig. 2) mediante tres señales sobre el mismo.

Si se colocan 4 monedas en el extremo izquierdo del listón, o en alguna de las tres señales de este lado, ¿cuántas monedas iguales a las anteriores deben situarse en el extremo derecho o en alguna de las tres señales de este lado para equilibrar el listón?

Completando la tabla de la fig. 2, ¿se encuentra alguna relación entre el número de monedas en cada lado y su distancia al centro cuando se equilibran? Esta misma experiencia la realizan los niños cuando juegan en un parque infantil donde haya balancines o «palancas». Intuitivamente las equilibran alejándose o aproximándose al eje de giro.

b) Las balanzas de dos brazos también son una palanca; al pesar, los pesos de ambos lados son iguales si lo son los brazos. Se apoya el listón anterior de forma que la longitud del lado (brazo) izquierdo sea 1/3 de la del derecho (para ello debe apoyarse por donde antes se hizo la señal «1/2 l») y se equilibra añadiendo el peso necesario (p. ej. plastelina, clavos, monedas). ¿Dónde? (fig. 3).

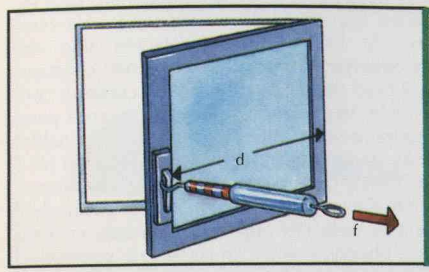
Si a continuación se coloca una o más monedas en el extremo derecho, ¿cuántas deben colocarse en el extremo izquierdo para equilibrar de nuevo el listón? Aunque las monedas de la derecha y de la izquierda se equilibran, no están en igual número y por tanto no pesan igual en conjunto.

Los productos:

(n° de monedas de la derecha) x (longitud del brazo derecho) y (n° de monedas de la izquierda) x (longitud del brazo izquierdo) ¿Son iguales?

c) Se apoya un listón por uno de sus extremos sobre una mesa y por el otro se sostiene con una goma elástica o un dinamómetro de forma que quede algo inclinado y por tanto sólo se apoye por un punto sobre la mesa (fig. 4). Con otra goma elástica se tira hacia abajo desde distintas distancias (l') al punto de apoyo, hasta conseguir que el listón quede horizontal (las fuerzas con las dos gomas deben aplicarse perpendicularmente al listón; ¿por qué?). Se mide la longitud l del listón, la l' y las fuerzas que hacen la goma que sostiene el listón (f) y la que tira hacia abajo (f'). ¿Se encuentra alguna relación entre estas cuatro magnitudes? Este tipo de palanca es el de las pinzas; aunque se haga mucha fuerza por el centro de ellas, la fuerza aplicada por el extremo sobre el cuerpo que se coge es menor.

Tijeras, tenazas, alicates, abrelatas, carretillas, cascanueces, etc. también son palancas.



Fuerza mínima que provoca rotación f	Distancia al eje de giro d	Momento de la fuerza M = f . d

Fig. 1 – La fuerza necesaria para hacer girar un cuerpo es mínima si es perpendicular a la línea que une su punto de aplicación con aquél respecto al que gira el cuerpo. El efecto de dicha fuerza depende de su módulo, dirección y sentido, y de la distancia de su recta de acción al eje de giro. Si varias fuerzas (f) aplicadas separadamente a distintas distancias (d) del eje de giro provocan un mismo efecto de giro, sus momentos (f . d) son iguales.

Distancia al centro de las monedas de la izquierda	Distancia al centro de las monedas de la derecha	N.° de monedas en la derecha
l	l (3/4) l (1/2) l (1/4) l	
(3/4) l	l 3/4 l	
	l	

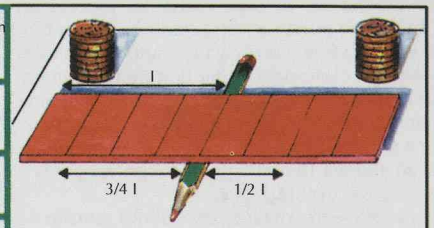
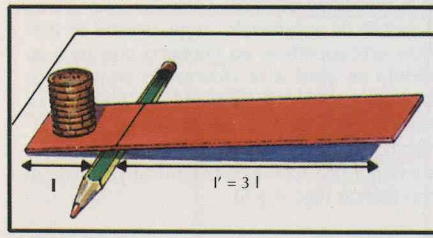


Fig. 2 – El equilibrio del listón se consigue cuando el momento de las fuerzas (pesos de las monedas) de cada lado son iguales.



Tomando la "moneda" como unidad de peso, el producto (nº de monedas) × (distancia al eje de giro) es el "momento de la fuerza" aplicada en cada lado. Una palanca está en equilibrio si "los momentos de las fuerzas aplicadas a ambos lados son numéricamente iguales y por tanto se anulan".

Fig. 3 – Para equilibrar el listón debe añadirse peso en el lado derecho y, una vez conseguido, la cantidad de monedas que se deben situar en el extremo derecho es la tercera parte de las colocadas en el extremo izquierdo si se quiere alcanzar de nuevo el equilibrio.

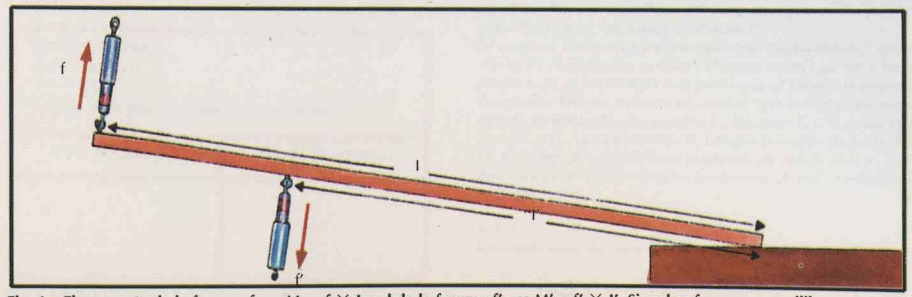


Fig. 4 – El momento de la fuerza «f» es M = f × l y el de la fuerza «f'» es M' = f' × l'. Si ambas fuerzas se equilibran se cumple que M = M'.

LAS FUERZAS DE ROZAMIENTO

1. Planteamiento del problema: ¿De qué factores depende el valor mínimo de la fuerza necesaria para arrastrar un cuerpo?

2. Emisión de hipótesis: Anótense los factores que parecen influir sobre el valor de la fuerza de arrastre (p. ej., tamaño y peso del objeto arrastrado, tamaño y tipo de las superficies en contacto, inclinación de suelo, velocidad del objeto, etc.).

Observación: las hipótesis deben ser contrastables experimentalmente con los medios disponibles. Por esta razón se propone investigar los efectos del tamaño y el tipo de superficie de contacto y del peso del objeto arrastrado.

3. Diseño de la experiencia: Se precisa un objeto que pueda ser arrastrado (p. ej. un bloque de madera o una caja de cartón que lleven fijado un clavo para poder tirar de él) y un sistema para medir la fuerza mínima necesaria para arrastrarlo. Esta fuerza puede medirse con una goma elástica, un muelle, un dinamómetro o un sistema formado por hilo, polea, pesas y portapesas (fig. 1).

Superficies en contacto de distinto tamaño se obtienen apoyando el cuerpo arrastrado sobre caras distintas. Superficies de igual o diferente pulimento (tipo) se obtienen pegando hojas de papel (celofán, folio, papel de lija, etc.) sobre el suelo y/o el cuerpo.

4. Realización de la experiencia y recogida de datos: *a*) Estudio de la relación tamaño de las superficies en contacto/fuerza de arrastre: se determina el peso del objeto arrastrado, la superficie de dos caras distintas de igual pulimento y la fuerza mínima necesaria para arrastrarlo sobre una y otra cara. Así se completa la tabla de la fig. 2. A fin de obtener más datos se repiten las medidas con superficies de otro tipo. *b*) Estudio de la relación tipo de suelo/fuerza de arrastre: manteniendo constante el peso del objeto y la cara en contacto con el suelo, se miden las fuerzas necesarias para arrastrarlo sobre diversos tipos de suelo (tabla de fig. 3). *c*) Estudio de la relación peso del bloque/fuerza de arrastre: manteniendo constante el tamaño y el tipo de superficie en contacto se varía el peso del objeto colocándole encima otros objetos y se miden las fuerzas necesarias para arrastrarlo. Así se completa la tabla de la fig. 4.

5. Análisis de datos y conclusiones: El análisis cualitativo de las dos primeras tablas debe permitir concluir que la fuerza de arrastre no depende del tamaño de las superficies en contacto pero sí del pulimento de las mismas. Con los datos de la tercera tabla puede calcularse el cociente fuerza de arrastre/peso (F/P) y trazar la gráfica de una de estas magnitudes frente a la otra.

¿Es constante el cociente F/P y es recta la gráfica obtenida? En caso afirmativo se concluye que se cumple una ecuación del tipo: $F = k \cdot P$, siendo «k» una constante característica de las dos superficies en contacto cuyo valor depende de la rugosidad de éstas.

La fuerza de rozamiento surge cuando se desplaza una superficie en contacto con otra: su módulo es igual a la «fuerza de arrastre», su dirección también, y su sentido es opuesto. La relación encontrada entre la fuerza de rozamiento y el peso sólo es válida si el objeto se mueve por una superficie horizontal y no actúan otras fuerzas (figs. 4 y 5).

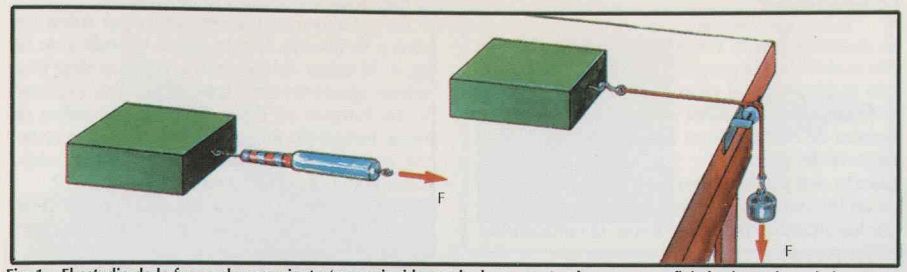


Fig. 1 – El estudio de la fuerza de rozamiento (que coincide con la de arrastre) sobre una superficie horizontal puede hacerse con cualquiera de los dos montajes iniciales, siendo el primero más sencillo pero menos preciso que el segundo. La fuerza debe hacerse siempre paralela al plano horizontal. Como en todas las experiencias, las medidas deben efectuarse varias veces y obtener el valor medio.

Peso del bloque:	
Tipo de superficie del objeto (lisa, rugosa, etc.):	
Tipo de superficie del suelo:	
Tamaño de la cara en contacto con el suelo:	Fuerza de arrastre

Fig. 2 – Toma de datos. Relación tamaño/fuerza.

Peso del bloque:	
Tipo de superficie del bloque:	
Tamaño de la cara en contacto con el suelo:	
Tipo de suelo	Fuerza de arrastre
Baldosa, Alfombra, Papel liso, Cartón, Papel de lija, etc.	

Fig. 3 – Toma de datos. Relación tipo de superficie/fuerza.

Tipo de superficie del bloque: del suelo:	
Tamaño de la cara en contacto con el suelo:	
Peso del bloque (P)	Fuerza de arrastre (F)

Fig. 4 – Toma de datos. Relación peso objeto/fuerza.

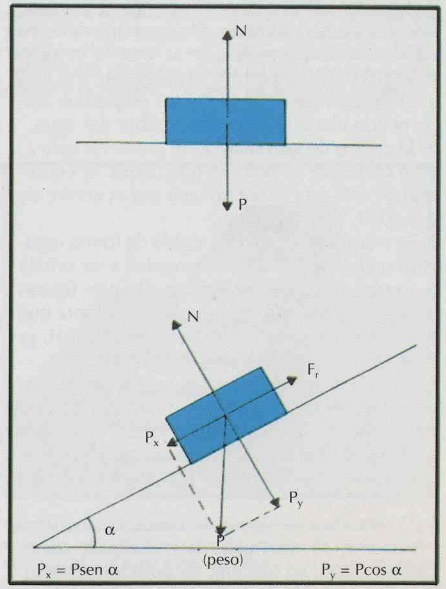


Fig. 5 – La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza N, normal a las dos superficies en contacto, que en el caso del plano horizontal coincide con el peso P.

Se propone realizar otra experiencia para determinar el coeficiente de rozamiento: se sitúa el bloque sobre una tabla horizontal y se va inclinando ésta hasta que el bloque empieza a descender. En este instante se cumple que la fuerza de rozamiento es igual a la componente P_x del peso: $F_r = P_x$ y por otra parte $N = P_y$. La componente P_x cumple la misión de la "fuerza de arrastre" de las anteriores experiencias con lo cual se pueden completar tablas como las anteriores. ¿A qué conclusiones se llega?

$F_r = k \cdot N$

k = coeficiente de rozamiento

LA GRAVEDAD

La atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos es debida a la propiedad llamada gravedad. Ésta es la causa del peso de los cuerpos.

1. El peso es una fuerza vertical: La trayectoria vertical de la caída libre (lámina C/2) es consecuencia del peso.

Atando una piedra o una tuerca en un extremo de un hilo se tiene una plomada como la usada por los albañiles para determinar la verticalidad de las paredes.

Con una escuadra se comprueba que el hilo tenso de una plomada es perpendicular a la superficie del agua (fig. 1). Otra manera de comprobar este hecho es sumergir el extremo inferior de la plomada en agua ligeramente teñida con tinta para que se vea la imagen reflejada del hilo tenso de la plomada. Si el hilo y su imagen parecen alineados es porque son perpendiculares a la superficie libre del agua.

2. El centro de gravedad: Es el punto de aplicación de la fuerza peso de un cuerpo. El equilibrio de éste está condicionado por el centro de gravedad.

a) Se recorta una cartulina rígida de forma regular: cuadrada, circular, rectangular, y se señala su centro de simetría (C). Si las distintas figuras se apoyan por C sobre la punta de un lápiz que se mantiene vertical, ¿quedan en equilibrio?, ¿y si se apoyan por cualquier otro punto?

Atravesando las distintas figuras por su centro de gravedad con un clavo y manteniento éste horizontal (así la figura queda vertical), ¿en qué posición queda en equilibrio la figura? y ¿si el clavo atraviesa la figura por cualquier otro punto? (fig. 2).

b) Se recorta una figura de cartulina de forma irregular y, atravesándola por cualquier punto con un clavo, se sostiene en posición vertical, dejando que adopte la posición de equilibrio. Atando una plomada al clavo, se señala sobre la figura la vertical que pasa por el punto de suspensión. Se cuelga por cualquier otro punto y se señala la nueva línea vertical (fig. 3).

Compruébese que el punto de intersección de las dos verticales señaladas es el centro de gravedad de la figura.

3. Paradojas del centro de gravedad:

a) Se colocan dos listones apoyados sobre un libro y formando ángulo como se indica en la fig. 4. Si cerca del extremo inferior se deja una pelota, aparentemente sube. ¿Cómo se explica? Si los listones se dejan horizontales sobre la mesa, formando ángulo como en el caso anterior, una pelota dejada cerca del vértice se desplaza hacia la parte más abierta. ¿Por qué?

b) Torre de libros: ¿cuántos libros se pueden apilar como se indica en la figura 5 sin que se caigan?, ¿es posible que un libro sobresalga totalmente de la base de apoyo que representa el de abajo?

c) Se fija una pesa en una esquina del interior de una caja de cartón. Colocando la caja sobre una mesa, de forma que la mayor parte sobresalga y se apoye por la esquina que tiene la pesa, permanece en equilibrio, sorprendente si se ignora que a causa de la pesa el centro de gravedad queda encima de la mesa y por tanto el equilibrio es estable. La sorpresa se debe a que intuitivamente situamos el centro de gravedad en el centro geométrico de un cuerpo.

d) Equilibrios estables y sorprendentes son fáciles de conseguir uniendo distintos objetos (fig. 6), de forma que el centro de gravedad quede lo más bajo posible y esté en la vertical de la base de apoyo. Varias personas se pueden sentar simultáneamente (sin ocupar ninguna silla) colocándose en círculo y sentándose cada una sobre las rodillas de las siguiente.

e) Si una persona se sienta en una silla de forma que sus piernas y su cuerpo queden verticales, ¿puede levantarse sin inclinar las piernas o el cuerpo? Si se realizan ensayos se comprueba que no es posible haciendo fuerza sólo con los pies o piernas. La razón estriba en que el centro de gravedad está aproximadamente en el centro del cuerpo y por tanto el «momento de la fuerza peso» respecto a la rodilla (eje de giro) tiende a producir un giro hacia atrás y no hacia adelante (levantarse). Aunque con las piernas se haga una fuerza vertical muy grande, como pasa por el eje de giro su momento es cero y no puede hacer girar el cuerpo. Sólo desplazando el cuerpo hacia adelante o las piernas hacia atrás se consigue que el momento de dichas fuerzas haga girar el cuerpo hacia adelante.

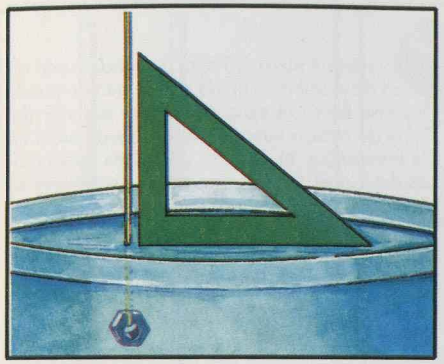


Fig. 1 – Una plomada señala la línea vertical. La superficie libre del agua es horizontal.

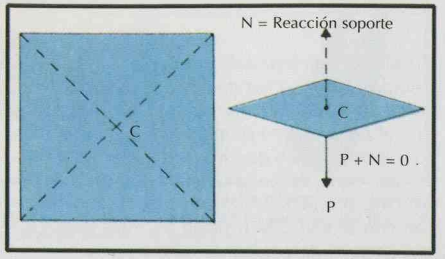


Fig. 2 – El centro de simetría de una figura regular es el centro de gravedad. Un objeto apoyado por un punto sólo está en equilibrio si la vertical en este punto pasa por el centro de gravedad. Si un cuerpo se cuelga por el centro de gravedad, se mantiene en equilibrio en cualquier posición (equilibrio indiferente); si se cuelga por cualquier otro punto sólo está en equilibrio si la vertical en este punto pasa por el centro de gravedad; si éste queda por encima del punto de suspensión, el equilibrio es inestable, y si queda por debajo, es estable.

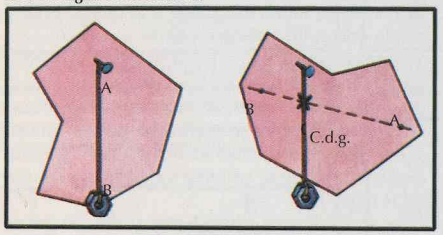


Fig. 3 – Centro de gravedad de una figura irregular.

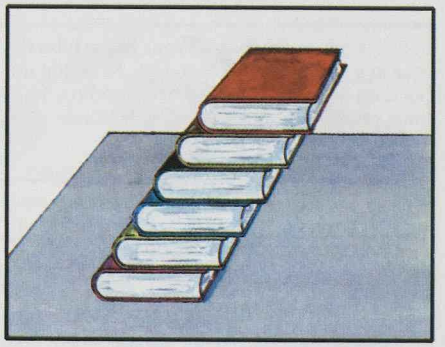


Fig. 5 – La torre inclinada de libros no cae si el centro de gravedad de todos los libros situados encima de otro está sobre una vertical que corte a este otro libro. Si se apilan dos libros, el de arriba no puede sobresalir más de la mitad. Si se apilan 6 libros, el de la cima puede estar totalmente desplazado fuera de la base de la torre.

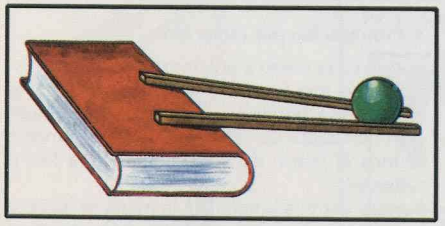


Fig. 4 – Un cuerpo «cae» cuando su centro de gravedad desciende. La pelota parece subir por los listones inclinados, pero al moverse hacia la parte abierta, su centro de gravedad baja.

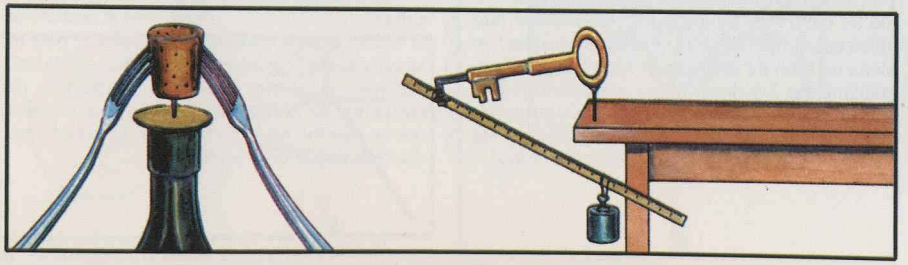


Fig. 6 – Equilibrios estables: el centro de gravedad siempre queda en la vertical del punto de apoyo.

El calor

El calor es una forma de transferir energía de un cuerpo a otro. La temperatura es una magnitud física fundamental que no debe confundirse con el calor. Es una propiedad que se mide con los termómetros y puede considerarse que indica «el nivel de calor» dentro de un cuerpo. Muchas propiedades de las sustancias se alteran con el calor; la medida de estas alteraciones permite determinar la temperatura.

PRODUCCIÓN DE CALOR

1. Hágase una lista de procedimientos para obtener calor y de procesos en los que se obtenga aunque no se desee.
2. Se vierte un poco de agua dentro de un termo y se mide su temperatura. Se cierra el termo y se agita enérgicamente durante unos minutos y se mide otra vez la temperatura del agua. ¿Cómo se explica el aumento de la temperatura? (fig. 2).
3. Se introduce un poco de agua en un tubo de ensayo y se mide su temperatura. Se añade un poco de sosa cáustica (hidróxido sódico) y se mide otra vez la temperatura. ¿De dónde procede el calor que se libera? (fig. 3).

PROPAGACIÓN DEL CALOR

¿Cómo se propaga el calor?, ¿necesita un soporte material? ¿puede evitarse o reducirse la propagación del calor?

1. Propagación por conducción

Si se tocan sucesivamente con la mano los objetos de una habitación, algunos parecen más calientes (madera, papel) que otros (metálicos), pero todos ellos están a la misma temperatura. ¿Cómo se explica?
Si se introducen utensilios de cocina de diversos materiales (metal, madera, plástico) dentro de un cazo con agua caliente, al cabo de rato unos están más calientes que otros. ¿Cuáles? Se llena un tubo de ensayo con agua hasta aproximadamente 2/3 de su altura y, manteniéndolo inclinado, se calienta por la parte superior hasta que el agua empiece a hervir. ¿Está caliente el agua de la parte inferior del tubo?
Si se lastra un trozo de hielo, rodeándolo con un trozo de alambre, a fin de que se hunda, puede hacerse hervir el agua de la parte superior del tubo de ensayo cuando todavía queda hielo en la inferior (fig. 4). El agua: ¿es buena conductora del calor? De las experiencias anteriores se concluye que algunos materiales son conductores del calor y otros son aislantes. ¿Cuáles? ¿Qué aplicaciones tienen los materiales aislantes? ¿y los conductores del calor? (fig. 5 y 6).

2. Propagación por convección

El agua y el aire son malos conductores, o buenos aislantes del calor; sin embargo, se calienta toda el agua de una olla puesta al fuego y todo el aire de de una habitación en la que haya una estufa encendida. ¿Cómo puede suceder?
Se introduce agua y un poco de serrín húmedo, para que no flote, en un vaso de precipitados o en un recipiente transparente que pueda calentarse y se calienta suavemente por el fondo. ¿Qué tipo de movimiento se observa?, ¿puede explicar por qué se calienta toda el agua de una olla? (fig. 7).
Estos movimientos ascendentes y descendentes se denominan corrientes de convección. ¿Por qué asciende el aire o el agua caliente? (fig. 8).

3. Propagación por radiación

Se coloca la mano a pocos centímetros de distancia de una bombilla apagada y fría. Si se enciende la bombilla, la mano ¿tiene sensación inmediata de calor? y si inmediatamente se toca el vidrio de la bombilla, ¿está frío o caliente?
Aunque entre la bombilla y la mano se intercale un trozo de vidrio o plástico transparente a fin de «dificultar» la llegada del calor, no se impide que éste se note en el mismo instante de encender la bombilla. ¿A qué velocidad viaja el calor?
El vidrio es mal conductor del calor y éste lo atraviesa sin calentarlo (instantes iniciales). Además, el vidrio impide la formación de corrientes de convección, por lo que el calor que se percibe no se ha transmitido ni por conducción ni por convección.

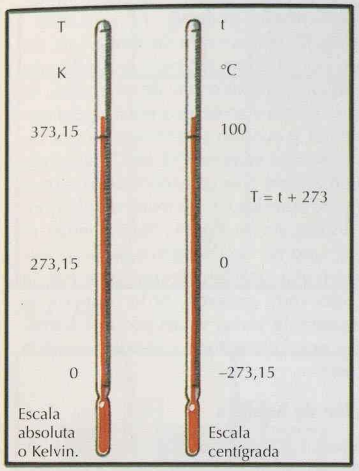


Fig. 1 – En el S.I. de unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin (K), aunque frecuentemente se usa el grado centígrado (°C). La unidad de calor en el S.I. es el Joule (J), aunque todavía se usa la unidad denominada caloría (cal).

Fig. 4 – El agua empieza a hervir cuando todavía queda hielo en la parte inferior.

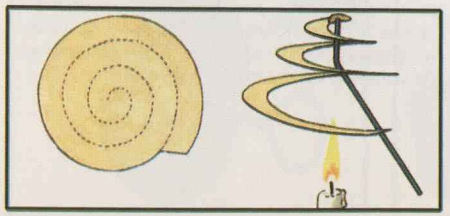


Fig. 7 – Molinillo. Si se recorta un papel formando una espiral y se sujeta con un alambre, al acercarlo a la llama, empieza a girar por acción del aire caliente.

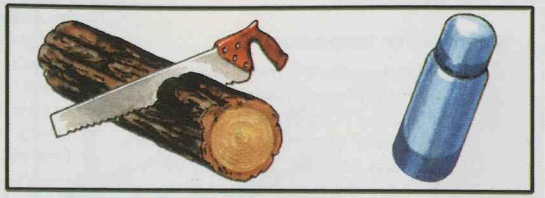


Fig. 2 – Procesos físicos en los que se obtiene calor. Al serrar un tronco, éste y la sierra se calientan. Agitando enérgicamente un poco de agua dentro de un termo, se produce un aumento de temperatura.

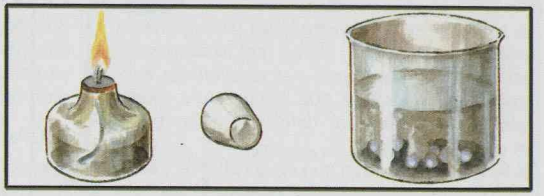


Fig. 3 – Procesos químicos en los que se obtiene calor. Al quemar el alcohol y al disolver hidróxido sódico en agua se libera calor.

Fig. 5 – Aplicaciones de los materiales conductores de calor.

Fig. 6 – Aplicaciones de los materiales aislantes.

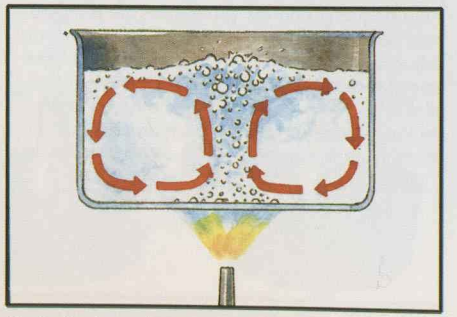


Fig. 8 – Corrientes de convección.

EFECTOS DEL CALOR

1. Variaciones de temperatura

a) Se coloca un termómetro (no clínico) dentro del congelador durante unos minutos, se saca y anota la temperatura (T) que señala cada medio minuto, calculándose el incremento de temperatura (ΔT) para cada intervalo de tiempo (Δt) y la relacion entre esta magnitudes ($\frac{\Delta T}{\Delta t}$ = velocidad de aumento de la temperatura) como se indica en la tabla de la fig. 1.
¿Es lineal la relación $\frac{\Delta T}{\Delta t}$?

Se calienta un termómetro hasta la temperatura máxima que pueda leerse, sin sobrepasarla para no estropear aquél, y se deja enfriar anotando la temperatura que señala cada medio minuto. Estúdiense los datos obtenidos como en el caso anterior.
b) Se dispone un cazo con agua caliente, calentándolo a fuego lento para mantener la temperatura, y en él se introducen dos recipientes iguales (tubos de ensayo, vasos pequeños, etc.) que contengan la misma cantidad, de agua uno y de aceite el otro, con un termómetro cada uno de ellos. Anótense las temperaturas del agua y del aceite cada minuto. ¿Se calientan a la misma velocidad? Cuando los dos líquidos hayan alcanzado la máxima temperatura, que deber ser 100 °C o un poco menos, se sacan los dos recipientes del cazo con agua y se dejan enfriar anotando la temperatura de cada uno de ellos cada minuto. ¿Qué líquido se enfría con mayor rapidez? (fig. 2).
La rapidez de calentamiento o enfriamiento de una sustancia está determinada por la propiedad denominada calor específico.

2. Dilatación de sólidos

Las sustancias sólidas aumentan su longitud y/o superficie y/o su volumen en una proporción muy pequeña con las variaciones de temperatura que se pueden provocar en casa o en un laboratorio escolar; por tanto, si se quieren apreciar deben idearse dispositivos muy sensibles o que incrementen o multipliquen la alteración producida. Así, el alargamiento de un alambre al calentarse, y el acortamiento al enfriarse, pueden ser detectados con alguno de los sistemas indicados en la fig. 3.
En los centros escolares suele disponerse de un anillo o aro por el que pasa muy ajustada una esfera metálica, generalmente de aluminio. Si se calienta la esfera y se coloca encima del aro queda retenida y cuando se enfría pasa por él. Ésta es la conocida experiencia de Gravesande que puede realizare con una moneda (mejor si es grande y de aluminio) y un trozo de alambre como se indica en la fig. 4. Retorciendo el alambre por uno de los diámetros de la moneda, se forma una abertura rectangular por la que ésta pasa muy ajustada. Si la moneda se calienta pasándola varias veces por una llama, ya no pasa por la abertura; cuando se enfría pasa otra vez.

3. Dilatación de líquidos

En los líquidos carece de sentido hablar de dilataciones lineales o superficiales; sólo pueden considerarse dilataciones de volumen, que son más fáciles de detectar que en los sólidos. Las variaciones de volumen que experimentan el aceite o el alcohol pueden apreciarse llenando con estos líquidos una botella o frasco de vidrio transparente hasta la mitad de su cuello, que debe ser estrecho. Se señala, con tinta o cinta adhesiva, el nivel que alcanza el líquido y se deja el frasco en el congelador durante un rato. ¿Cómo varía el nivel del líquido? A continuación se introduce el frasco en un cazo con agua caliente: ¿asciende el nivel del líquido?
La dilatación de los líquidos se aprecia mejor si se dispone de recipientes (tubos de ensayo, erlenmeyer, etc.) que puedan taparse con un tapón horadado, atravesado por un tubo de vidrio delgado (fig. 5). Se llenan del líquido que se desee estudiar, de forma que no quede ninguna burbuja de aire, hasta alcanzar una cierta altura en el tubo de vidrio, que se señala con un trozo de cinta o papel adhesivo. Calentando el recipiente en un baño de agua o enfriándolo en un congelador podrán observarse contracciones y dilataciones. Si se dispone de varios recipientes podrán compararse las variaciones de volumen de diversos líquidos.

Temperatura ΔT	Tiempo Δt	Velocidad de calentamiento $V = \frac{\Delta T}{\Delta t}$

Fig. 1 – Tabla 1.

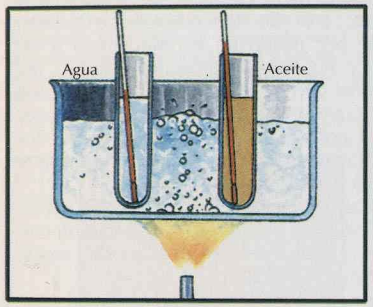


Fig. 2 – Calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que necesita absorber 1 kg de dicha sustancia para que su temperatura aumente un grado. El agua se calienta más lentamente que el aceite porque su calor específico es mayor.

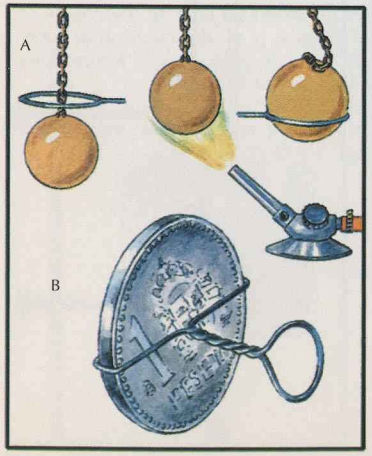


Fig. 4 – Experiencia de Gravesande.

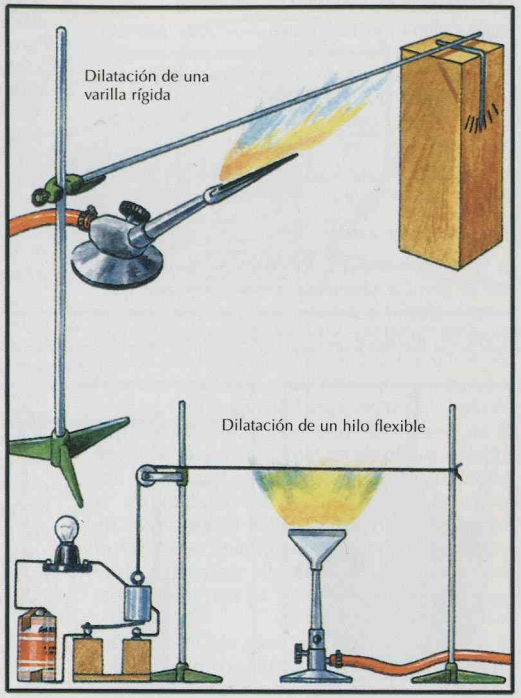


Fig. 3 – Se sujeta un tubo o varilla metálica por un extremo y el otro se sitúa sobre un alambre doblado, que a su vez se apoya sobre un taco de madera (en el que se ha dibujado una escala) de manera que gire cuando la varilla se dilate o encoja. El alambre doblado constituye el «detector» de cambios de longitud. La detección del alargamiento de un hilo metálico puede hacerse con el montaje de la figura, procurando que el peso mantenga el interruptor casi cerrado. La dilatación del hilo metálico hará que se encienda la bombilla.

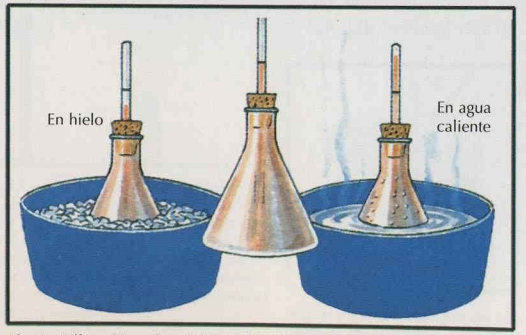


Fig. 5 – Dilatación volumétrica de líquidos. Los líquidos se dilatan al calentarlos y se contraen al enfriarlos.

4. Variación de volumen de los gases

a) Se calienta el recipiente de cuello estrecho de la experiencia anterior y se invierte introduciendo su boca en agua fría. ¿Por qué penetra el agua en el recipiente?

b) Se cierra la boca de una botella con un globo de forma que quede poco hinchado (fig. 1). Si se sumerge en agua caliente o se deja un rato en el congelador, ¿qué le ocurre al globo?

5. Cambios de estado

a) Si se humedece la mano con alcohol o colonia se percibe sensación de frescor, ¿por qué? Se envuelve el bulbo de un termómetro con un trozo de algodón o papel, se humedece con alcohol y se lee la temperatura. Agitando el termómetro o soplando para que se evapore el alcohol, la temperatura baja (fig. 2).

b) Se prepara un vaso con hielo triturado que rodee el bulbo de un termómetro y se sumerge en otro recipiente que contenga agua y otro termómetro para medir la temperatura de la misma. Se leen y anotan las temperaturas de ambos termómetros cada minuto; mientras el hielo funde, ¿desciende la temperatura del agua exterior y asciende la del interior del vaso? (fig. 3).

c) Se llena una tercera parte de un tubo de ensayo con naftaleno (naftalina) o paradiclorobenceno y se sumerge en un baño de agua, calentándose hasta que el sólido del interior del tubo haya fundido. Se introduce un termómetro en el tubo de ensayo de forma que el bulbo quede en el centro del mismo y otro termómetro en el baño de agua cerca del tubo, sin tocarlo. Se anotan las dos temperaturas a medida que el conjunto se enfría y cada medio minuto hasta cinco minutos después de haber solidificado la sustancia. Dibujar los gráficos de las temperaturas frente al tiempo. ¿Por qué no son iguales? (fig, 4).

Se puede estudiar la temperatura de fusión del sólido anterior calentando el baño de agua, con el tubo de ensayo dentro, y anotando las temperaturas hasta varios minutos después de haber fundido la sustancia. Trazar los gráficos correspondientes y compararlos con los anteriores.

Los tramos horizontales de los gráficos de la sustancia corresponden a las temperaturas de solidificación en el primer caso y de fusión en el segundo: ¿coinciden ambas temperaturas?

d) Se calienta agua en un matraz de cuello estrecho (p. ej. un matraz de destilación) y se introducen en él dos termómetros de forma que uno de ellos tenga el bulbo sumergido y el otro lo tenga un poco por encima de la superficie del agua. Los dos termómetros se pueden aguantar por medio de un hilo atado a un soporte y no han de tocar las paredes del matraz. Así uno de ellos señala la temperatura del agua que se calienta y el otro la del vapor que está por encima de ella. Anotar las dos temperaturas cada medio minuto y el instante en que el agua empieza a hervir.

¿A qué temperatura hierve el agua? Cuando hierve y se sigue calentando, ¿sube la temperatura del agua? Y la temperatura del vapor, ¿sigue subiendo? (fig. 5).

En casa es fácil medir la temperatura del agua que hierve, pero no se dispone de medios para concentrar el vapor alrededor de un termómetro, por lo que si se calienta agua en un cazo y se coloca un termómetro un poco por encima, difícilmente alcanzará a señalar 95 °C, ya que en un recipiente abierto el enfriamiento es rápido.

Se plantea un problema fácil de resolver: si se añade sal al agua, p. ej. dos cucharadas soperas por un vaso de agua, ¿a qué temperatura hierve el líquido resultante?

Cuando el agua hierve en un cazo, ¿podemos aumentar su temperatrura «dando más gas» al fuego? (figs. 5 y 6).

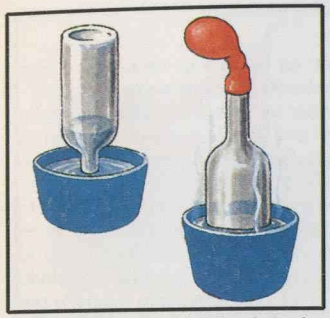


Fig. 1 – Al calentar una botella, el aire de su interior se dilata y sale. Al enfriarse, el aire se contrae y si la botella está invertida sobre agua, ésta penetra hasta ocupar el volumen del aire evacuado al calentarse. Si la boca de la botella está cerrada por un globo, éste se hincha o deshincha por el mismo motivo.

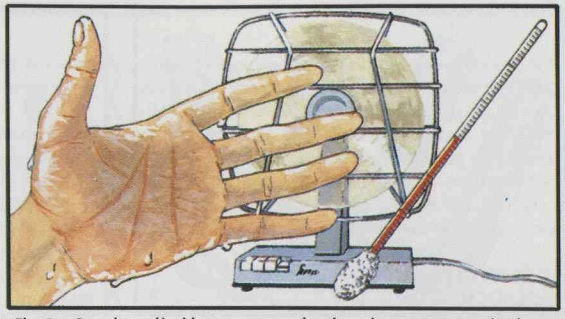


Fig. 2 – Cuando un líquido se evapora, absorbe calor; por este motivo la mano humedecida tiene sensación de frescor y la temperatura indicada por el termómetro desciende.

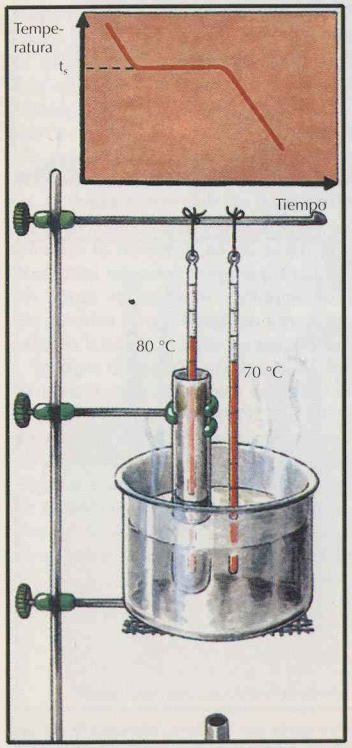


Fig. 4 – Para cada sustancia la temperatura de fusión es la misma que la de solidificación (t_s).

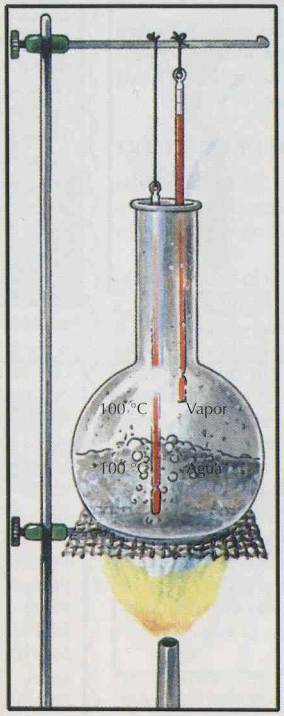


Fig. 5 – El agua hierve a 100 °C a la presión de 1 atmósfera. El vapor generado está a 100 °C. Aunque se «dé más gas» al fuego, la temperatura del agua no puede sobrepasar los 100 °C, ya que el exceso de calor suministrado se invierte en evaporar más agua y no en aumentar su temperatura.

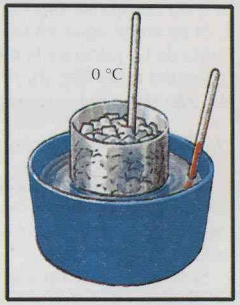


Fig. 3 – Las temperaturas de cambio de estado son constantes características de cada sustancia, por tanto, mientras el hielo funde, su temperatura se mantiene constante a 0 °C. El hielo al fundir absorbe calor, por tanto la temperatura del agua exterior descenderá continuamente hasta ser igual a la del agua formada por fusión del hielo.

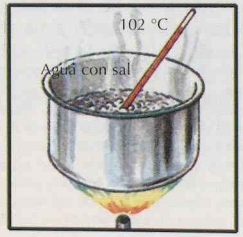


Fig. 6 – Las disoluciones de sustancias no volátiles hierven a temperatura superior a la del disolvente.

Fluidos en reposo: presión y fuerza

Por el interior de un fluido se propagan presiones (P) pero no fuerzas. Éstas aparecen en las superficies de contacto entre un fluido y un sólido. En el Sistema Internacional de unidades, la unidad de presión es el pascal (Pa), pero es frecuente el uso de otras unidades: atmósfera (atm) = 1,01 × 10^5 Pa, bar = 10^5 Pa, milibar = 10^2 Pa, torr o «mm de mercurio» = 133 Pa.

¿CÓMO ES LA SUPERFICIE LIBRE DE UN LÍQUIDO?

1. Se vierte agua en un recipiente grande y con una escuadra y una plomada se comprueba si es o no horizontal (fig.1).
2. Si se vierte agua en un tubo transparente en forma de U, ¿alcanza la misma altura en las dos ramas del tubo? (fig. 2). ¿Y si se inclina el tubo? ¿La superficie del mar es plana?

LA PRESIÓN EN EL INTERIOR DE UN FLUIDO

1. Se llena un vaso con agua, se tapa con una cartulina y, sujetando ésta con una mano, se invierte; la cartulina y el agua no caen. ¿Quién lo impide? (fig. 3).
2. Si se introduce un vaso vacío y boca abajo en agua, no se llena. ¿Quién lo impide?
Si se llena un vaso con agua, se sumerge e invierte, puede elevarse verticalmente hasta sacarlo casi todo del agua sin que se vacíe. Introduciendo el extremo de un tubo en el vaso y dejando el otro libre, el vaso se vacía (en la experiencia anterior el vaso se llena de agua). ¿Cómo se justifica?
3. Se hace hervir un poco de agua en una lata de aceite que pueda cerrarse herméticamente y a continuación, cuando toda la lata esté muy caliente, tomando precauciones para no quemarse, se enrosca fuertemente el tapón y se deja enfriar. Si se desea, puede enfriarse rápidamente echando agua sobre la lata. ¿Qué le ocurre? ¿Quién la aplasta? (fig. 3).
4. Se coloca un embudo de cuello estrecho en una botella, haciendo que ajuste bien (con plastelina o grasa) en la boca de ésta. Si se vierte agua en el embudo, ¿por qué no pasa?
¿Es fácil hinchar un globo? Se ajusta un globo en la boca de una botella y se introduce en su interior (fig. 4). Si se sopla intentando hincharlo hacia dentro, ¿se consigue?
5. Se introduce verticalmente un tubo de vidrio o plástico provisto de un obturador (fig. 5) en un recipiente con agua. Fuera del líquido el obturador se cae. ¿Quién lo aguanta cuando está dentro? En el tubo sumergido y tapado por el obturador se vierte lentamente agua hasta que el obturador se separe del tubo. ¿Qué altura alcanzaba el agua dentro del tubo en este momento?
Repetir la experiencia hundiendo el tubo hasta distintas profundidades. Al verter agua, ¿el obturador se separa siempre que el nivel de líquido interior alcanza el exterior?
Teniendo en cuenta que en el instante de separarse el obturador la fuerza que se ejerce sobre él es igual en sentido ascendente [(presión) × (superficie)] que en el descendente (peso del agua del interior del tubo), ¿cómo se puede deducir la ecuación fundamental de la hidrostática? [presion = (altura de la columna de agua) × densidad × (intensidad del campo gravitatorio) P = h.d.g].
6. Se sujeta verticalmente una jeringa delgada con la aguja hacia arriba, untando el émbolo con vaselina para que ajuste bien. Se introduce totalmente el émbolo y se clava un tapón de goma (o una goma de borrar) en el extremo de la aguja para obturar su orificio. ¿Es fácil desplazar el émbolo hacia abajo? ¿Quién lo impide?
Para medir la fuerza necesaria para extraer el émbolo, se ata una bolsa en su extremo y se va llenando con arena o piedras pequeñas o mejor paquetes de masa conocida (p. ej. de pasta de sopa, azúcar, etc.) hasta que empiece a bajar. Midiendo el diámetro del émbolo se calcula su superficie y conociendo el peso que se ha colgado, ¿cuál es aproximadamente el valor de la presión atmosférica? (fig. 6).

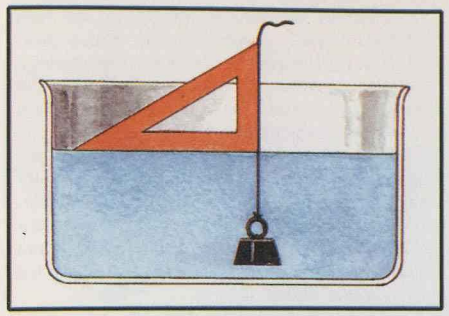


Fig. 1 – ¿Es horizontal la superficie del agua en reposo?

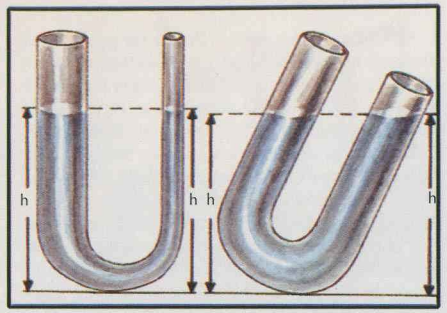


Fig. 2 – Prescindiendo del diámetro e inclinación de las dos ramas, el líquido alcanza igual altura.

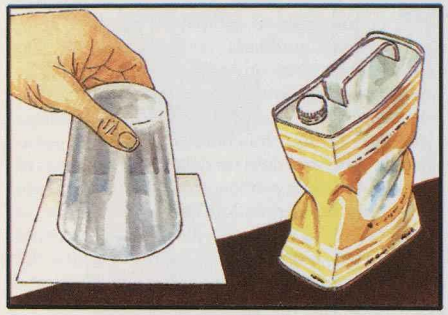


Fig. 3 – El agua no se cae y la lata se aplasta a causa de la presión atmósferica.

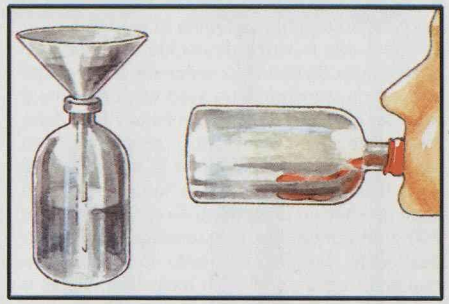


Fig. 4 – La presión del aire contenido en estos recipientes impide que se llenen de agua o que el globo se hinche.

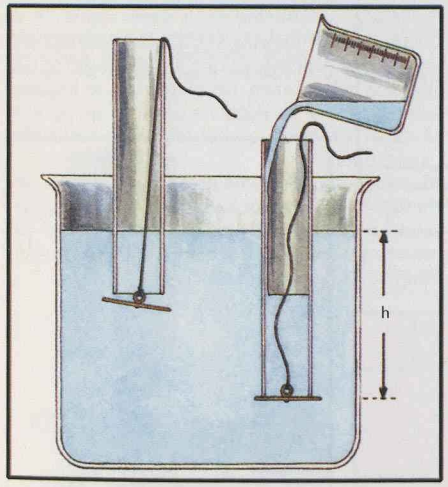


Fig. 5 – El obturador puede ser una chapa metálica ligera o un trozo de plástico rígido y es conveniente que esté provisto de un hilo para sujetarlo cómodamente fuera del agua.

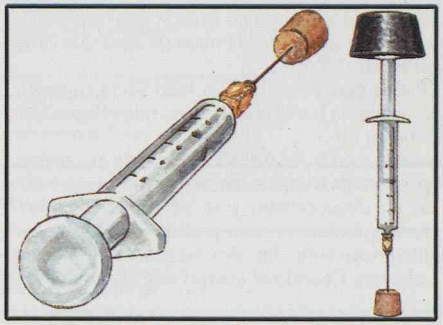


Fig. 6 – El émbolo de una jeringa se desplaza fácilmente, pero si se tapa el orificio de la aguja, con el émbolo hasta el fondo, es difícil extraerlo, cualquiera que sea la orientación de la jeringa. «La presión se ejerce por igual en todas direcciones.» Colocando la jeringa con la aguja hacia abajo, tapada, y con el émbolo casi totalmente extraído, ¿es fácil introducirlo? y al soltarlo, ¿por qué regresa a su posición inicial? Colocando pesos en el émbolo pueden calcularse los incrementos de presión del aire encerrado.

EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

1. Se colocan dos vasos, llenos de agua hasta un poco más de la mitad, en los extremos de un listón rígido que se apoya sobre otro listón delgado (o un lápiz) de forma que el conjunto quede en equilibrio (fig. 1a). Si se sumerge un dedo en uno de los dos vasos sin tocarlo, ¿por qué se desequilibra el listón? ¿quién empuja el listón si el dedo sólo toca el agua?

2. Por medio de un hilo se suspende un listón por el punto medio y en sus extremos se cuelgan sendos objetos, que puedan sumergirse en agua, de forma que el conjunto quede en equilibrio (fig. 1b).
Si uno de los dos objetos se introduce en agua (p. ej. acercándole un cazo lleno de agua), el listón se desequilibra. ¿Quién lo empuja?

3. Sobre una balanza de cocina se coloca un cazo o una olla con agua suficiente para que en ella pueda sumergirse un vaso verticalmente y se anota el valor que indica la balanza. Se llena totalmente de agua un vaso y se vierte dentro del cazo; por diferencia entre la nueva lectura en la balanza y la anterior se halla la masa del agua que hay en un vaso (suele ser del orden de 200 g). A continuación se sumerge el vaso verticalmente, hundiéndolo todo lo posible, sin que entre agua en él y sin tocar las paredes o fondo del cazo. ¿Cuál es la nueva lectura en la balanza? ¿Qué diferencia hay entre el valor indicado por la balanza cuando el vaso está sumergido y cuando no lo está? Esta diferencia, ¿es similar al valor de la masa de agua que cabe en el vaso? (fig. 2).
¿Puede concluirse que un vaso vacío sumergido «empuja hacia abajo» igual que el agua que cabe en él?

4. Por medio de un hilo se cuelga un objeto (p. ej. esfera metálica, tornillos y/o tuercas, etc.) de un dinamómetro y se determina su peso. Sumergiéndolo en una probeta con agua, por diferencia entre las dos lecturas se halla su volumen. Cuando el cuerpo está sumergido en agua, ¿qué «peso» indica el dinamómetro? A continuación se sumerge el cuerpo en otro líquido (alcohol, gasolina), ¿qué nuevo peso indica el dinamómetro? Después de completar y analizar los datos de la tabla en la fig. 3, ¿con qué fuerza empujan los líquidos hacia arriba a los cuerpos sumergidos?

5. *Principio de Arquímedes para cuerpos que flotan.* La experiencia anterior permite concluir que «cuando un cuerpo se sumerge en un fluido sufre una fuerza vertical hacia arriba (empuje) igual al peso del fluido desalojado». Ahora la cuestión es: ¿se cumple este principio en los cuerpos que flotan? (fig. 3).
Se requiere un cuerpo que flote, de peso variable y medible y además, que pueda medirse el peso del líquido desalojado.
Estas condiciones se cumplen si se dispone de una probeta graduada con agua en la que pueda sumergirse un tubo de ensayo, previamente pesado, en el que se pueden introducir progresivamente pequeños cuerpos de masa conocida (p. ej. chinchetas o arandelas pesadas). El tubo que flota no debe tocar el fondo ni las paredes de la probeta. Esto último se puede conseguir manteniéndolo en el centro de la probeta con la ayuda de un lápiz ligeramente introducido y en posición vertical dentro del tubo. La cantidad de agua contenida en la probeta debe permitir que el tubo se sumerja sin tocar el fondo, y con el tubo sumergido, su nivel no debe sobrepasar la escala graduada de la misma.
Debe evitarse que caigan chinchetas dentro del agua de la probeta, ya que así se invalidan las lecturas del volumen. Las chinchetas se añaden sucesivamente en pequeña cantidad (p. ej. 3 o 5 cada vez) hasta que el tubo esté casi todo sumergido.
Completando los datos pedidos en la tabla de la fig. 4 y analizándolos, ¿se llega a la misma conclusión que en la experiencia anterior? En un cuerpo que flota, ¿se cumple siempre que el empuje es igual a su peso?

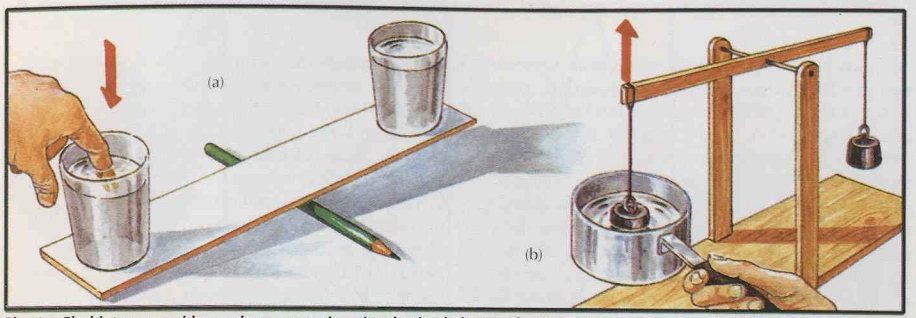


Fig. 1 – El objeto sumergido en el agua empuja a ésta hacia abajo (a). El agua, así mismo, empuja al objeto hacia arriba con la misma fuerza (b).

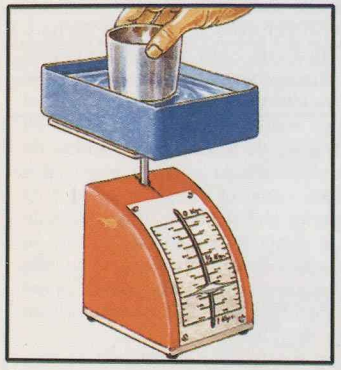
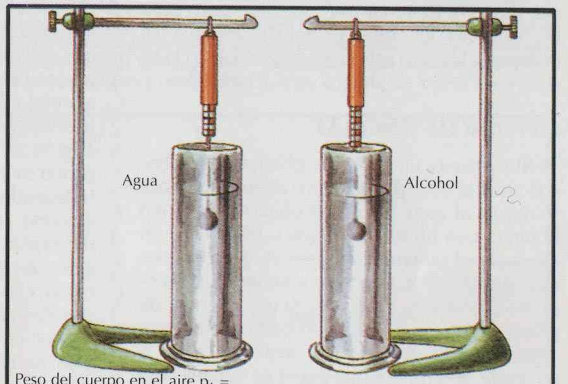


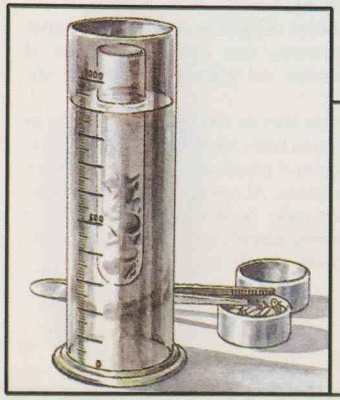
Fig. 2 – El agua empuja al vaso hacia arriba y por tanto el agua es empujada con la misma fuerza hacia abajo. Las mediciones tal vez no resulten exactas por la poca precisión de la balanza.



Peso del cuerpo en el aire p_1 =
«Peso aparente» del cuerpo sumergido: En agua p_2 =
El alcohol p_3 =

Volumen del cuerpo = Volumen del líquido desalojado = V =
Peso del líquido desalojado p =
(Volumen) × (peso específico)
Fuerza ascensional o empuje $E = p_1 - p_2$ (en agua) =
$= p_1 - p_3$ (en alcohol) =

Fig. 3 – La fuerza de empuje hacia arriba que experimenta el objeto es mayor cuanto mayor sea la densidad del líquido.



Volumen de agua en la probeta = V =
Peso del tubo de ensayo vacío y seco = P =
Peso de 5 (o 3) chinchetas (o arandelas) = p =

Peso del tubo + carga (P + np)	Volumen desalojado Vol. leído – V	Peso del agua desalojada
P		
P + p		
P + 2p		
P + 3p		

Fig. 4 – Principio de Arquímedes para cuerpos que flotan.

Fenómenos eléctricos y magnéticos

Algunos fenómenos eléctricos ya eran conocidos por los griegos desde la Antigüedad, pero hasta el siglo XIX sólo se conocían fenómenos relacionados con la electricidad estática. En 1800, Volta descubre la «pila», que es el primer método práctico de crear corrientes eléctricas. A partir de esta fecha se sucedieron los descubrimientos que establecieron las relaciones entre la electricidad y el magnetismo y las múltiples aplicaciones prácticas que han convertido a la Electricidad en la forma de energía de uso más general en la actualidad.

La reproducción de algunos de estos fenómenos requiere material muy sencillo, pero para las experiencias de electricidad estática es indispensable que esté muy limpio y seco si se quieren obtener resultados satisfactorios.

EXPERIENCIAS SENCILLAS

1) Al peinarse, un peine de plástico o de concha atrae el pelo, 2) un chorro delgado de agua se desvía al aproximarle un objeto de plástico frotando con un trozo de lana o piel, 3) en un día seco, al quitarse un jersey se oyen pequeños chasquidos y a oscuras y frente a un espejo se ven chispas, ¿qué son? 4) una cuchara de plástico frotada con un paño de lana atrae trocitos de maíz o granos de arroz hinchado o pimienta, 5) una hoja de papel se adhiere a la pantalla de un televisor recién desconectado, 6) un globo hinchado frotado con el jersey de lana se «pega» a la pared o al techo. Si se frotan dos globos hinchados y se cuelgan juntos mediante dos hilos, se repelen si se han frotado con tejidos iguales y pueden atraerse si cada uno se frota con un material distinto (lana, algodón, plástico, etc.). ¿Qué tipo de fuerza provocan los fenómenos anteriores? (fig. 1).

DETECTORES DE CARGAS ELÉCTRICAS

1. Se corta una tira de papel de 3 cm de ancho por 15 cm de largo, se dobla longitudinalmente por la mitad y se cuelga por el punto central (fig. 2) o se apoya sobre la punta de un lápiz vertical de forma que pueda girar libremente. Si se aproximan lateralmente a la tira de papel distintos objetos electrizados por frotamiento (p. ej. peines, barras de vidrio, globos, etc., frotados con lana, piel, etc.), aquélla gira hacia el objeto. Si el objeto no está electrizado, el «detector» no se mueve.

2. Una bolita de papel de aluminio colgada de un hilo (mejor si es de seda) «detecta» cargas eléctricas aproximándose a los cuerpos electrizados. Si la bolita toca el objeto cargado, ¿permanece mucho tiempo unida a él?

3. *Electroscopio de láminas metálicas.* Este instrumento, que pone de manifiesto fenómenos eléctricos, puede construirse fácilmente con un frasco de vidrio transparente, de boca ancha y provisto de tapón, un trozo de alambre grueso (mejor de cobre) y un trozo de papel fino de aluminio. Para ello se atraviesa el tapón con el alambre, cuyo extremo inferior se dobla en ángulo recto a fin de sostener una lámina de aluminio doblada por la mitad o mejor, dos independientes, como se indica en la fig. 3. El extremo superior del alambre, que sobresale del tapón, se dobla formando un círculo. Se electrizan diversos objetos frotándolos con lana o piel y se aproximan y alejan de la cabeza del alambre sin tocarla. ¿Qué movimiento realizan las laminillas de aluminio?

Con un globo hinchado y electrizado se toca durante un rato el alambre y luego se aparta. ¿Quedan separadas las hojas de aluminio? Cuando las hojas están separadas, se toca el alambre con una barra de vidrio (o un tubo de ensayo) electrizado. ¿Qué les ocurre ahora a las hojas de aluminio?

Cuando las hojas del electroscopio estén separadas, se aproxima una cerilla encendida al extremo superior del alambre. ¿Qué se observa?

4. Mediante un hilo de seda o nylon se cuelga por el centro una barra de vidrio (tubo de ensayo) o de ebonita o plástico (peine) y se electriza por frotamiento. Al aproximar al objeto colgado y electrizado otros objetos de vidrio o plástico también electrizados, ¿aparecen fuerzas de atracción?, ¿y de repulsión?

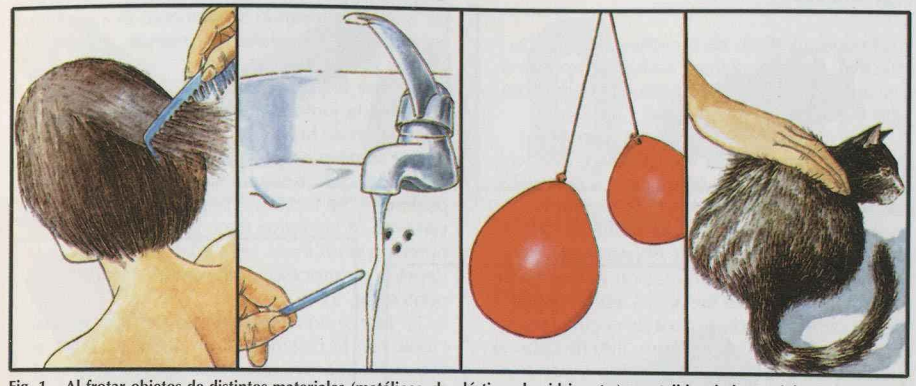


Fig. 1 – Al frotar objetos de distintos materiales (metálicos, de plástico, de vidrio, etc.) con tejidos de lana, piel o seda se ponen de manifiesto fenómenos de atracción y de repulsión, debidos a cargas eléctricas, si el objeto es de plástico, vidrio o goma (globos) y no se observa ningún fenómeno si el objeto es metálico. Estos hechos permiten clasificar las cargas eléctricas en dos tipos (positivas y negativas) y a los objetos también en dos grupos: aislantes y conductores.

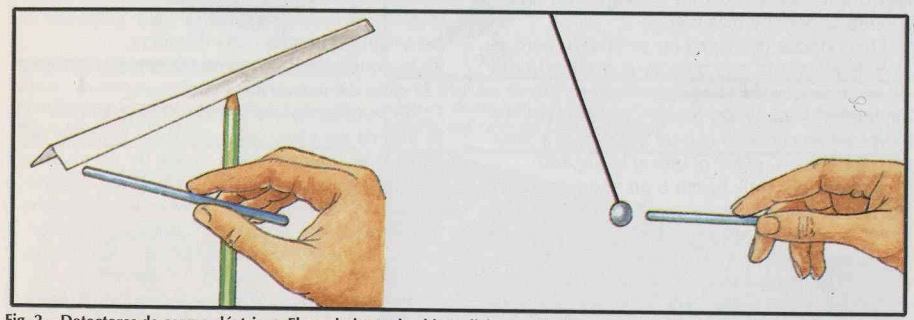


Fig. 2 – Detectores de cargas eléctricas. El movimiento de objetos livianos aislados pone en evidencia la presencia de cargas eléctricas.

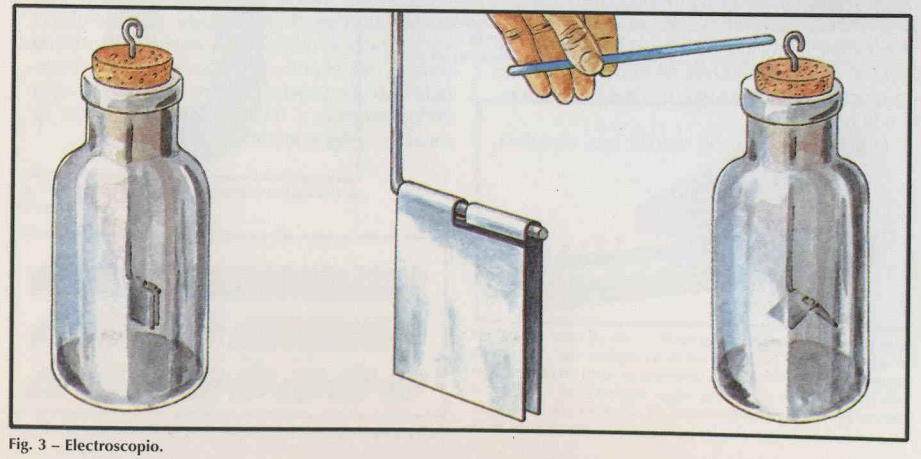


Fig. 3 – Electroscopio.

LOS IMANES

Los imanes, además de constituir un sencillo y atractivo juguete, tienen múltiples aplicaciones: aparatos eléctricos, cierres de puertas, brújulas (fig. 1).

1. *¿Qué objetos o materiales atrae un imán?*
Se aproximan objetos de plástico, madera, metal, algodón, etc., y se anotan los materiales que son atraídos por el imán. Si alguna vez se ha manipulado un imán, es probable que se afirme: «Un imán sólo atrae objetos metálicos». A fin de verificar esta afirmación aproxímense a un imán los objetos metálicos que se encuentran en casa: monedas, cazos de cocina (aluminio y/o acero), clavos de hierro, hilo de cobre o latón o estaño, plomo, algún anillo o pendiente de oro o plata, etc. ¿Qué metales son atraídos por el imán? (fig. 2).

2. Aproximando un clavo o aguja de acero o hierro a los extremos o al centro de un imán, ¿dónde se percibe más fuerza?

3. Dos objetos de hierro no se atraen, pero si uno de ellos está en contacto con un extremo de un imán, ¿actúa como tal?
Un clavo o aguja de hierro con uno de sus extremos en contacto con un imán atrae a otros clavos o agujas. ¿Qué ocurre si se separa?
Se frota un clavo de hierro o un trozo de alambre de acero con el extremo de un imán, varias veces y siempre en el mismo sentido. Si se aproxima a otro clavo de hierro, ¿lo atrae aunque no esté en contacto con el imán? (fig. 3).

4. *Interacciones entre imanes.* Dos imanes se atraen por unos extremos y se repelen por otros. ¿Hay dos clases de magnetismo? (fig. 4).
Una brújula se orienta siempre en la misma dirección y si una aguja imantada o un imán de barra se cuelga de un hilo de forma que quede horizontal, ¿se orienta igual? ¿Qué imán orienta a la brújula?

5. *Líneas de fuerza.* Se coloca una cartulina sobre un imán y se espolvorea con limaduras de hierro, golpeando suavemente la cartulina para que las limaduras se muevan un poco. ¿Cómo se distribuyen?
Sobre una hoja de papel se coloca un imán y una brújula junto a él. Sobre el papel se señala la posición de la brújula o de uno de sus extremos y se desplaza un poco (p. ej. 1 cm) en la dirección que indique. Se señala otra vez la posición y se repite el desplazamiento sucesivamente. ¿Qué forma tiene la línea que une los puntos o posiciones señaladas sobre el papel? Repetir el proceso empezando en distintos puntos (fig. 5).

6. La fuerza entre dos imanes, ¿cómo se relaciona con la distancia? Con cinta adhesiva se fija un imán sobre una mesa (fig. 6) y otro a un dinamómetro. Con la ayuda de pequeños objetos intercalados entre los dos imanes (lápices, cajas de cerillas, etc.) se mantienen separados a corta distancia. Tirando con el dinamómetro se mide la fuerza necesaria para empezar a mover un imán para cada distancia.
¿Qué conclusiones pueden obtenerse respecto a la relación fuerza/distancia?

7. *¿Se pueden separar los polos magnéticos?*
Se imanta un clavo o un trozo de alambre de acero y se señala, con la ayuda de un imán o de una brújula, su polo norte y/o sur. Si se parte el clavo por la mitad, ¿un trozo es el polo norte y el otro es sólo polo sur? Compruébese acercando los extremos de ambos trozos a una brújula (fig. 7).

8. Diferencia entre un trozo de hierro imantado y sin imantar: se llena un tubo de ensayo con limaduras de hierro y se aproxima a cada uno de los extremos de una brújula. ¿Qué se observa? Se frota el tubo varias veces en el mismo sentido con el polo de un imán. ¿Queda imantado? (Se comprueba con una brújula). Se agita enérgicamente, a fin de que las limaduras se mezclen. ¿Sigue imantado? (fig. 8).

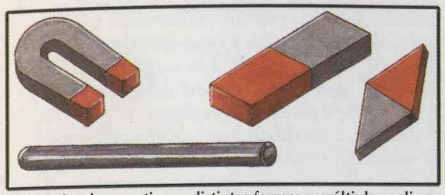


Fig. 1 – Los imanes tienen distintas formas y múltiples aplicaciones

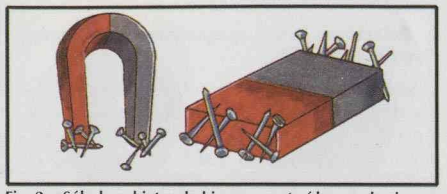


Fig. 2 – Sólo los objetos de hierro son atraídos por los imanes y la atracción es máxima en los extremos.

Fig. 3 – Un objeto de hierro en contacto con un imán se convierte en un imán. Si una aguja de hierro se frota con un imán, siempre en el mismo sentido, se convierte en imán.

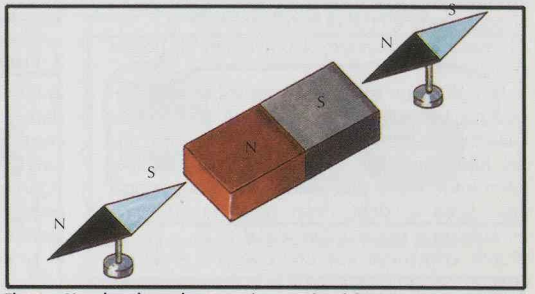


Fig. 4 – Hay dos clases de magnetismo: polos del mismo signo o clase se repelen y de diferente se atraen. La Tierra se comporta como un imán cuyo polo Sur está cerca del Norte geográfico.

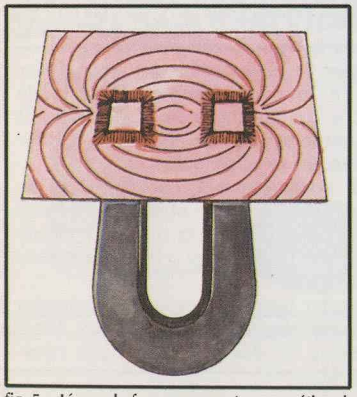


fig. 5 – Líneas de fuerza o espectro magnético de un imán

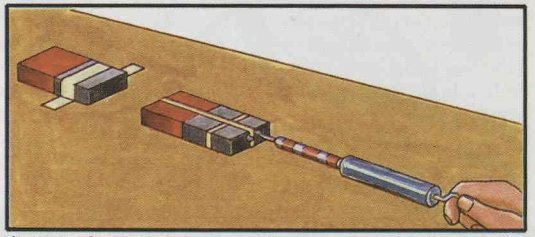


Fig. 6 – La fuerza entre dos imanes disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia de manera análoga a la fuerza entre dos cargas eléctricas.

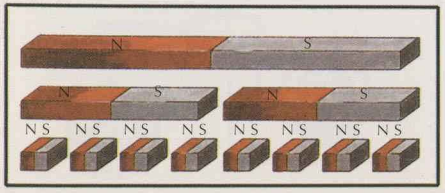


Fig. 7 – Al romper un imán, cada trozo se convierte en un imán.

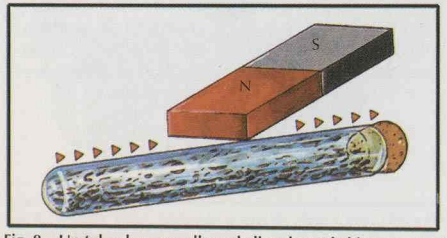


Fig. 8 – Un tubo de ensayo lleno de limaduras de hierro es atraído, o atrae, por cualquiera de los dos polos de una brújula. Al frotarlo con un imán se convierte en un imán que atrae o repele los polos de la brújula según por donde se aproxime a ella. Al agitar enérgicamente, las limaduras se desordenan y se pierde la imantación.

LA CORRIENTE ELÉCTRICA

1. Relaciones entre magnetismo y corriente eléctrica.

a) Se enrolla un cable de cobre aislado alrededor de un clavo o tornillo de acero y se aproxima a limaduras de hierro. ¿Las atrae? Se conectan los extremos del cable a una pila de linterna. ¿Hay atracción entre el clavo y las limaduras? (fig. 1).

b) Con el dispositivo anterior, aproximar una brújula a uno y otro extremo del clavo. ¿Cuál es el polo Norte y cuál el Sur?

Al invertir la conexión, ¿se invierten los polos? (fig. 2).

c) Se coloca un hilo conductor sobre una brújula en la misma dirección que ésta señala cuando está en reposo. Cuando los extremos del hilo conductor se conectan, cerrando el interruptor, a una pila ¿cómo se orienta la brújula? (sólo se debe dejar pasar la corriente durante unos pocos segundos) (fig. 3).

¿Puede concluirse que una corriente eléctrica crea un campo magnético? Una aguja magnética sirve para detectar corrientes eléctricas.

d) Una corriente eléctrica puede mover un imán, pero un imán, ¿puede mover un cable por el que circule una corriente? Se precisa un cable ligero que pueda oscilar. Tal como se indica en la fig. 4, el cable se dobla en forma de U y la parte horizontal del mismo se sitúa entre los polos de un imán de herradura. Al cerrar el circuito, ¿qué ocurre?

Este fenómeno es la base de los motores eléctricos.

e) La corriente eléctrica crea un campo magnético. Con un imán, ¿puede crearse una corriente eléctrica?

Como detector de corriente eléctrica se puede usar una brújula con un cable aislado enrollado a su alrededor (a mayor número de vueltas, mayor es la sensibilidad del detector). Como generador de corriente se precisa una bobina y un imán que pueda moverse por su interior. La bobina puede construirse enrollando cable aislado alrededor de un tubo o botella (50 o más vueltas) de diámetro adecuado al imán a emplear. Se separa la bobina del tubo o botella y se ata para que no se deshaga. Se conecta la bobina al detector de forma que queden ambos dispositivos bastante separados para evitar que el imán interaccione con la brújula. Ésta debe quedar alineada con el cable que la rodea.

Al mover la bobina sobre uno de los polos del imán o al introducir éste dentro de la bobina, ¿qué indica el detector? (fig. 5).

2. Producción de corriente eléctrica.

a) Generador. Está basado en la última experiencia descrita en el apartado anterior. Puede considerarse que es un motor eléctrico funcionando en sentido inverso.

¿Qué es la dínamo de una bicicleta? Si se dispone de una dínamo puede desmontarse fácilmente y observar las partes que la componen. Si se conectan las terminales de una dínamo con los de otra, al hacer girar la rueda de bicicleta en contacto con una de ellas se observa que la ruedecilla de la otra dínamo (que no debe estar en contacto con la rueda de la bicicleta) empieza a girar; la primera actúa como generador y la segunda como motor (fig. 6).

b) Termopar. Se conectan los extremos de un termopar a un galvanómetro (detector de corriente) y con un mechero se calienta el extremo donde se unen los dos metales distintos. ¿Qué indica el galvanómetro? (fig. 7).

c) Pila de Volta. Con monedas o láminas de metales distintos (p. ej. cobre y aluminio), papel secante y agua salada o vinagre puede construirse una pila análoga a la primera ideada por Volta.

Como detector puede usarse un galvanómetro o un miliamperímetro o sencillamente tocar con la lengua los dos polos de la pila construida (fig. 8).

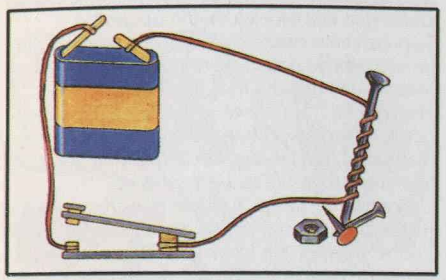


Fig. 1 – Electroimán. Conviene intercalar un interruptor entre la pila y el cable enrollado.

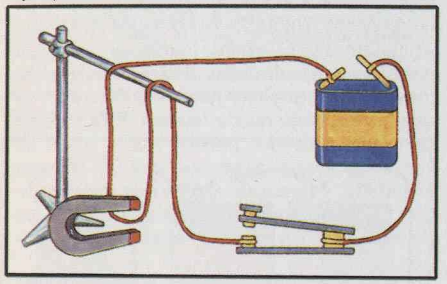


Fig. 3 – Un imán ejerce una fuerza sobre un cable por el que pasa una corriente eléctrica.

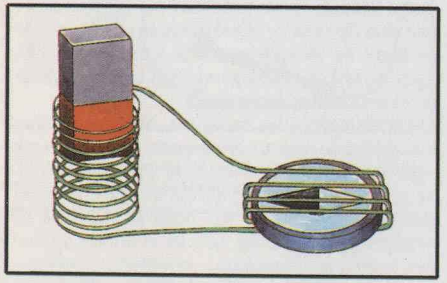


Fig. 5 – Generador y detector de corriente eléctrica.

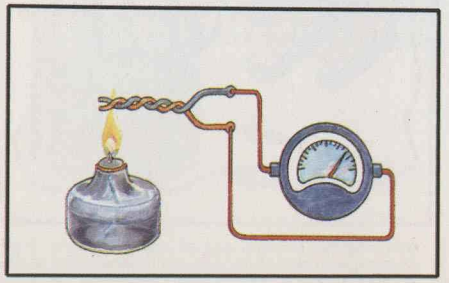


Fig. 7 – Termopar: está constituido por dos metales distintos unidos o soldados. Al calentar la zona de unión se genera una corriente eléctrica.

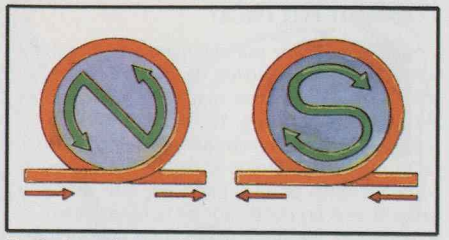


Fig. 2 – Los polos magnéticos de una bobina están determinados por el sentido de circulación de la corriente.

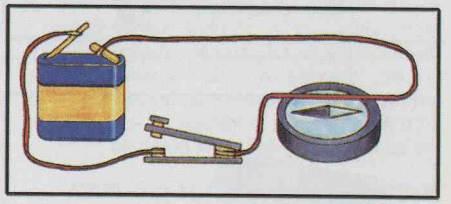


Fig. 4 – La corriente eléctrica crea un campo magnético.

Fig. 6 – La «dinamo» de la bicicleta produce corriente alterna, por tanto es un alternador. Dinamo es un generador de corriente continua. De la «dinamo» sale un solo cable, pues el segundo lo constituye el armazón metálico de la bicicleta.

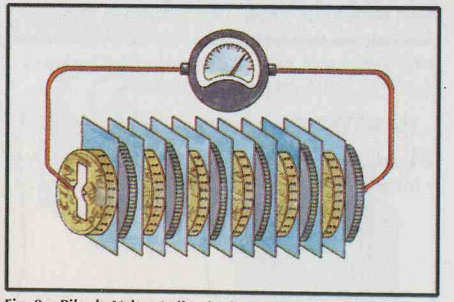


Fig. 8 – Pila de Volta. Apilando discos de plata y cinc alternativamente, separándolos por medio de papel empapado en agua salada, Volta construyó la primera pila. Se deben lijar las monedas o láminas y apilarlos alternando los dos metales, con papel secante empapado en agua salada o vinagre entre ellos. La pila debe tener al menos cuatro piezas de cada metal, bien apretadas y con los extremos diferentes, a los que se fijan los cables que constituirán los polos.

¿QUÉ MATERIALES PERMITEN EL PASO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA?

Con una pila, un portalámparas, la bombilla adecuada y unos trozos de hilo de cobre se monta «un detector de materiales conductores de la electricidad» (fig. 1). Para ello es suficiente con colocar el objeto que se estudia en contacto con los extremos libres de los cables, o sumergir éstos en el líquido del que se desee saber si es o no conductor de la electricidad.

Experiencia. Ensáyese si son o no conductores de la electricidad las sustancias o materiales: papel, madera, alambres, plástico, mina de lápiz, agua, aceite, alcohol, sal de cocina y disoluciones de sal, azúcar, bicarbonato sódico, etc., disuelto en agua. Conectar (o sumergir) los cables a diferentes distancias entre ellos a fin de determinar la influencia de esta distancia en la luminosidad de la bombilla.

EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

1. Efectos magnéticos.

Descritos en la página anterior.

2. Producción de luz y calor.

(Bombilla y estufas):

a) Si se enrolla un hilo de cobre alrededor del bulbo de un termómetro (fig. 2) y se conecta a una pila durante unos segundos, la temperatura señalada por el termómetro aumenta.

b) Construcción de una «bombilla»: con dos clavos o trozos de hilo de cobre gruesos se atraviesa el tapón de una botella (fig. 3), los extremos que quedan en el interior se unen con un trozo de hilo de cobre fino, arrollado como el filamento de una bombilla, y los del exterior se conectan a una pila (o dos). Al conectarlos el filamento brilla un poco y se funde.

3. Efectos químicos.

Se coloca un papel sobre una superficie aislante (madera, baldosa) y se impregna con disolución acuosa de sal común y fenolftaleína (indicador que enrojece en medio básico).

Se ponen en contacto con el papel y los dos polos de una pila de petaca y en uno de los dos polos aparece una mancha roja. ¿Cuál es? (fig. 4).

Electrólisis. Para llevar a cabo este proceso pueden montarse dos aparatos distintos, esquematizados en las figuras 5 (permite recoger gases) o 6 (permite recoger sólidos).

El aparato de la fig. 5 puede construirse fácilmente con material de uso doméstico: los electrodos pueden ser minas de lápiz o mejor barras de carbón del interior de las pilas secas, y el recipiente puede ser una botella de plástico a la que se ha cortado la parte superior y en cuya base se han hecho dos orificios en los que se ajustan los electrodos. Puede ser necesario poner un poco de cera, plastelina o cola en torno a los electrodos y junto al orificio a fin de que el recipiente quede estanco. Para recoger los gases generados pueden usarse tubos de ensayo o frascos pequeños que se colocan invertidos y llenos de agua sobre los electrodos; así el gas que se genere desplazará el agua de estos frascos y quedará retenido en su interior.

Electrólisis del agua. Se añade un poco de vinagre (o ácido sulfúrico) al agua del recipiente antes descrito y se conectan los electrodos a una pila de petaca. ¿Qué gases se producen? Si en lugar de vinagre se añade sal de cocina al agua, se obtiene hidrógeno en el cátodo y cloro en el ánodo (fig. 5).

Electrólisis de sales metálicas. Si se sumergen los electrodos en un recipiente que contenga alguna disolución acuosa de sales metálicas (p. ej. sulfato de cobre, nitrato de plata, etc.), al conectarlos a una o más pilas se deposita el metal en el cátodo (fig. 6) y en el ánodo aparecen burbujas de oxígeno.

Los «cromados» y «niquelados» se obtienen por electrólisis de sales de cromo y níquel respectivamente, y colocando como electrodo negativo el objeto a recubrir.

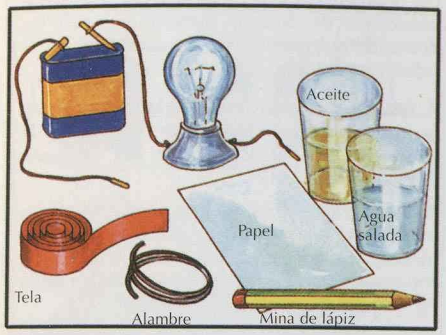


Fig. 1 – Los metales y la mina de lápiz son conductores de la electricidad. La madera, el vidrio y el plástico son aislantes. Al sumergir los cables en el vaso que contiene el líquido a estudiar deben mantenerse separados varios centímetros. Las sustancias que al disolverse conducen la electricidad se llaman electrolitos.

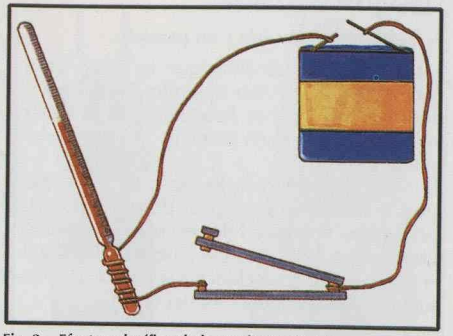


Fig. 2 – Efecto calorífico de la corriente eléctrica.

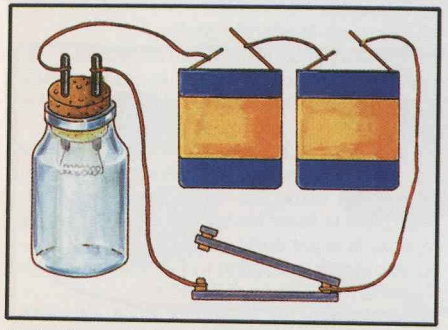


Fig. 3 – Lámpara de incandescencia. ¿Cómo podría alargarse la «vida» del filamento de esta bombilla? Ensayar distintos tipos de alambre y condiciones de funcionamiento.

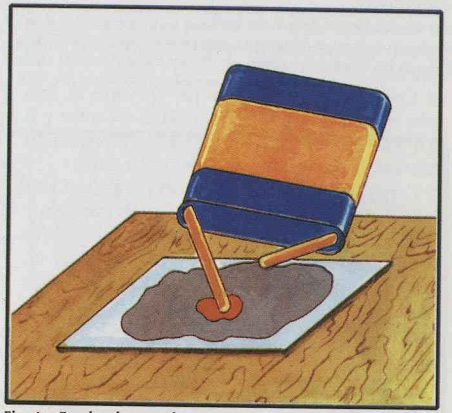


Fig. 4 – En el polo negativo aparece una mancha roja que indica la formación de una base (hidróxido de sodio). Este dispositivo puede servir para determinar los polos de pilas o fuentes de corriente continua.

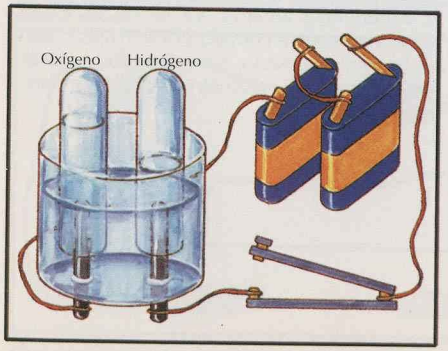


Fig. 5 – En la electrólisis del agua se genera hidrógeno en el cátodo (polo negativo) y oxígeno en el ánodo (polo positivo). La adición de vinagre, ácido sulfúrico o sulfato sódico es necesaria para aumentar la conductividad del agua.

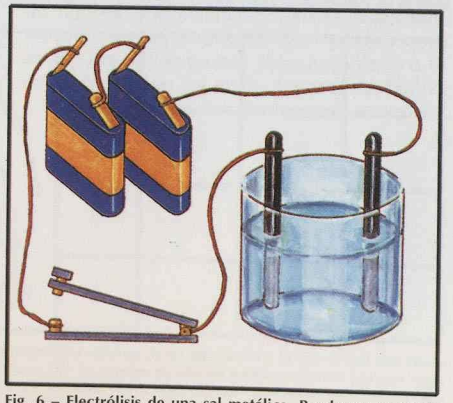


Fig. 6 – Electrólisis de una sal metálica. Puede ser necesario utilizar dos o tres pilas conectadas en serie para que el metal se deposite.

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

1. Conexiones en serie y en paralelo.

Las experiencias sencillas que se proponen a continuación permiten aprender a realizar y distinguir dos formas habituales de conectar aparatos eléctricos: en serie (fig. 1) y en paralelo (fig. 2).

Se debe disponer de: pilas iguales, bombillas iguales adecuadas a las pilas disponibles, portalámparas, trozos de hilo de cobre para conexiones y una tabla o cartón grueso sobre el que se puedan fijar (con chinchetas, clavos o cinta adhesiva) los componentes del circuito.

La intensidad de la corriente se aprecia cualitativamente por el brillo o luminosidad de las bombillas.

a) Conéctese una bombilla a una pila o a dos pilas conectadas en paralelo. ¿Se aprecian diferencias?

b) Conéctense dos bombillas en serie a: una sola pila, a dos pilas conectadas en serie y a dos pilas conectadas en paralelo. Anótense las diferencias de luminosidad en cada caso.

c) Conéctense dos bombillas en paralelo a una sola pila o a dos pilas conectadas en paralelo.

d) Si se dispone de tres bombillas y/o tres pilas pueden ensayarse más combinaciones (p. ej. tres bombillas en serie con unas dos o tres pilas en serie o en paralelo) que han de servir para consolidar las conclusiones de las experiencias anteriores. ¿Cuáles son las conclusiones?

2. Aparatos de medida.

En la experiencia anterior se ha apreciado cualitativamente la intensidad de la corriente observando la luminosidad de las bombillas. La intensidad se mide cuantitativamente con un amperímetro. La diferencia de potencial (voltaje o tensión) se mide con un voltímetro que se conecta en paralelo entre los dos puntos entre los que se desea efectuar la medida (fig. 3).

Un polímetro (tester) es un aparato que puede conectarse de diversas maneras y medir las diferentes magnitudes eléctricas: tensión, intensidad y resistencia.

3. Estudio de la relación entre la intensidad de la corriente que circula por un conductor y la diferencia de potencial entre sus extremos (ley de Ohm).

Para realizar este estudio se requieren varias pilas, un amperímetro y un voltímetro (o polímetros), interruptor y alambre de nicrom (1 m), soportes para disponerlo como se indica en la fig. 4, y cables para las conexiones.

Se realiza el montaje de la fig. 4, se cierra el interruptor y se anotan las lecturas del voltímetro y del amperímetro en la tabla adjunta. A continuación se conectan ssucesivamente dos, tres etc., pilas en serie y se efectúan las correspondientes medidas a fin de completar la tabla de valores.

¿Es constante la relación $\Delta V/I$?

Varíese la longitud del alambre de nicrom (p. ej. tómese el doble o la mitad de la usada antes) y repítase la experiencia anterior. ¿Coinciden los resultados?

Sustitúyase el hilo de nicrom anterior por otro de la misma longitud y distinto grosor (pueden usarse dos trozos de igual longitud trenzados como si fuera un hilo de grosor doble) y repítase la experiencia anterior.

¿Cómo afecta la longitud y el grosor de un conductor al valor de su resistencia?

Si se dispone de alambres finos de otros metales, puede estudiarse si la resistencia depende o no del material conductor, cortando trozos de igual longitud y efectuando la experiencia anterior. En todos los casos debe mantenerse cerrado el interruptor sólo el tiempo necesario para leer los valores indicados en el voltímetro y en el amperímetro.

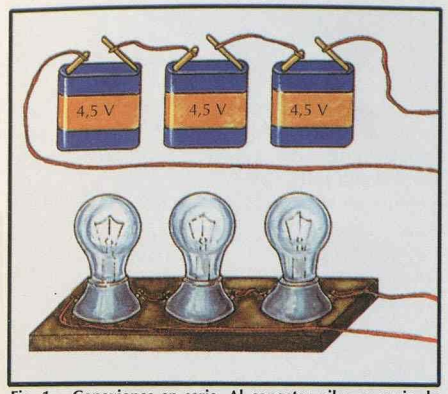


Fig. 1 – Conexiones en serie. Al conectar pilas en serie, la diferencia de potencial total es la suma de las proporcionadas por cada pila. Varias resistencias (bombillas) unidas en serie tienen una resistencia total igual a la suma de todas ellas.

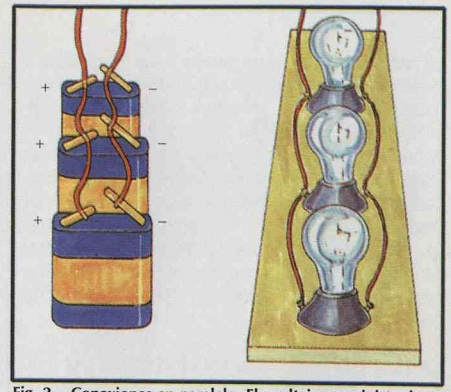


Fig. 2 – Conexiones en paralelo. El «voltaje» suministrado por varias pilas iguales conectadas en paralelo es igual al de una de ellas. La resistencia total (R) de varias conectadas en paralelo (r_1, r_2, r_3) cumple la relación:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

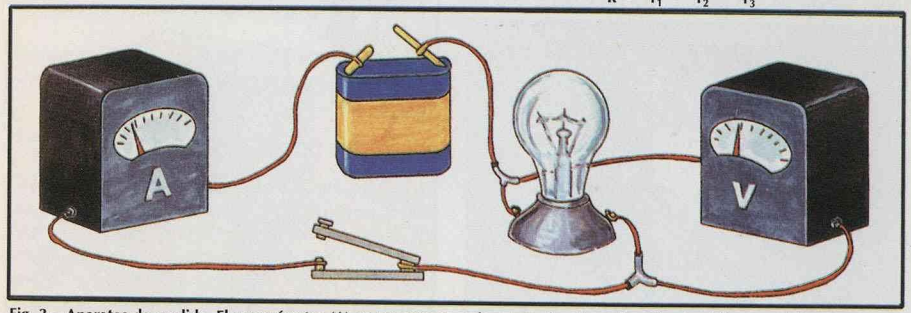
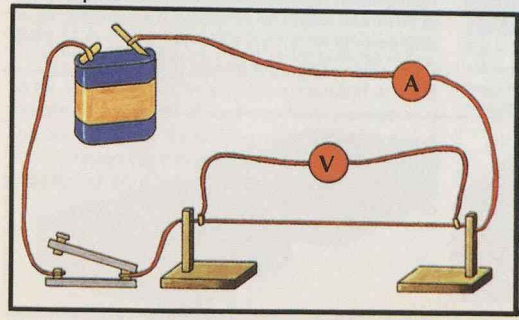


Fig. 3 – Aparatos de medida. El amperímetro (A) se conecta en serie en un circuito y el voltímetro (V) en paralelo. Estos aparatos deben estar conectados sólo el tiempo mínimo necesario para efectuar las medidas. Si se usa un polímetro y se ignora el orden del valor de la tensión o intensidad, se conectará inicialmente la escala mayor y se irá reduciendo hasta la adecuada; así se evita dañar el aparato.



N° de pilas	d.d.p. (V) ΔV	Intensid. (A) I	$\frac{\Delta V}{I} = R\ (\Omega)$
1			
2			
3			

Fig. 4 – Ley de Ohm: La relación entre la diferencia de potencial entre los extremos de un conductor y la intensidad que circula por él es una constante propia del conductor que se llama resistencia (R). El alambre de nicrom puede sustituirse por una resistencia de un hornillo eléctrico o por varias bombillas de alumbrado doméstico conectadas en serie que evidentemente no lucirán. La variación del número de bombillas equivale a variar la longitud del conductor si están en serie, mientras que conectarlas en paralelo equivale a variar el grosor del mismo.

La luz

La luz se origina en un punto (foco luminoso) a partir del cual se propaga sufriendo distintos fenómenos (dispersión, reflexion, refracción, difracción) y si alcanza el ojo produce la visión.
A continuación se sugieren varias experiencias que ponen de manifiesto algunas características de la luz y fenómenos que sufre. El material necesario es de uso corriente: focos de luz (p. ej. linternas), espejos, recipientes transparentes cilíndricos y prismáticos, lupas, cartulina negra, papeles o plásticos transparentes de colores, etc.

LA LUZ ¿SE PROPAGA EN LÍNEA RECTA?

1. Cuando la luz del Sol penetra en una habitación oscura por un orificio pequeño, ¿cómo es el rayo de luz? Si la luz del Sol penetra por una puerta abierta, sobre el suelo aparece una figura luminosa semejante a la puerta. ¿Por qué? (fig. 1).
2. Con un foco o linterna (o luz del Sol que penetra por una ventana) y distintos objetos se pueden provocar sombras y penumbras sobre una pantalla (el suelo o el techo). Si el objeto está cerca de la pantalla la sombra es nítida, mientras que si se aproxima al foco se hace difusa a causa de que aparecen zonas de penumbra. Cuando más extenso es el foco o más se aleja el objeto de la pantalla, más difusa es la sombra. Cuando la sombra es nítida, se parece al objeto que la provoca (fig. 2). ¿Cómo se explican estas observaciones?
3. *La cámara oscura.* Si se enciende una bombilla de filamento curvado y se introduce en una caja (p. ej. de zapatos), que tenga un pequeño orificio hecho con un alfiler, al hacer incidir la luz que pasa por el agujero sobre una pantalla (papel o pared blanca) se observa la imagen del filamento invertida. ¿Cómo se justifica? Si se mide el tamaño del filamento y el de su imagen y las distancias del orificio al filamento y del orificio a la imagen del filamento, ¿qué relación se encuentra? (fig. 3).
Si se hacen dos o tres orificios, ¿cuántas imágenes se forman? (fig. 4).

Una cámara oscura sencilla puede construirse con una caja de cartón alargada, mejor forrada o pintada interiormente de color negro, en cuyo interior se dispone un trozo de papel vegetal o de seda, que ha de cumplir la misión de pantalla sobre la que se proyecta la luz que penetra en la caja por un pequeño orificio realizado con un clavo o aguja (fig. 5). En el lado opuesto de la caja se hace un orificio del tamaño adecuado para permitir observar la pantalla con un ojo.
Dirigiendo la cámara a un objeto muy bien iluminado se verá su imagen invertida sobre la pantalla. Variando la distancia entre la pantalla y el orificio se conseguirán imagenes nítidas. Si se hacen varios orificios pequeños por los que se deja penetrar la luz, ¿varía la imagen formada en la pantalla? Y si se hace un orificio grande (p. ej. de 1 o 2 cm de diámetro), ¿se consigue ver una imagen clara variando la posición de la pantalla?
Colocando una lupa frente al orificio anterior, ¿se obtiene una buena imagen en alguna posición de la pantalla?

REFLEXIÓN DE LA LUZ

La luz se propaga en línea recta y al llegar a un objeto se refleja. Un objeto no luminoso sólo se ve si refleja luz y ésta llega al ojo: si no hay focos de luz (habitación oscura) no se ve, si un objeto no emite ni refleja luz tampoco se ve (este hecho es la causa de accidentes por choque contra puertas de vidrio).
Si un rayo de luz llega a una superficie pulimentada se refleja según una dirección fácil de determinar (reflexión especular), mientras que si la superficie no está pulimentada se refleja en todas direcciones (reflexión difusa).
En una habitación oscura se enciende un foco o linterna y se hace incidir la luz, en primer lugar sobre una pared blanca (o una hoja de papel blanco), y después sobre un espejo.
¿En qué caso se ilumina mejor toda la habitación?

Fig. 1 – El rayo de luz no es visible, lo que se ve son las partículas de polvo, humo o agua en suspensión en el aire.

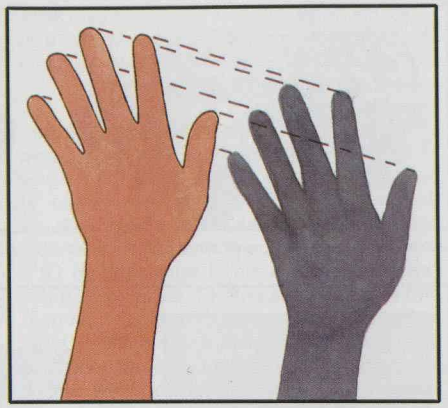


Fig. 2 – La formación de sombras sólo se justifica por la propagación rectilínea de la luz. Una zona de sombra es aquella a la que no llega ningún rayo de luz, mientras que la penumbra se produce en las regiones donde llegan algunos, pero no todos los rayos de luz.

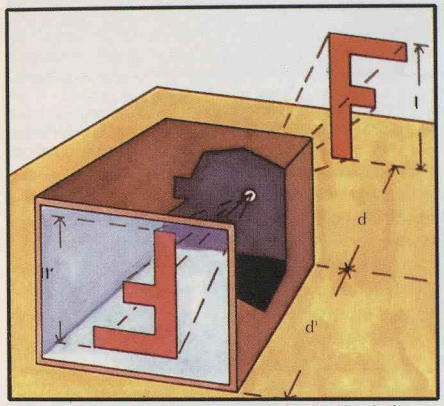


Fig. 3 – La propagación rectilínea de la luz justifica la formación de imágenes invertidas cuando atraviesa orificios pequeños. La relación entre la longitud del objeto (l) y la de la imagen (l') es la misma que entre la distancia orificio-objeto (d) y orificio-imagen (d'): $l/l' = d/d'$. Variando dichas distancias se obtienen imágenes de distinto tamaño.

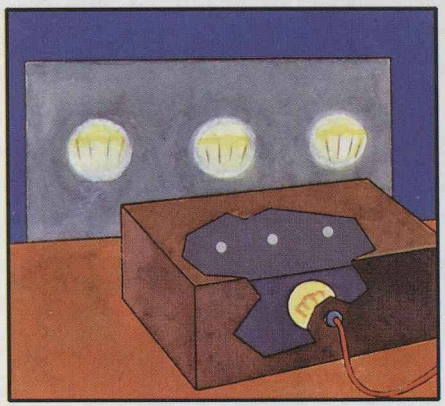


Fig. 4 – Cámara oscura. Si se hacen varios orificios pequeños, sobre la pantalla se forman tantas imágenes como orificios, ya que los rayos de luz son independientes y cada uno forma su imagen.

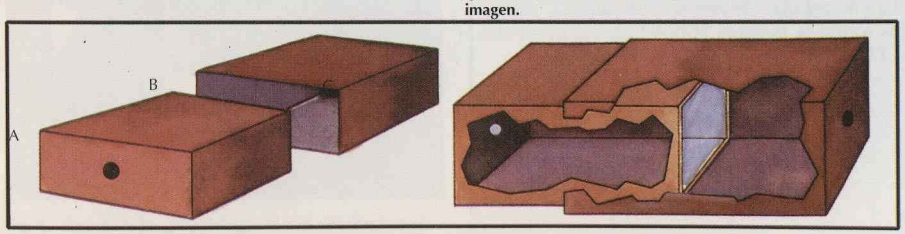


Fig. 5 – Construcción de una cámara oscura. Mejor que una sola caja de cartón es construir dos cajas de cartulina negra, de forma que una de ellas pueda deslizar por el interior de la otra. La más pequeña tiene una abertura en el extremo A y está cerrada por el extremo B con papel vegetal que es la pantalla móvil sobre la que se forman las imágenes. La caja mayor está abierta por un extremo (c), por el que puede penetrar la anterior, y el extremo opuesto tiene un pequeño orificio por el que penetra la luz.

En un espejo, ¿se ven las cosa tal como son?
Si delante de un espejo se mueve la mano derecha, la imagen, ¿mueve su mano derecha o su izquierda? ¿Resulta fácil leer algo a través de un espejo? ¿cómo se ve? (fig. 1).

Leyes de la reflexión

a) Sobre una hoja de papel se trazan dos líneas $\overline{AB}$ y $\overline{OC}$ que se crucen en O y no sean perpendiculares (fig. 2). Sobre la línea $\overline{AB}$ se dispone un espejo plano perpendicular al papel y sobre la línea $\overline{OC}$ se clavan verticalmente (o sujetan con plastelina) dos clavos (o cerillas), uno próximo al espejo (punto D) y otro más alejado (punto C). Así se forman dos imágenes en los puntos D' y C'. A continuación, mirando el espejo desde distintas posiciones con un ojo cerrado, se encuentra un punto (F) desde el cual las dos imágenes se ven alineadas (o sea sólo se ve una si mira a la altura del papel). Se fijan dos clavos en los puntos F y E alineados con las dos imágenes en C' y D'. Se aparta el espejo y se traza la línea que une los puntos F y E. ¿Pasa esta línea por O?
¿El ángulo (α) formado por las líneas $\overline{AB}$ y $\overline{OC}$ es igual al ángulo (β) formado por las líneas $\overline{AB}$ y $\overline{OF}$?
b) ¿Dónde se ve la imagen de un objeto en un espejo plano? (fig. 3). Sobre una hoja de papel se traza una línea $\overline{AB}$ y una perpendicular a ésta que la corta en el punto O. Sobre la línea $\overline{AB}$ se dispone un espejo plano perpendicular al papel. Delante del espejo y sobre la línea perpendicular a $\overline{AB}$ se fija un clavo en el punto C (a 8 o 10 cm del espejo). La imagen que aparece ¿está sobre la recta que pasa por C y O?
Para determinar la distancia a la que se forma la imagen se fijan dos clavos en los puntos D y E de forma que queden alineados con el punto en el que se ve aquélla.
Apartando el espejo se traza la línea que pasa por D y E hasta cortar a la que pasa por C y O. La intersección de ambas es el punto C' donde se forma la imagen. ¿Cómo son las distancias CO y C'O?

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro sufre una desviación debida a un cambio de velocidad. La velocidad de la luz es máxima en el vacío, casi 300.000 km/s; tiene un valor similar en el aire, pero menor en el agua (225.000 km/s) o en el vidrio (entre 150.000 y 200.000 km/s). Al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en otro medio se le llama «índice de refracción absoluto» (n).
1. Se sumerge parcialmente en un vaso con agua un cuchillo (u otro objeto recto) y se mira en la dirección del mismo: si está vertical, ¿se ve recto? ¿Y si está inclinado? Si se mira lateralmente, ¿parece que esté roto?
2. Se llena con agua y unas gotas de leche un recipiente de caras planas y transparente y sobre él se hace incidir un rayo de luz, obtenido haciendo pasar la luz de un foco a través de una rendija (fig. 4). Colocando el recipiente sobre un papel se puede dibujar la trayectoria de la luz: si el rayo es perpendicular a la pared del recipiente, ¿se desvía? ¿Y si forma un ángulo de incidencia ($\hat{i}$) respecto a la perpendicular?
El rayo que emerge del recipiente, ¿está alineado con el que penetra? ¿son paralelos los rayos citados?
3. *Índice de refracción del agua.* Se recorta un cartón rígido como se indica en la fig. 5, de forma que pueda sumergirse parcialmente en agua, y se trazan las líneas $\overline{AB}$, horizontal que es el nivel que debe alcanzar el agua en el recipiente, la perpendicular (normal) $\overline{NN'}$ (por punto O) a la recta $\overline{AB}$ y $\overline{CO}$ que forma un ángulo $\hat{r}$ con $\overline{NN'}$. Se sumerge verticalmente en agua hasta el nivel de la línea $\overline{AB}$ y mirando oblícuamente se señala sobre el cartón un punto D que parezca alineado con $\overline{OC}$. Se extrae el cartón del agua y se traza la línea OD que forma un ángulo $\hat{i}$ con la recta NN'. Con un transportador se miden los ángulos $\hat{i}$ y $\hat{r}$ y con unas tablas trigonométricas o con una calculadora se determinarán los valores de «sen i» y de «sen r». El índice de refracción es $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$.

¿A qué velocidad va la luz en el agua?

Fig. 1 – Si se mueve la mano derecha delante de un espejo, la imagen mueve su mano izquierda. Una palabra escrita se ve al revés en un espejo.

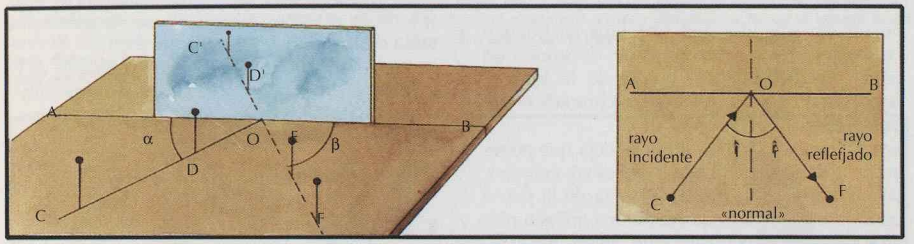


Fig. 2 – La línea que une F y E pasa por O y el ángulo α es igual al ángulo β. El rayo de luz que pasa por C y D y se refleja en O se llama «incidente» y el que se refleja en O pasando por E y F, «reflejado». La recta perpendicular a AB por el punto O se llama «normal al espejo». *Ley de reflexión:* El rayo incidente, la normal, y el rayo reflejado están en el mismo plano y el ángulo de incidencia ($\hat{i}$) es igual al de reflexión ($\hat{r}$).

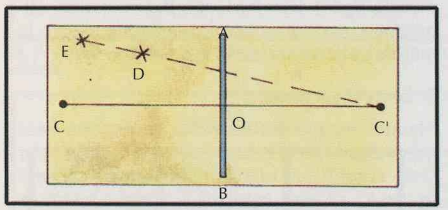


Fig. 3 – La distancia del objeto al espejo es igual a la distancia del espejo a la imagen. La imagen se forma por prolongación de los rayos de luz, por lo que se denomina «virtual».

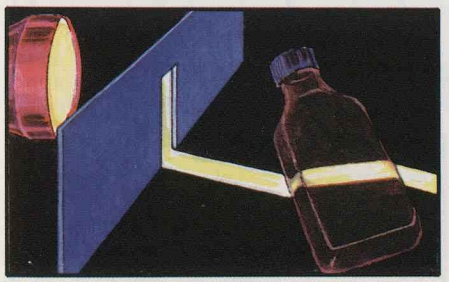


Fig. 4 – Cuando la luz pasa del agua al aire se refracta, alejándose de la recta normal si el ángulo de incidencia es mayor que 0° $\hat{r} > \hat{i}$
Si la luz penetra en el agua con un ángulo $\hat{i}$ mayor que 0°, se desvía aproximándose a la normal: $r < \hat{i}$. Si la luz incide perpendicularmente sobre la superficie de separación aire-agua, no se desvía: $\hat{r} = \hat{i} = 0$.

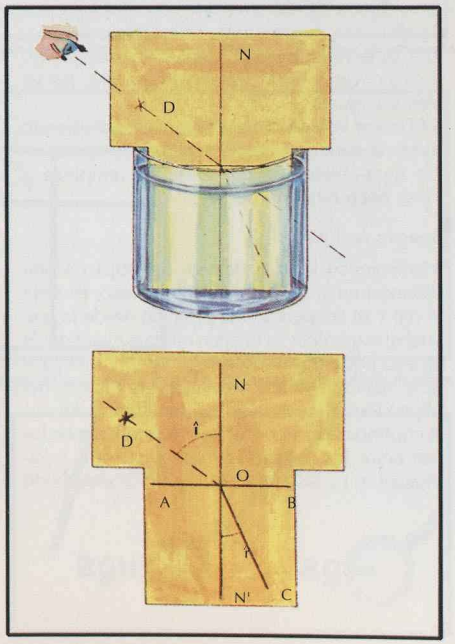


Fig. 5 – Índice de refracción del agua (n).
Velocidad de la luz en el agua = $\frac{300.000}{n}$ km/s

LENTES

Todo medio transparente limitado por dos caras, siendo por lo menos una de ellas curvada, constituye una lente. Si ésta es más gruesa en el centro que en los bordes, refracta los rayos luminosos que la atraviesan reuniéndolos en un punto (lente convergente) y si es más delgada en el centro que en los bordes los refracta dispersándolos (lente divergente). Las lentes convergentes son las de uso más frecuente y muy fáciles de obtener con material de uso doméstico (fig. 1).

1. Distancia focal.

En un día soleado, con una lupa se pueden concentrar los rayos de sol y encender un papel. La distancia del centro de la lupa al papel cuando la luz aparece concentrada en un punto es la distancia focal (f).

Se oscurece una habitación y se deja que penetre luz sólo por una puerta (o ventana); colocando una lupa a una cierta distancia de la pared opuesta a la puerta se proyecta una imagen nítida e invertida de la misma y de objetos del exterior. Esta distancia es la distancia focal (f).

2. Imagen virtual (fig. 2).

Si se coloca un objeto (o texto escrito) a pequeña distancia de una lupa, se ve mayor y derecho. Si se mantiene la distancia lupa-objeto (p) y se va variando la distancia lupa-ojo, ¿se ve siempre igual?

Se coloca la lupa cerca del ojo y manteniendo fija su distancia al ojo se va variando la distancia lupa-objeto. ¿A qué distancia empieza a verse poco nítido el objeto?

Imagen real (fig. 3).

Manteniendo la lupa delante del objeto a una distancia en la que se vea muy borroso, se aleja el ojo y se encuentra una posición desde la que vuelve a aparecer su imagen nítida e invertida. Si en esta posición se sustituye el ojo por una pantalla blanca, aparece proyectada la imagen del objeto (éste debe estar muy bien iluminado).

A continuación se propone estudiar las relaciones entre las distancias lupa-objeto (p), lupa-imagen (p') y las alturas (o anchuras) del objeto (y) y la imagen (y'). El dispositivo experimental requiere una lupa, una cinta métrica, una bombilla encendida, de las que tienen grabadas en la parte frontal sus características o marca y una cartulina blanca (pantalla).

Fijando la bombilla encendida en un punto de una habitación oscurecida, para lo cual es mejor que la bombilla sea tipo foco, se sitúa la lupa a distintas distancias (p) de la misma y con la pantalla se determinan las sucesivas distancias (p') en las que aparece proyectada una imagen nítida de las letras o marca de la bombilla. En cada caso también se mide la altura (y') de la imagen obtenida y se completa la tabla de la fig. 4.

Es conveniente tomar valores de p iguales a: f (distancia focal), 1,5f, 2f, ..., 4f; valores muy grandes de p dan lugar a imágenes muy pequeñas que se forman en el foco.

¿Puede concluirse que $\frac{p'}{p} = \frac{y'}{y}$?

4. Microscopio casero.

Con dos lentes convergentes y una regla o tabla sobre la que se puedan fijar, por ejemplo con plastelina, se construye un microscopio elemental (fig. 5). Las dos lentes deben quedar alineadas a una distancia que pueda regularse y la más delgada se situará cerca del ojo.

5. Lente divergente.

Algunos recipientes de vidrio tienen una base más delgada en el centro que en los bordes, por tanto constituyen una lente divergente. ¿Cómo se ven los objetos (o textos escritos) a través de una lente divergente?

Con un alambre se da una vuelta alrededor de un clavo y se obtiene un aro (fig. 6). Si este aro se sumerge en agua, al extraerlo retiene una gota de agua. Esta gota es más gruesa en el centro que en los bordes, por tanto es una lente convergente y el sistema es una lupa. Golpeando el alambre cae parte de la gota de agua y la que queda retenida forma una película más delgada por el centro que por los bordes: es una lente divergente. Obsérvese alguna letra u objeto pequeño. ¿Cómo se ve?

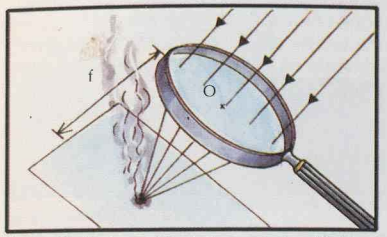


Fig. 1 – Cualquier recipiente transparente, cilíndrico y lleno de agua constituye una lente convergente (lupa). Ésta concentra los rayos luminosos que le llegan paralelos, en un punto llamado foco (F). La distancia de este punto a la lente (centro óptico O) se llama distancia focal (f). Los rayos luminosos que pasan por el centro óptico (O) no se desvían.

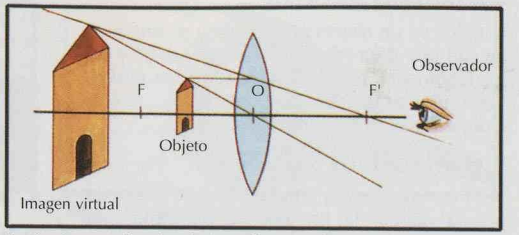


Fig. 2 – Imagen virtual es la formada por prolongación (hacia atrás) de los rayos luminosos procedentes del objeto. Si el objeto está a una distancia menor que la focal, con una lupa se ve su imagen virtual mayor y derecha. Si el objeto está a mayor distancia, se forma su imagen real e invertida a una distancia que depende de la del objeto.

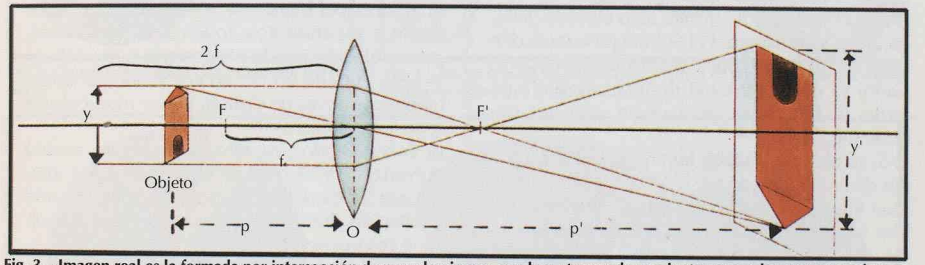


Fig. 3 – Imagen real es la formada por intersección de rayos luminosos que han atravesado una lente; se puede proyectar sobre una pantalla.

Altura objeto = y = ... Distancia focal = f = ...

si f se expresa en metros: potencia de la lente = 1/f y la unidad de medida es la dioptría.

Distancia objeto p	Distancia imagen p'	Altura imagen y'	Aumento lateral y'/y	p'/p
p < f	Imagen virtual			
p = f =				
p = 2f =				
p = 4f =				

Si f < p < 2f y' > y

Si p > 2f y' < y

Fig. 4 – Recogida y elaboración de datos. Se considera que la lente usada es simétrica y que las distancias focales objeto (f) e imagen (f') son iguales.

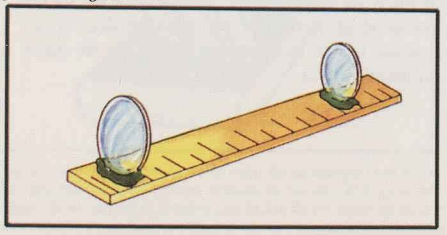


Fig. 5 – Microscopio.

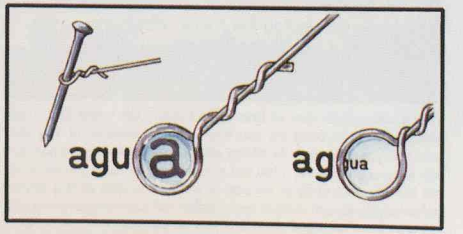


Fig. 6 – Lentes de agua. Las imágenes de una lente divergente son virtuales, derechas y menores que el objeto.

LOS COLORES DE LA LUZ

El color de un objeto no luminoso es una propiedad que depende de la luz que recibe y de los fenómenos que ésta sufre al incidir o atravesar el objeto: reflexión, absorción, refracción, difracción e interferencia.

1. Colores de la luz blanca.

a) Si un rayo de luz «blanca» incide sobre un prisma óptico, la luz que se transmite está constituida por franjas de colores que constituyen el «espectro de la luz».
Si no se dispone de prisma óptico puede obtenerse el espectro haciendo incidir un rayo de luz sobre un cuerpo prismático transparente, por ejemplo: un tubo de bolígrafo o un recipiente con agua, como se indica en la fig. 1.
b) Arco iris: si desde un sitio algo elevado (silla, escalera) y de espaldas al Sol (mejor cuando los rayos de luz tienen poca inclinación respecto al suelo) se deja salir agua de una manguera en forma de fina lluvia, aparece un arco iris circular (fig. 2).
c) Si se observa un foco luminoso o el Sol a través de una pluma de ave o de un tejido de malla muy fina (p. ej. tela de paraguas), se ven múltiples focos (fenómeno justificado en la experiencia de la cámara oscura cuando se realizan varios orificios) y aparecen los colores del espectro.
d) Los colores de un disco negro: si se hace incidir luz de forma casi rasante sobre un disco fonográfico (fig. 3), se observan los colores del espectro.
e) Las manchas de aceite y las películas o burbujas de jabón permiten observar distintos colores del espectro que dependen del grosor de la película, del ángulo de incidencia de la luz del de observación (fig. 4).

2. Adición de colores.

La adición de colores se obtiene superponiendo luces de diferentes focos.
Se cubren dos focos o linternas con papel celofán de distintos colores y, en una habitación oscura, se proyectan las luces sobre una pantalla blanca. ¿Qué colores aparecen al superponer luz roja y verde, roja y azul o verde y azul?
Si se coloca algún objeto delante de la pantalla, ¿de qué color son las sombras?
Se recorta un disco de cartulina blanca, se divide radialmente en siete secciones (o mejor 14) que se pintan con los colores del arco iris y se atraviesa por el centro con un clavo largo o un lápiz. Si se hace girar el disco rápidamente, ¿qué color se ve? (fig. 5).

3. Absorción de colores (sustracción).

a) Si se colocan hojas de papel de celofán de distintos colores superpuestas delante de un foco, ¿qué color se transmite?
Iluminar una pantalla con luz de dos colores, por ejemplo roja y verde. ¿Produce el mismo color que el de un solo foco cubierto por dos láminas de los colores citados?
b) Si un papel blanco se pinta con dos colores distintos superpuestos, ¿qué color se obtiene?, ¿tiene relación con la experiencia anterior?
c) Si se ilumina un dibujo coloreado sucesivamente con luces de distinto color, ¿qué colores se ven en cada caso?
d) Encendiendo una mezcla de sal de cocina pulverizada y alcohol se obtiene una luz anaranjada típica del sodio incandescente. En una habitación iluminada sólo por la luz anterior, ¿qué colores se ven? (fig. 6).

4. El color del cielo.

Se llena con agua un frasco alto de vidrio transparente, se añaden unas gotas de leche y se agita para homogeneizar la mezcla. Manteniendo el frasco vertical, se ilumina desde abajo hacia arriba con una linterna (mejor en una habitación oscura): si se mira lateralmente el líquido parece azulado, pero observando desde arriba parece rojizo (fig. 7).
Si se va añadiendo más leche, ¿qué colores se ven?
Con suficiente cantidad de leche, el líquido se ve negruzco.
Esta experiencia ayuda a comprender por qué el cielo es azul, rojizo al atardecer (especialmente si el viento ha levantado polvo) o por qué las nubes negras (muy cargadas de agua) anuncian lluvia.

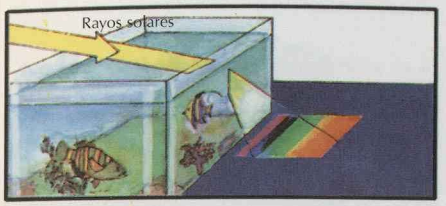


Fig. 1 – Espectro de la luz solar.

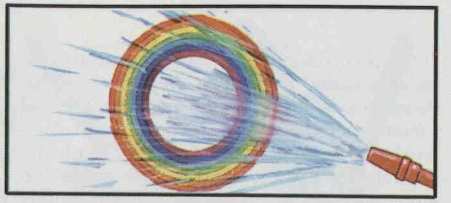


Fig. 2 – Arco iris.

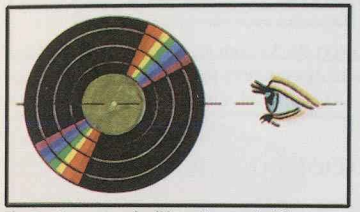


Fig. 3 – Espectro de difracción producido por un disco.

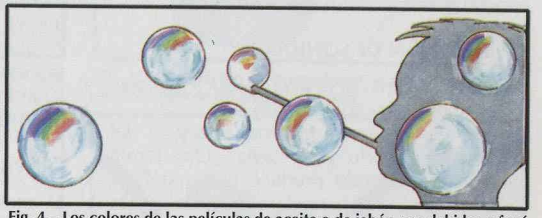


Fig. 4 – Los colores de las películas de aceite o de jabón son debidos a fenómenos de reflexión e interferencia.

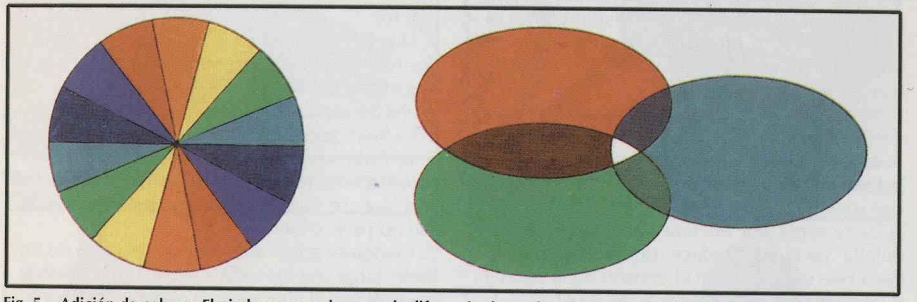


Fig. 5 – Adición de colores. El ojo humano es incapaz de diferenciar luces de colores (frecuencias) distintos que le llegan simultáneamente. Los colores básicos de la adición son: rojo, verde y azul.

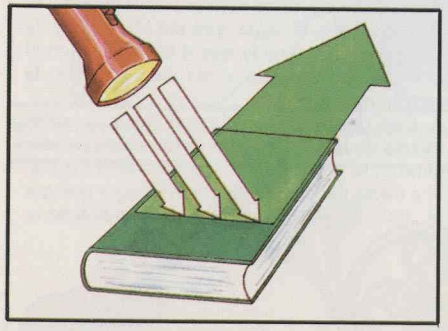


Fig. 6 – Absorción de colores. El color de un cuerpo es el de la luz que refleja. Si un cuerpo absorbe la luz que le llega se ve negro. Si un objeto se ilumina con la luz de un color (p. ej. el anaranjado de sodio incandescente) sólo son visibles las partes que contienen algo de dicho color y el resto aparece negro.

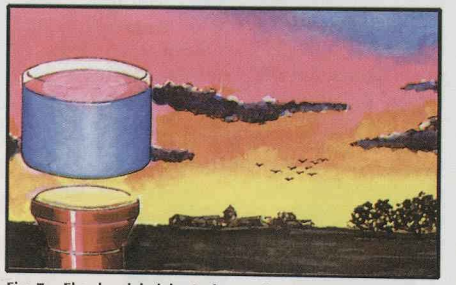


Fig. 7 – El color del cielo. La luz azul es más dispersada que la roja por la atmósfera, igual que por las partículas del líquido enturbiado con leche; por esta razón el cielo es azul en todas direcciones, pero al atardecer la luz debe recorrer una gran distancia por la atmósfera, por lo que en la dirección del Sol llegan preferentemente las radiaciones rojizas menos dispersadas. Una nube muy cargada de partículas de agua no transmite luz y por tanto, se ve negra.

El sonido

El sonido o ruido va asociado a la mayoría de las actividades; la observación de estas actividades cotidianas pone de manifiesto que el sonido se produce en un punto, se propaga, y en algunos casos el oído lo percibe. Se plantean preguntas: ¿cómo o por qué se produce o propaga?, ¿qué es el eco? etc., cuya respuesta se puede encontrar realizando sencillas experiencias con materiales de uso doméstico.

PRODUCCIÓN DE SONIDO

Cualquier material sirve para producir sonidos: es suficiente golpearlo, frotarlo, etc.

1. Se tensa una goma elástica, se separa del punto de equilibrio y se suelta. ¿Qué forma parece tener cuando produce el sonido? Se rodea un libro o caja rígida con varias gomas elásticas diferentes y se separan de la superficie del libro colocando un par de lápices debajo de ellas (fig. 1). Pulsando las distintas gomas se aprecian sonidos diferentes. ¿Qué relación se observa entre sonido agudo o grave y longitud y grosor de las gomas?
2. Se cortan varios listones del mismo grosor y diferente longitud y se cuelgan mediante hilos o se apoyan horizontalmente sobre dos cuerdas. Al golpearlos con un pequeño mazo, los más largos dan sonidos más graves que los más cortos.
3. Si se sopla por encima de la boca de una botella vacía se produce un sonido. ¿Cómo varía este sonido según el tamaño de la botella o llenándola progresivamente de agua?
4. Se tapa un cazo con un trozo de plástico, se sujeta con una goma elástica para que quede tenso y encima se esparce un poco de azúcar. Si cerca de este cazo se golpea algún objeto a modo de tambor, ¿qué movimiento sufren los granos de azúcar (fig. 2).
5. Se fija una lámina de acero (p. ej. una hoja de sierra) en el borde de una mesa de forma que sobresalga en su mayor parte (fig. 3). Desplazando el extremo libre y soltándolo la lámina empieza a vibrar. La rapidez de esta vibración depende de la longitud y grosor de la lámina. Si se acorta bastante el trozo de lámina que sobresale de la mesa, al hacerla vibrar produce un zumbido, que no debe confundirse con los golpes que puede dar la lámina contra la mesa si no se ha fijado bien.
6. Se fija una cartulina fuerte de forma que roce con los radios de la rueda trasera de una bicicleta invertida. Haciendo girar la rueda cada vez más rápido el sonido va cambiando (fig. 4).
7. Si un disco de 33 rpm se escucha haciéndolo girar a 45 rpm o uno de 45 rpm se escucha girando a 33 rpm, ¿el sonido es más agudo o más grave?

PROPAGACIÓN DEL SONIDO

El sonido se produce por vibración de un medio material y se propaga a través de un medio material. No se propaga en el vacío (fig. 6).

1. Una persona que mastica algo duro oye ruidos fuertes, sin embargo a otra que esté cerca le parecen débiles.
Si una persona graba su voz, al oírla no la identifica bien, pero otra persona sí.
Si se frota suavemente un lápiz u otro objeto rígido apenas se oye el sonido producido, pero si el lápiz se sujeta con los dientes, entonces el sonido parece fuerte.
2. Cualquier golpe suave en un extremo de un listón largo (mesa, valla metálica, etc.) puede no oírse por el aire, pero se oye muy bien aplicando el oído en el otro extremo del listón.
3. Un golpe entre dos objetos se oye mejor si se produce bajo el agua (piscina, bañera) y la cabeza está sumergida que si se produce en el aire, a igual distancia y, por supuesto, con la cabeza no sumergida.
4. Con dos vasos de plástico rígido y varios metros de hilo (ensáyense distintos tipos y longitudes) se construye un «teléfono de hilo» (fig. 5) a través del cual la voz se oye mejor que por el aire. Al hablar, el hilo debe mantenerse tenso.

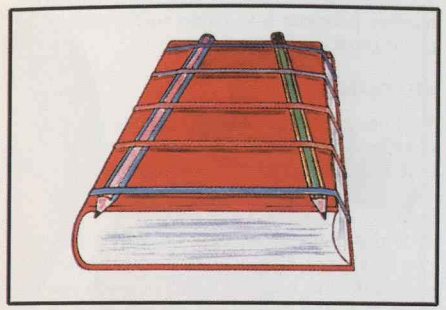


Fig. 1 – Las gomas más gruesas y largas producen sonidos más graves.

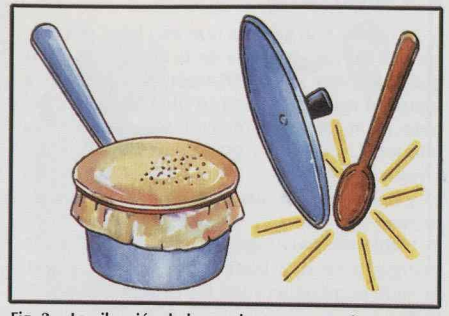


Fig. 2 – La vibración de la membrana se pone de manifiesto por los saltos de los granos de azúcar.

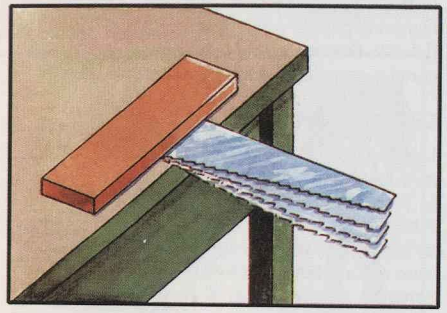


Fig. 3 – Si la lámina vibra con suficiente rapidez produce un sonido.

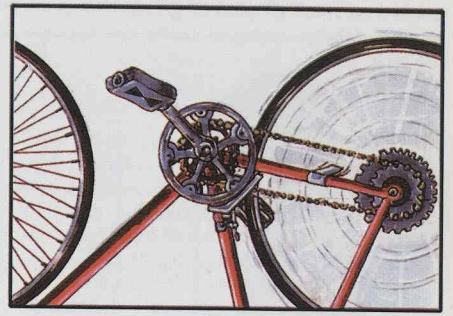


Fig. 4 – Al aumentar la rapidez de la vibración de un cuerpo aumenta el tono del sonido emitido.

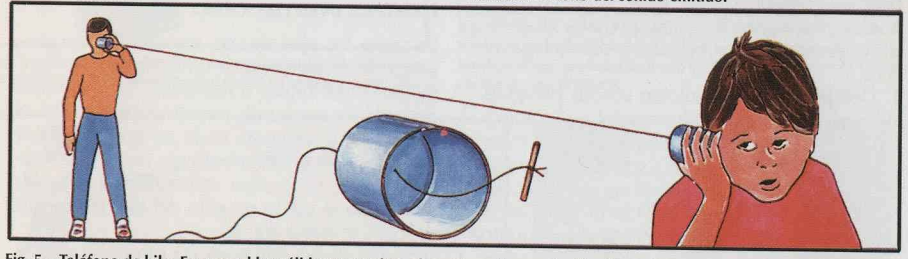


Fig. 5 – Teléfono de hilo. En general los sólidos transmiten el sonido mejor que los líquidos y éstos mejor que los gases. El hilo conduce las vibraciones sonoras más rápidamente que el aire.

Fig. 6 – Los instrumentos musicales producen sonidos por vibraciones de cuerda (guitarras, pianos), columnas de aire (flautas, trompetas), membranas, etc. Cuerdas largas y gruesas y columnas de aire o membranas grandes dan sonidos graves. Un altavoz de sonidos graves es grande, mientras que uno de agudos es pequeño.

EL SONIDO PUEDE DIRIGIRSE

1. Al hablar con alguien que esté lejos se colocan las manos alrededor de la boca para evitar que el sonido se disperse por los lados; para escuchar mejor, la mano se sitúa alrededor del oído a fin de concentrar el sonido hacia su interior. Un embudo grande, o una cartulina arrollada en forma cónica constituyen un megáfono sencillo que cumple la misión de las manos.
2. Hablando muy bajo por el extremo de una manguera se oye bien por el otro extremo, aunque la manguera sea muy larga y esté curvada.
3. Estetoscopio casero: un embudo pequeño unido a un trozo de tubo de goma permite oír sonidos débiles, como el latido del corazón (fig.1).

REFLEXIÓN DEL SONIDO

1. Un reloj despertador (o un aparato de radio en marcha pero a bajo volumen) colocado dentro de un recipiente abierto no se oye desde poca distancia, pero colocando un espejo o plato sobre el recipiente con el ángulo adecuado se consigue oír el tic-tac (fig. 2).
2. En una habitación grande los sonidos no se oyen igual según que esté vacía o llena de gente, con ventanas abiertas o cerradas o con cortinas y alfombras o sin ellas.
3. Una pared grande o una montaña en posición adecuada reflejan el sonido dando lugar al eco.
4. Dos personas que sujeten sendos paraguas abiertos, con el mango horizontal y situadas a pocos metros de distancia (fig. 3) pueden mantener una conversación en voz baja sin que una persona situada entre ambas pueda oírlas. La persona que habla debe hacerlo dirigida hacia el paraguas y aproximadamente en el punto central del mango; la que escucha debe situar su oído en una posición similar.
5. Cantar mientras se duchan es algo que hacen muchas personas y su canto suena mejor que en un espacio abierto (fig.4).

RESONANCIA

1. Si una persona sujeta una botella junto a su oído, cerca de otra que sopla en la boca de una botella idéntica produciendo un sonido, la primera persona oye un sonido procedente de su botella.
2. Si dos guitarras afinadas están una frente a otra y a poca distancia, al hacer vibrar una cuerda de una, también vibra la cuerda equivalente de la otra.
3. Si se aproxima al oído una concha marina, o la boca de cualquier bote abierto sólo por un extremo, parece oírse el murmullo de las olas del mar. Estos murmullos son más agudos en una concha pequeña y más graves en una grande.

EFECTO DÖPPLER

La sirena de un vehículo que se acerca parece más aguda que cuando se aleja.
Si se coloca un silbato en el extremo de un tubo flexible de 1,5 o 2 m y por el otro extremo se sopla para hacerlo sonar mientras se gira el tubo en un plano horizontal, a alguien que esté cerca le parecerá que el tono del silbido es variable (fig. 5).

LIMITACIONES DEL OÍDO

Se tapan los ojos de una persona y se le pregunta de dónde procede un ruido que se hace (golpes entre tablas o monedas). Si este ruido procede de un punto situado a su derecha o izquierda su respuesta suele ser correcta, pero si se hace en un punto situado en el plano de simetría de su cuerpo responde, en general, señalando el punto opuesto del que realmente procede el ruido (fig. 6).
¿Por qué es tan difícil ver un mosquito que se oye justo delante o detrás de la cabeza?

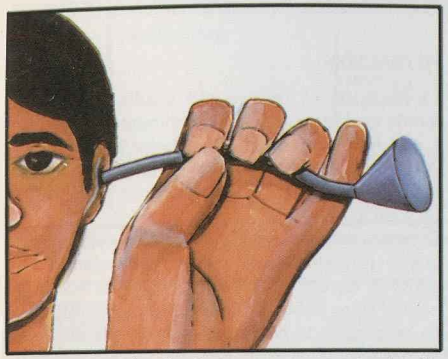


Fig. 1 – Estetoscopio. El embudo recoge y concentra el sonido que va hacia el oído a través del tubo.

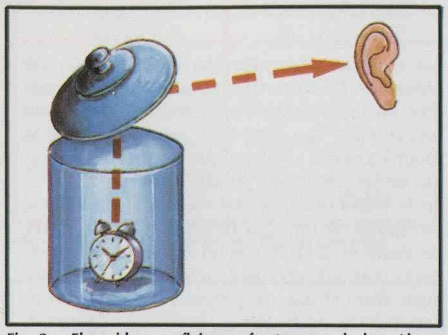


Fig. 2 – El sonido se refleja y refracta como la luz. Algunas superficies lo absorben en lugar de reflejarlo.

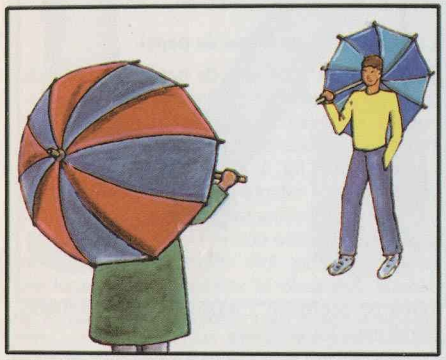


Fig. 3 – Un paraguas proyecta ondas sonoras hacia el otro que, por reflexión, las concentra en el punto en el que pueden oírse.

Fig. 4 – En un espacio abierto, la voz se dispersa. La ducha se toma en un espacio reducido en el que los sonidos se reflejan muchas veces, prolongándose su audición y produciendo la sensación de voz brillante.

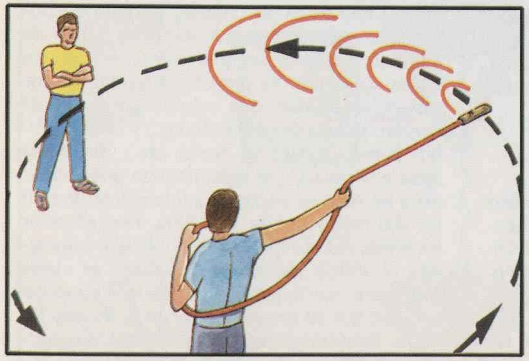


Fig. 5 – Efecto Döppler: El tono de un sonido es el número de ondas sonoras emitidas por segundo. Si el cuerpo emisor se aproxima al receptor, éste recibe más ondas por unidad de tiempo de las que produce el emisor. Por tanto tiene la sensación de sonido más agudo que el emitido. Si el emisor se aleja se produce el efecto opuesto y el sonido recibido se oye más grave.

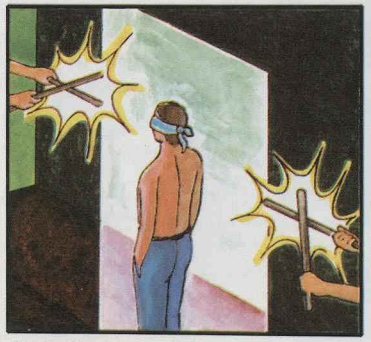


Fig. 6 – Una persona distingue los sonidos producidos a su derecha o izquierda porque llegan antes a uno de sus oídos, pero los producidos en el plano de simetría de su cuerpo llegan simultáneamente a ambos oídos y crean confusión.

Técnicas de purificación de sustancias

Las técnicas de separación de mezclas y de obtención de sustancias puras son indispensables en la investigación química, ya que, en una primera aproximación, puede definirse la Química como «ciencia que se ocupa del estudio de las sustancias puras».

En la Naturaleza, la materia suele presentarse en forma de mezclas heterogéneas, y a partir de éstas el químico debe obtener sustancias puras. Las distintas sustancias puras se distinguen entre sí por sus propiedades características: puntos de fusión y ebullición, densidad, solubilidad, etc. Las diferencias en una o varias de estas propiedades son la base de las diferentes técnicas de purificación de sustancias.

El progreso de la ciencia y de la técnica durante el presente siglo ha perfeccionado las técnicas existentes y ha creado otras nuevas, generalmente muy complejas, cuyo estudio corresponde a un nivel universitario. En este tema sólo se abordan las técnicas más sencillas, que han sido y siguen siendo muy utilizadas en investigación química (fig. 1).

DECANTACIÓN

Se mezcla un poco de arena fina y gruesa, tierra, lodo, grava etc., y se introduce en un recipiente transparente, alto y estrecho (p. ej. una probeta), hasta la mitad de su altura. Se acaba de llenar con agua, se agita enérgicamente y se deja en reposo. Al cabo de un tiempo los distintos materiales aparecen separados. ¿En qué orden se presentan? El agua puede tardar horas en aparecer clara; en este momento, inclinando suavemente el recipiente se puede verter casi toda el agua, separándola de las partículas sólidas (fig.2).

CENTRIFUGACIÓN

La decantación de un sólido finamente dividido en suspensión en un líquido suele ser un proceso muy lento que se acelera por centrifugación. Se llenan hasta la mitad dos tubos de ensayo con agua enturbiada con lodo o carbón activo, dejando uno en reposo y centrifugando el otro durante unos minutos. Compárense los resultados (fig. 3).

FILTRACIÓN

La filtración es un proceso usado cotidianamente en la preparación de alimentos (¿qué es y qué función cumple un colador?) o bebidas como las infusiones (té, café, etc.); los coches también llevan varios filtros: de aire, de gasolina y de aceite.

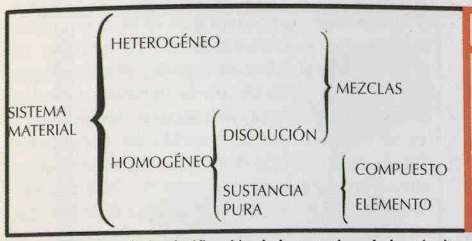
Diversos materiales (papel, tela, algodón, arena) pueden usarse como filtro, siendo el papel el de uso más frecuente. Como soporte para el filtro habitualmente se usa un embudo. La presencia de partículas muy pequeñas que obturan el filtro y la elevada viscosidad del líquido son dos problemas frecuentes que en parte se subsanan filtrando en caliente.

1. Preparación de filtros de papel.

Se recorta un cuadrado de papel de filtro, de lado aproximadamente el doble que el diámetro del embudo; se dobla dos veces por la mitad y se recorta por la línea de puntos como se indica en la fig. 4. A partir de ahí se obtiene un «filtro liso» adaptando el cono resultante a un embudo, procurando que todo el papel quede en contacto con el vidrio y no sobresalga del embudo. Un «filtro de pliegues» se obtiene doblando el semicírculo de papel en forma de acordeón y adaptándolo al embudo respetando los pliegues.

2. Separación de sustancias por filtración.

En muchas experiencias de química, la fitración es una etapa del proceso, por ello es conveniente tener habilidad adquirida antes de empezar a realizar las que se describen en los temas siguientes. Se preparan mezclas de dos sustancias sólidas: una soluble en agua (sal común, sulfato de cobre (II), etc.) y otra insoluble (arena, sulfato de bario, etc.). Se añade agua a la mezla y se agita durante unos minutos a fin de que se disuelva totalmente uno de los dos componentes y se filtra. Para eliminar los restos del componente soluble que impregnan el sólido retenido en el filtro, se vierte sobre éste, varias veces, una pequeña cantidad de agua que se recoge junto con el líquido filtrado. Evaporando éste, se obtiene el componente soluble.



TÉCNICA DE PURIFICACIÓN	PROPIEDADES EN LAS QUE SE BASA
Decantación, centrifugación	Densidad
Filtración, extracción y cristalización	Solubilidad
Destilación, sublimación	Volatilidad
Cromatografías (sobre papel, en capa fina, en columna)	Solubilidad, adsorción

Fig. 1 – Esquema de la clasificación de la materia y de las técnicas de purificación de sustancias descritas en este tema.

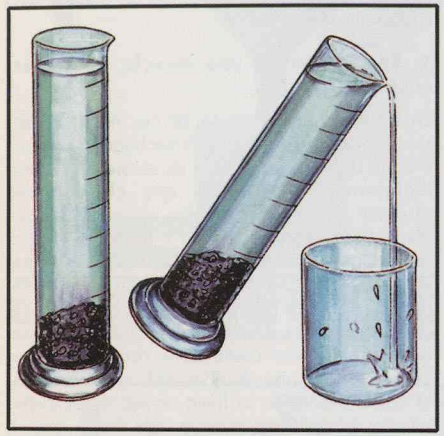


Fig. 2 – Las partículas más densas y más gruesas se depositan a mayor velocidad. El líquido sobrenadante puede eliminarse inclinando el recipiente o absorbiéndolo con una pipeta o un sifón.

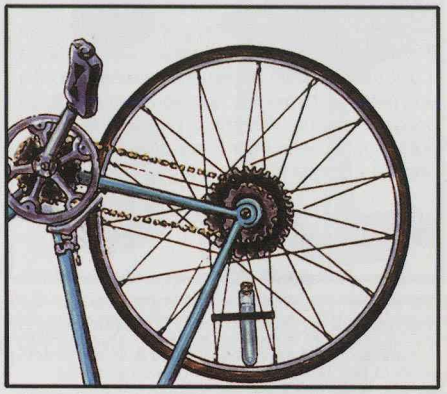


Fig. 3 – Si no se dispone de centrífuga, puede usarse una bicicleta invertida: el tubo que contiene la mezcla a separar se tapa y se fija fuertemente a uno de los radios de la rueda trasera, de forma que el fondo del mismo se apoye sobre la llanta. Girando el pedal rápidamente durante unos minutos, la mezcla se separa.

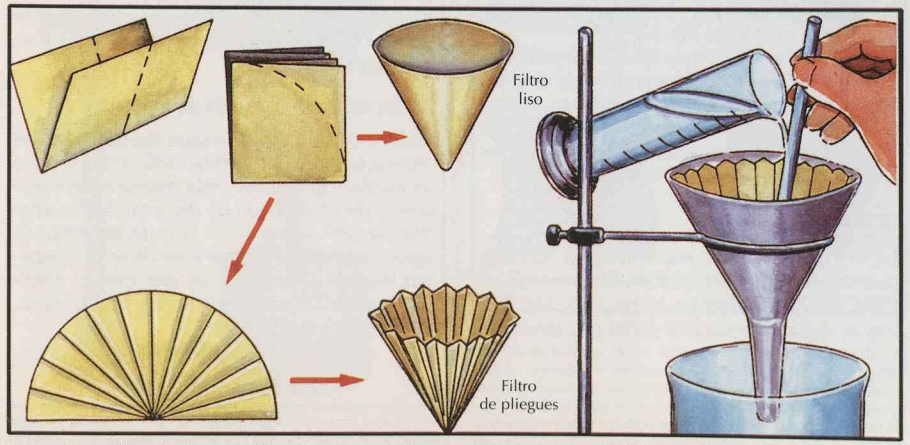


Fig. 4 – Con un filtro de pliegues la filtración es más rápida, pero si interesa recoger el sólido retenido en el filtro, es más adecuado el liso. El líquido que se filtra es conveniente dirigirlo hacia el centro del filtro con la ayuda de una varilla.

3. ¿Qué filtro es más eficaz?

Se agita vigorosamente agua y un poco de barro y se comparan los resultados de filtrar partes de la mezcla anterior a través de distintos materiales filtrantes dispuestos en un embudo: papel de filtro, gasa, gravilla, arena gruesa o arena fina (dispuestas dentro de un embudo, ocupando una altura de 2 o 3 cm, y retenidas por una gasa en el cuello del embudo).

¿Cómo se obtiene un agua más clara?

La filtración a través de arena es una etapa habitual en la potabilización de aguas. Sin embargo, la arena no es capaz de retener partículas muy finas de arcilla, por lo que si están presentes se pueden eliminar agrupándolas (coagulándolas) en partículas mayores: así, si a una parte de la mezcla anterior se le añade un poco de sulfato alumínico potásico (alumbre potásico), se agita bien la mezcla y se filtra, se obtiene un agua más clara (fig. 1).

ADSORCIÓN. DECOLORACIÓN CON CARBÓN ACTIVO

La adsorción es una técnica que permite eliminar pequeñas cantidades de impurezas que en muchos casos confieren un color característico a la mezcla. La eliminación de la impureza se aprecia por la decoloración de la sustancia.

Se vierte en un tubo de ensayo una pequeña cantidad de vino negro o de agua coloreada (p. ej. con azul de metileno), se añade un poco de carbón activo y se agita la mezcla enérgicamente durante varios minutos. Dejando el tubo en reposo se puede observar la decoloración de la mezcla. Se filtra y si el filtrado es coloreado se repite la operación (fig. 2).

La adsorción consiste en la fijación de partículas de una sustancia sobre la superficie de otra. Un buen adsorbente debe proseer una gran superficie por unidad de masa (de 100 a 1.500 m^2/g), que se consigue con materiales muy porosos finamente divididos, como el carbón activo.

EXTRACCIÓN

La extracción es un procedimiento habitual para separar dos sustancias de diferente solubilidad en dos disolventes inmiscibles. Las sustancias a separar se agitan junto con los disolventes en un embudo de decantación, durante el tiempo necesario para que se disuelvan perfectamente, y a continuación el embudo se deja en reposo sobre un soporte; al cabo de un tiempo, que depende de la naturaleza de los disolventes y sustancias a separar, los disolventes se separan por diferencias de densidades (fig. 3), apareciendo dos capas claramente diferenciadas dentro del embudo de decantación. Mediante la llave de paso se deja fluir la capa inferior dentro de un recipiente, y la superior se retiene dentro del embudo. La evaporación del disolvente es la forma habitual de obtener las sustancias separadas.

1. Separación de una mezcla de sal de cocina y yodo.

Una mezcla de yodo y sal de cocina se puede separar por extracción aprovechando la solubilidad de la sal en agua y su insolubilidad en diclorometano, mientras que el yodo se disuelve mejor en éste que en el agua. Se disuelve la mezcla en agua y se vierte dentro de un embudo de decantación. Se añade una pequeña cantidad de diclorometano, se agita para que los dos líquidos se mezclen bien y se deja en reposo durante unos minutos hasta que se aprecien claramente dos capas. La coloración de una de ellas indica dónde está el yodo. Abriendo la llave se separa la capa inferior (el diclorometano es más denso que el agua) y si la superior aparece algo coloreada, se vierte otra pequeña cantidad de diclorometano en el embudo de decantación, y se repite la extracción. La evaporación del agua permitirá aislar la sal, mientras que no es posible obtener el yodo por este procedimiento porque sublima.

2. Extracción de clorofila de plantas.

En un mortero se trituran unas cuantas hojas de espinacas (o de otra planta verde) con un poco de alcohol. El líquido verde resultante se vierte dentro de un embudo de decantación, se añaden 50 cm^3 de agua y 5 cm^3 de benceno, se agita y se deja en reposo a fin de que se separen los dos disolventes. En este caso el disolvente orgánico es menos denso que el agua. ¿Dónde está la clorofila?

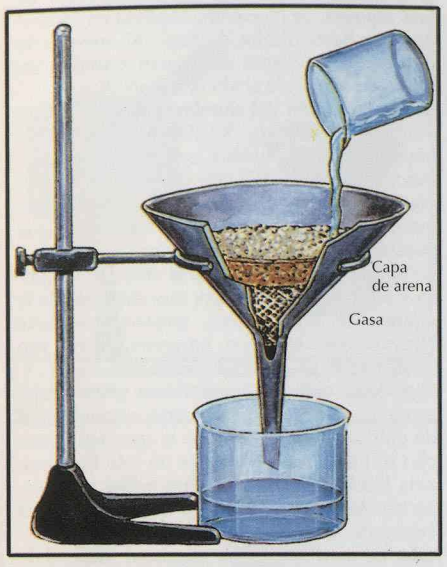


Fig. 1 – La arena resulta bastante eficaz para retener las partículas sólidas en suspensión en el agua. Ninguno de los filtros ensayados retiene el colorante de un vino o de agua teñida con azul de metileno.

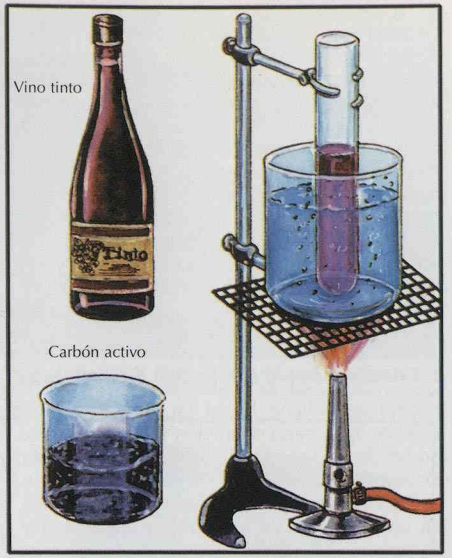


Fig. 2 – El carbón activo es un adsorbente muy utilizado que se obtiene por destilación seca de la madera. Si la mezcla de sustancia coloreada y carbón activo, además de agitarse se calienta (50-60 °C) en un baño de agua, el proceso es más eficaz.

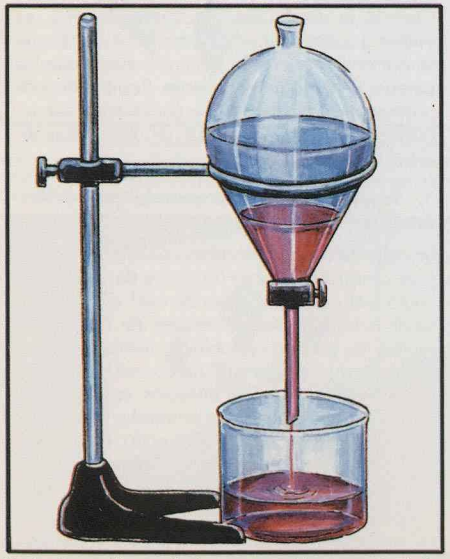


Fig. 3 – Extracción. Los disolventes requeridos para esta técnica no suelen ser de uso doméstico y, por ser compuestos orgánicos, en su mayoría son fácilmente inflamables, así pues, se debe evitar la proximidad del fuego.

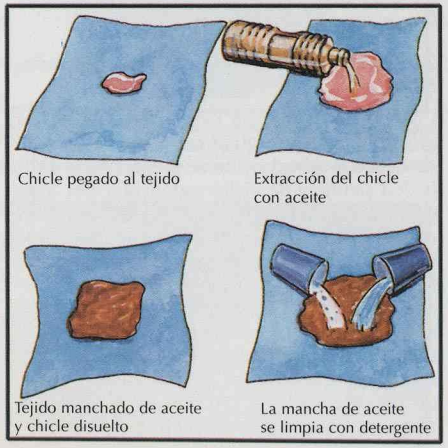


Fig. 4 – Si los componentes de la mezcla son sólidos y sólo uno de ellos es soluble en un determinado disolvente, puede «extraerse» agitando o machacando la mezcla dentro de este disolvente y separarlo del resto por decantación o filtración. La suciedad de la ropa se «extrae» (elimina) con un disolvente que no disuelva ningún componente del tejido. Por ejemplo, un chicle pegado a la ropa se puede extraer con aceite, y éste con detergente.

CRISTALIZACIÓN

La diferente solubilidad de las sustancias en distintos disolventes y su variación con la temperatura es la base de la purificación de las mismas por cristalización. El procedimiento general consiste en obtener disoluciones saturadas en caliente de las que, al enfriarse y/o evaporarse el disolvente, se separan las sustancias en forma cristalina. La lentitud del enfriamiento y/o evaporación del disolvente favorece la formación de cristales más puros y mayores. La adición de un cristal de la sustancia a purificar a la disolución fría que la contiene, acelera el proceso de cristalización; dicho cristal actúa como «germen» o «semilla» de los demás.

1. Cristalización por evaporación del disolvente.

¿Cómo se obtiene la sal en las salinas? Se calienta agua hasta ebullición y se va añadiendo sal de cocina, removiendo para facilitar su disolución, hasta que ya no se disuelva más y se filtra en caliente. El líquido filtrado se deja en un recipiente de boca ancha, destapado y en reposo. Cuando se ha enfriado, ¿se ven cristales de sal?

Se deja el recipiente destapado durante varios días para que se vaya evaporando el agua y se anotan los cambios que se aprecien. ¿Qué forma tienen los cristales de sal de cocina? Obsérvese con una lupa (figs. 1 y 2).

2. Cristalización por enfriamiento de la disolución.

Cuando una sustancia es más soluble en un disolvente caliente que frío, el procedimiento de cristalización consiste en preparar una disolución saturada de dicha sustancia a alta temperatura (normalmente a la de ebullición del disolvente), filtrar en caliente si hay impurezas insolubles y dejar enfriar en reposo. En todos los casos puede estudiarse el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre el tamaño y calidad (formas geométricas perfectamente definidas) de los cristales obtenidos: si la disolución se deja enfriar envuelta en una toalla o papel de periódico, el proceso será lento, mientras que si se sumerge en agua fría o se deja en la nevera la cristalización será más rápida.

***a)* Cristalización del ácido acetilsalicílico de una aspirina.** Se hierve una aspirina en 15 cm^3 de agua hasta disolución total. Al enfriarse la disolución resultante se forman cristales, en forma de aguja, de ácido acetilsalicílico.

***b)* Cristalización del alumbre potásico** (sulfato alumínico potásico, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Se mezclan 60 g de alumbre (se vende en droguerías y es barato) y 250 cm^3 de agua en un recipiente de vidrio transparente (p. ej. un bote de mermelada), se sumerge en un cazo con agua puesto al fuego y se calienta y agita hasta disolución del alumbre. Se deja la mezcla en reposo y al cabo de un tiempo, que depende de la rapidez de enfriamiento, empiezan a verse algunos cristales, que progresivamente van aumentando en cantidad y tamaño.

Si se desea obtener un cristal muy grande debe extraerse uno de estos primeros cristales a fin de utilizarlo como «semilla» o «germen»; para ello se fija en el extremo de un hilo fino (con cola insoluble o mediante un nudo) y se suspende de forma que quede sumergido en el centro de la disolución de alumbre (fig. 3). Al cabo de un día se extrae el cristral suspendido (¿ha crecido?) y se añade un poco de alumbre (5-10 g) a la disolución, que se calienta al baño maría hasta que todo el alumbre añadido y el cristalizado dentro del recipiente se disuelva. Cuando la disolución, resultante esté fría, se vuelve a suspender en su interior el cristal que se quiere hacer crecer, evitando que toque las paredes o fondo del recipiente. Repitiendo este proceso varias veces, y con paciencia y suerte, puede obtenerse un cristal de gran tamaño. ¿Qué forma tiene?

3. Separación de una mezcla por cristalización.

Se calienta hasta disolución una mezcla de 0,5 g de cloruro de plomo (II), 0,5 g de cloruro de sodio (sal común) y 15 o 20 cm^3 de agua. Al dejar enfriar aparecen cristales de cloruro de plomo (II), sal poco soluble, en forma de aguja, mientras que el cloruro sódico, sal muy soluble, no se separa. Por filtración se aíslan los cristales formados y concentrando las disolución se formarán más; repitiendo el proceso acaba cristalizando el cloruro de sodio.

Fig. 1 – En general, a alta temperatura una misma cantidad de disolvente disuelve mayor cantidad de sustancia que a baja temperatura.

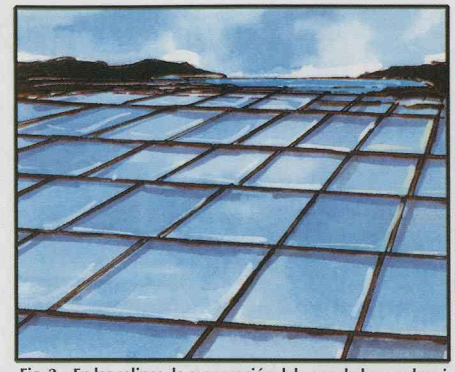


Fig. 2 – En las salinas, la evaporación del agua da lugar a la cristalización de las sales disueltas. La sal común forma cristales cúbicos.

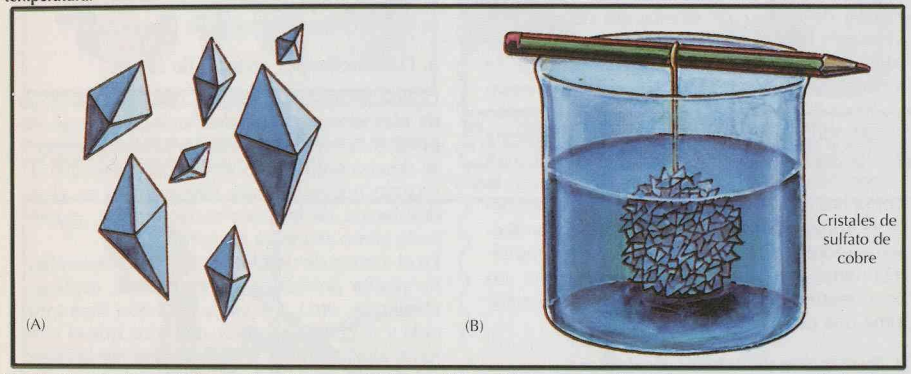


Fig. 3 – Con alumbre potásico pueden obtenerse cristales octaédricos (A) de gran tamaño. Cada vez que se extrae el cristal «germen» es conveniente eliminar todos los cristales que se forman en el hilo, para evitar que también crezcan y se superpongan al cristal deseado. Por el mismo procedimiento se obtienen cristales de sulfato de cobre (B), o de azúcar (se disuelve en agua caliente un volumen doble de azúcar).

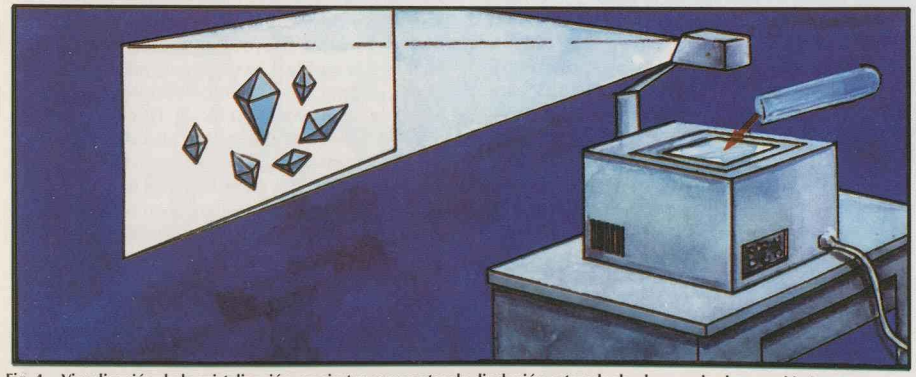


Fig. 4 – Visualización de la cristalización: se vierten unas gotas de disolución saturada de alguna sal sobre una lámina transparente situada sobre un retroproyector en funcionamiento y, como el calor de la lámpara provoca la evaporación del disolvente, se forman cristales con rapidez. Este proceso se ve amplificado en la pantalla.

DESTILACIÓN

La destilación es una técnica que permite separar los componentes de una mezcla que tenga puntos de ebullición diferentes y no formen mezclas azeotrópicas.

Un aparato de destilación sencillo está constituido por un tubo de ensayo provisto de un tapón horadado atravesado por un tubo de vidrio acodado. Éste termina dentro de un recipiente sumergido en agua fría a fin de condensar los vapores (fig. 1). El aparato de destilación típico consta de los componentes indicados en la fig. 2.

1. Destilación seca de la madera.

Con un dispositivo como el de la fig. 1 se pueden destilar los componentes volátiles de la madera. El tubo de ensayo que cumple la misión de matraz de destilación debe ser de «Pyrex» a fin de resistir altas temperaturas, o ser sustituido por un tubo o recipiente metálico. Se introducen astillas y/o serrín en el tubo de ensayo hasta 2/3 de su altura. Se tapa con el tapón atravesado por el tubo de vidrio y se calienta fuertemente, en posición casi horizontal, con un mechero (Bunsen o de alcohol) empezando por la boca del mismo. A medida que la madera va ennegreciendo en el colector se condensan vapores de olor poco agradable. Simultáneamente se desprenden gases que no condensan y que son combustibles (si se aproxima una cerilla encendida arden).

2. Destilación de bebidas alcohólicas.

Si se quiere separar el alcohol de una pequeña cantidad de vino u otra bebida alcohólica, puede usarse el aparato de la fig. 1, pero para realizar un estudio completo de la destilación se propone utilizar el indicado en la fig. 2.

Se introduce vino o el líquido a destilar en el matraz de destilación, 80 cm^3 de líquido para un matraz de 250 cm^3. Se añaden uno o dos trozos de porcelana porosa, se conecta el agua del refrigerante y se empieza a calentar el matraz. Cada medio minuto se anota la temperatura que indica el termómetro y también se anota el instante en que empiezan a aparecer las primeras gotas de destilado. Cada cierto tiempo, que se anota, cuando la cantidad del líquido destilado es del orden de 5-10 cm^3, se cambia el recipiente colector. Así, se recogen varias fracciones del líquido destilado, teniendo la precaución de señalar los distintos recipientes según el orden de uso. Cuando el líquido del matraz se reduzca a la tercera parte se da por terminada la destilación y se procede a:

a) Observar y comparar propiedades del líquido inicial, residual y destilados: color, olor y densidad. Si se coloca una pequeña cantidad de los líquidos citados en distintas cápsulas o vasos y se les aproxima una cerilla encendida, ¿cuáles se encienden?

b) Dibujar el gráfico temperatura de destilación-tiempo.

¿Entre qué tiempos y temperaturas se ha recogido la mayor cantidad de destilado?

Este mismo procedimiento puede seguirse para obtener agua destilada a partir de agua corriente, o bien separar el agua de una tinta.

3. Destilación por arrastre de vapor.

Es una técnica que permite obtener sustancias de elevado punto de ebullición, pero que no pueden calentarse a altas temperaturas porque se descomponen y no son solubles en agua. El aparato necesario para este proceso es el de destilación de la experiencia anterior, modificado como se indica en la fig. 3.

En el matraz de destilación B se introduce alguna planta aromática (p. ej. menta, espliego, eucaliptus, etc.), o corteza de limón bien triturada y se cubre con agua, de forma que el conjunto alcance hasta aproximadamente la mitad del matraz. Se introduce agua en el matraz A y se calienta a fin de que se genere vapor, que atravesará el contenido del matraz B y «arrastrará» los aceites esenciales. Cuando empieza a salir vapor de A es conveniente calentar suavemente el matraz B a fin de conseguir una destilación más rápida. Los vapores condensados en el refrigerante se recogen en recipientes distintos cada cierto volumen (p. ej. 10 cm^3) destilado y se dejan en reposo. Al cabo de un tiempo, en algunas de las fracciones de destilado aparecen pequeñas cantidades de aceites esenciales que sobrenadan y tienen un olor característico de la planta utilizada, pero más intenso. Por decantación pueden agruparse estas pequeñas cantidades de esencias.

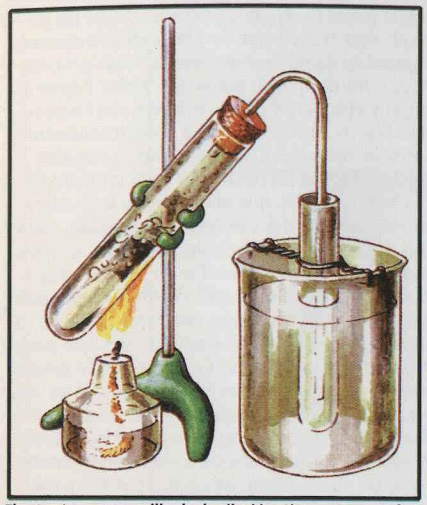


Fig. 1 – Aparato sencillo de destilación. Siempre que se destila algún líquido, es conveniente introducir un trozo de porcelana porosa en el matraz de destilación para favorecer una ebullición regular y evitar salpicaduras.

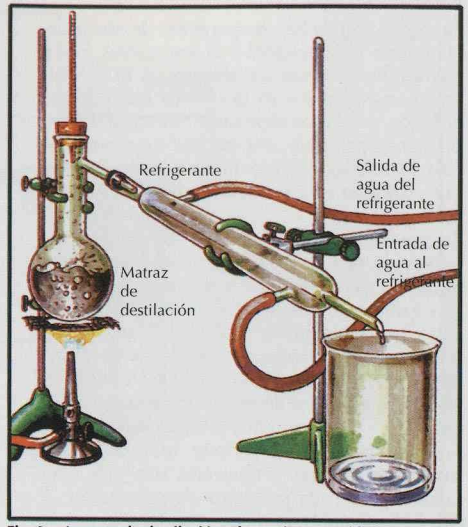


Fig. 2 – Aparato de destilación. El termómetro mide la temperatura de los vapores que van al refrigerante, por tanto su bulbo debe quedar a la altura de la tubuladura lateral del matraz de destilación.

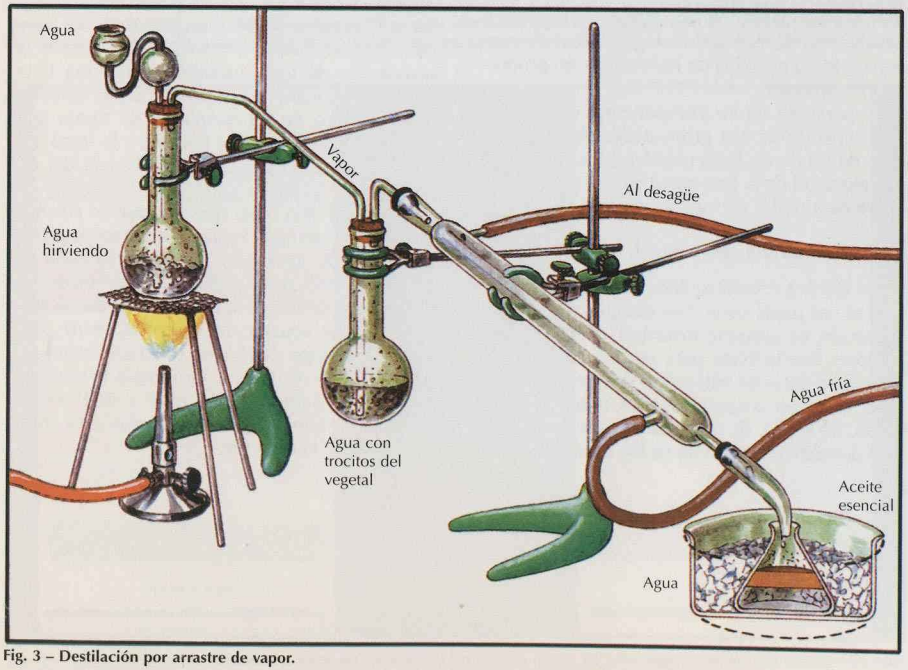


Fig. 3 – Destilación por arrastre de vapor.

CROMATOGRAFÍA

La separación de los componentes de una mezcla es más difícil cuanto más semejantes son, y cuanto mayores son sus diferencias físico-químicas, más sencilla es la técnica que permite aislarlos. Mediante técnicas cromatográficas se pueden separar de una mezcla componentes casi idénticos, proceso imposible de realizar por cualquier otra técnica (destilación, extracción, etc.).

La separación cromatográfica de los componentes de una mezcla se produce cuando un líquido o gas (fase móvil o eluyente) los «arrastra» a diferente velocidad al circular a través de una fase estacionaria (sólido o líquido). Las diferencias entre estas «velocidades de arrastre» se deben a las diferencias de solubilidad y de adsorción de los diversos componentes de la mezcla en las fases móvil y estacionaria.

Sólo la experiencia permite establecer qué fases estacionarias y eluyentes son más adecuadas para cada problema de separación. A nivel elemental, como fase estacionaria puede ensayarse cualquier material poroso que permita la circulación, por capilaridad, de un líquido por su interior: papel de diferentes tipos, tiza, etc., y como fase móvil los diferentes líquidos o disolventes de uso común: agua, alcohol, acetona, etc., o mezclas de los mismos en proporciones diversas.

La separación de los componentes de la mezcla depende de sus propiedades físico-químicas, de las de las fases móvil y estacionaria, de la velocidad de la fase móvil y de la proporción entre cantidades de mezcla y fases.

1. Cromotografía sobre papel.

Es la técnica cromatográfica más sencilla y en ella se usa papel como fase estacionaria. A continuación se propone investigar cuáles son las mejores condiciones para separar los componentes de tintas de bolígrafo o de rotulador; para ello se deben ensayar distintos tipos de papel (folio, de barba, de filtro, etc.), y disolventes de uso doméstico o mezclas de los mismos.

Como se indica en la fig. 1, se debe cortar una tira de papel (p. ej. de 3 cm de anchura) de longitud algo mayor que la altura del recipiente disponible (bote de mermelada, vaso probeta, etc.), a fin de que su extremo inferior llegue al fondo y el superior pueda colgarse mediante un alambre o listón apoyado horizontalmente sobre el recipiente. Para facilitar la rapidez y homogeneidad del desarrollo de la cromatografía es conveniente que el recipiente esté saturado de vapores del disolvente empleado; para ello se forra su interior (sólo parcialmente para poder observar el desarrollo de la cromatografía) con un trozo de papel de filtro empapado del disolvente y se tapa con una cartulina o papel de estaño con una ranura para que pase el papel cromatográfico. En primer lugar puede estudiarse el efecto de los distintos tipos de disolventes sobre las separaciones. Se disponen distintos recipientes conteniendo los diversos disolventes disponibles de forma que alcancen 1 cm de altura: agua, alcohol, acetona y mezclas de acetona y agua (p. ej. en proporciones 1/1, 2/1 y 1/2), acetona y alcohol, etc. Sobre distintas tiras iguales del mismo papel se traza una línea estrecha, que deberá quedar en el extremo inferior y en posición horizontal cuando se cuelgue el papel, a un poco más de 1 cm del extremo; puede empezarse estudiando la separación de los componentes de una tinta negra de rotulador. Cada tira se cuelga verticalmente dentro de un recipiente de forma que esté en contacto con sus paredes y la línea trazada quede algo por encima del nivel del disolvente.

Se tapa y se deja hasta que el eluyente alcance una altura próxima (5 cm) al extremo superior. El tiempo de desarrollo (elución) depende de las características del papel, del disolvente y de la longitud de la tira; a mayor longitud de ésta mejor es la separación obtenida, pero para limitar el tiempo de elución es conveniente que no sobrepase de 15 cm. Terminada la elución, se extrae el papel, se deja secar y se observan las distintas franjas correspondientes a los componentes de la tinta (fig. 2).

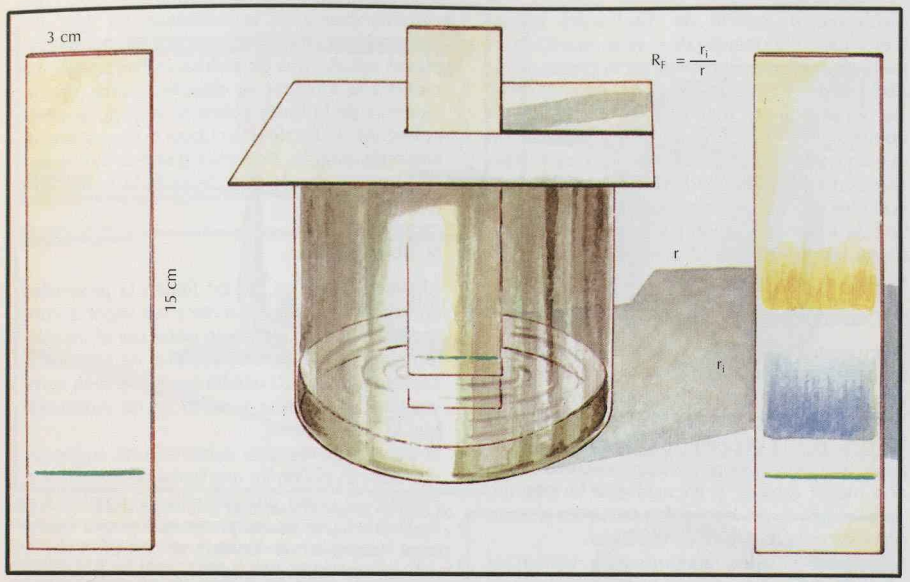


Fig. 1 – Sobre la tira de papel, a 1,5 cm de un extremo se traza una línea con el rotulador de color deseado. Pequeñas cantidades de sustancia dan mejores separaciones que si se depositan en exceso. Al extraer el papel para dejarlo secar se señala con un lápiz la altura alcanzada por el eluyente. Así se podrá calcular la relación entre el desplazamiento de cada componente (r_i) y el del eluyente (r), que es una característica específica de cada sustancia y de las condiciones de realización de la cromatografía.

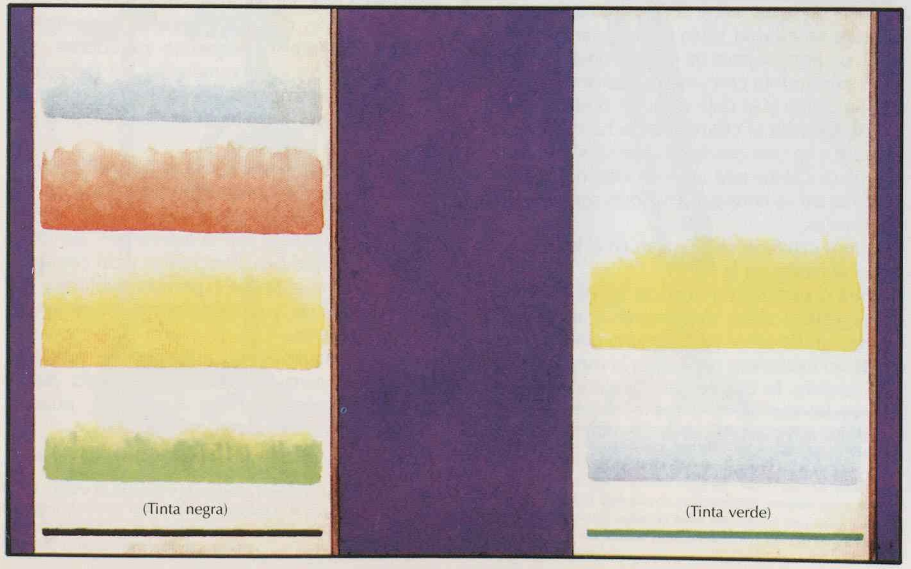


Fig. 2 – Los cromatogramas obtenidos pueden ser parecidos a los de esta figura. La tinta negra suele ser una mezcla más compleja que la de otros colores. Una tinta formada por un solo color (color puro) sólo daría una banda coloreada usando cualquier papel y eluyente.

La experiencia anterior permite conocer qué disolvente o mezcla de disolventes separa mejor los componentes de la tinta estudiada. A partir de estos datos se investiga el efecto de los distintos tipos de papel (fase estacionaria) sobre las separaciones, manteniendo constante la composición del eluyente. Debe tenerse en cuenta que no necesariamente «el mejor» eluyente con un determinado tipo de papel lo será con otro o con una tinta diferente.
Sólo la experimentación paciente permite establecer las condiciones ideales, papel y disolvente, para la separación de cada tipo de mezclas.

2. Cromatografía en capa fina.

La cromatografía sobre papel fue la primera de las técnicas cromatográficas desarrolladas: su uso actualmente ha quedado restringido a análisis muy concretos y ha sido sustituida, con ventaja, por la denominada cromatografía en capa fina. Ésta permite obtener separaciones con mayor rapidez y eficacia que la anterior, pero requiere un material que no es de uso doméstico: placas y tubos capilares.
Las placas pueden adquirirse en comercios especializados o prepararse en el laboratorio de la siguiente manera: se mezcla un sólido pulverizado (silicagel o alúmina) con cloroformo hasta formar una papilla espesa en un recipiente de boca ancha que cierre herméticamente. La mezcla se agita bien e inmediatamente se sumerge en ella un trozo rectangular de vidrio (p. ej. un portaobjetos de microscopio) limpio y seco, sujetándolo con unas pinzas por un extremo. Se extrae y se deja secar en posición horizontal. Cuando el cloroformo se ha evaporado, se coloca en una estufa de desecación o sobre una placa calefactora a fin de eliminar el agua retenida; así se consiguen mejores separaciones de mezclas.
Los tubos capilares se preparan en el laboratorio como se indica en la fig. 1.
La tinta o sustancia a analizar (p. ej. extractos de vegetales) debe depositarse, como en la cromatografía sobre papel, a una cierta distancia de un extremo y ocupando la menor superficie posible, lo que se consigue con la ayuda de un tubo capilar. La preparación de la cubeta de elución y el ensayo de disolventes se realiza igual que en la experiencia anterior. Una variante casera de la cromatografía de capa fina consiste en usar barras de tiza en lugar de placas recubiertas de sólidos pulverizados. La muestra a analizar se deposita cerca de un extremo de la barra y ésta se introduce verticalmente dentro de una cubeta que contiene el eluyente elegido, de forma que éste no alcance el punto donde está depositada la muestra (fig. 2).

SUBLIMACIÓN

Algunas sustancias sólidas tienen la propiedad de vaporizarse directamente y sus vapores condensan al estado sólido sin pasar por el líquido, formándose, en general, cristales de gran pureza. Esta propiedad («sublimación») puede aprovecharse para aislar y purificar las sustancias que la poseen.
El procedimiento para sublimar una sustancia, que además puede ser una forma de cristalizarla, consiste en poner una pequeña cantidad (0,5 g) de la misma en un recipiente que pueda calentarse (cápsula de porcelana, crisol, etc.) y cubrirlo con un embudo invertido o un matraz lleno de agua que proporciona la superficie fría donde se condensan los vapores, generados al sublimar el sólido. La sustancia sólida debe calentarse para que sublime, pero suavemente, para evitar que, en algunos casos, funda en vez de vaporizarse. Con el dispositivo de la fig. 3 pueden sublimarse pequeñas cantidades de ácido benzoico, yodo o naftalina. En todos los casos debe evitarse respirar los vapores producidos y si se usa yodo también debe evitarse su contacto con la piel.
Conociendo diferentes técnicas de purificación de sustancias y las propiedades de éstas, pueden resolverse problemas como: ¿qué debe hacerse para aislar los componentes de una mezcla de ácido benzoico, arena y sal común? Teniendo en cuenta que el primero sublima y la arena y la sal no, y que ésta es soluble en agua pero la arena no.
Algunas sustancias no subliman a presión atmosférica pero sí a presión reducida; para ensayar con las sustancias disponibles, puede usarse un dispositivo como el de la fig. 4.

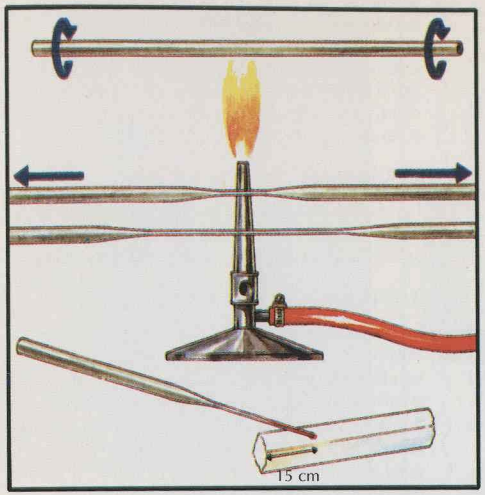


Fig. 1 – Los tubos capilares se obtienen calentando un tubo de vidrio por un punto hasta que se ablanda. Se aparta del fuego y se tira de ambos extremos hasta reducir el diámetro al tamaño deseado. Una vez frío se corta el trozo de tubo capilar, con el que es fácil depositar pequeñas cantidades de sustancia sobre una placa.

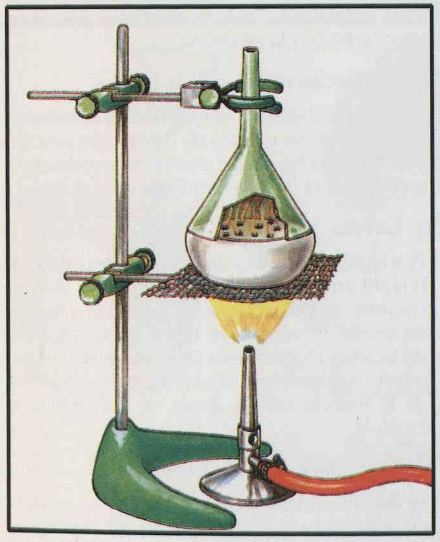


Fig. 3 – Entre la cápsula y el embudo puede colocarse un trozo de papel de filtro con orificios por los que pasan los vapores, a fin de impedir que los cristales formados en las paredes del embudo caigan dentro de la cápsula.

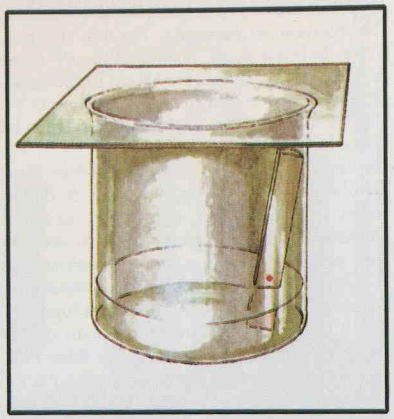


Fig. 2 – «Cromatografía sobre tiza». La barra de tiza se apoya de forma que quede vertical dentro del recipiente. Éste se tapa para que su interior esté saturado de vapor del eluyente.

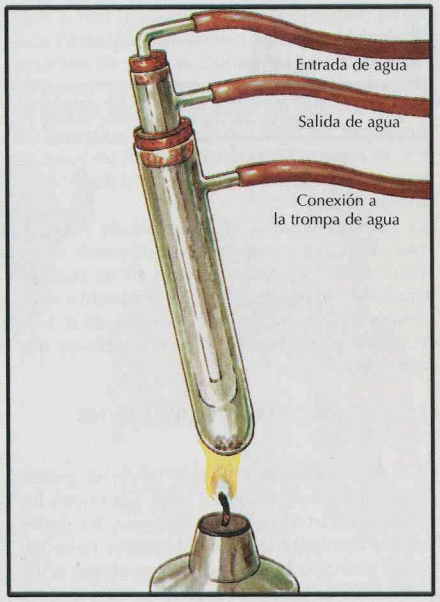


Fig. 4 – «Sublimador». Este dispositivo se monta ajustando, mediante un tapón perforado, un tubo de ensayo con tubuladura lateral dentro de otro de mayor diámetro. La sustancia a sublimar se introduce en este segundo tubo, que se calienta suavemente y en el que puede reducirse la presión conectándolo a una trompa de agua. El tubo de ensayo pequeño, refrigerado por agua, constituye la superficie fría donde condensan los vapores producidos.

EXTRACCIÓN DE LA CAFEÍNA DEL TÉ

Se hierven suavemente, durante 15 minutos, 30 g de hojas de té secas en 250 cm^3 de agua y se filtra en caliente a través de un filtro de pliegues. Se repite la operación de hervir y filtrar para extraer mejor la cafeína y se reúnen los dos filtrados.

Se deja enfriar el filtrado y se extrae (fig. 3 de lámina J/2) dos veces con 20 cm^3 de diclorometano. La mezcla extracto acuoso de té/diclorometano debe agitarse bien durante varios minutos, pero evitando que se forme una emulsión.

La cafeína se separa del diclorometano dejando evaporar este disolvente en un lugar ventilado y cálido o destilándolo con un dispositivo sencillo como el de la fig. 2 (no debe calentarse a fuego directo) hasta total eliminación del mismo. Pesando el residuo seco se puede calcular el contenido aproximado de cafeína en las hojas de té (oscila entre un 2% y un 5%).

La cafeína del residuo seco anterior se purifica por cristalización, mezclándola, en un recipiente pequeño o tubo de ensayo, con 5 cm^3 de alcohol de 96° y calentando, agitando suavemente, hasta la disolución total. Al enfriarse la disolución, la cafeína cristaliza en forma de agujas. Al cabo de varias horas o de un día, se separa por decantación el líquido sobrenadante y se concentra, calentándolo en un baño de agua, a fin de obtener algunos cristales más de cafeína (figs. 1 y 2).

Las bebidas basadas en extractos de nuez de cola (colas) contienen cafeína que puede extraerse con diclorometano, como se ha descrito para el té. Antes de iniciar la extracción debe hervirse la bebida durante unos minutos a fin de eliminar el gas (dióxido de carbono) que contiene.

SEPARACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA LECHE

La leche es una mezcla que contiene grasas, proteínas, azúcares, sales y agua. Las sales y los azúcares están disueltos en el agua y las grasas (nata o mantequilla) están dispersas coloidalmente gracias a la caseína (proteína) que actúa como coloide protector (fig. 3).

1 Separación de la grasa.

Si se deja en reposo leche natural, la grasa se separa formando una capa superficial ya que es insoluble en agua. En la leche envasada no se produce esta separación porque ha sido «homogeneizada». La grasa puede separarse extrayéndola con éter (p. ej. 10 cm^3 de leche por 15 cm^3 de éter) en un embudo de decantación, teniendo precaución de evitar la formación de emulsiones.

2. Albúmina.

Hirviendo la solución acuosa anterior, o mejor leche descremada, y dejando enfriar en reposo, se forma una película superficial de albúmina.

3. Separación de la caseína.

Se calienta el líquido residual de la experiencia anterior (o leche descremada) hasta 40-50 °C y se añade, gota a gota, vinagre, zumo de limón o salfumán, agitando toda la solución hasta que aparezcan grumos blancos que se separan del líquido: es la caseína que precipita. Se deja enfriar en reposo y se separa el sólido (caseína) del líquido (suero). De este líquido puede acabar de separarse el resto de albúmina hirviéndolo suavemente durante 10 minutos; para neutralizar el ácido usado para separar la caseína (vinagre, etc.), es conveniente añadirle, antes de calentarlo, un poco de carbonato cálcico pulverizado, que se eliminará por filtración junto con la albúmina.

4. Destilación del agua de la leche.

El líquido filtrado de la experiencia anterior se introduce en un aparato de destilación sencillo y se calienta hasta que destile: se puede comprobar que el líquido destilado es agua.

5. Lactosa.

Prosiguiendo la destilación, o hirviendo el líquido en un recipiente abierto hasta que su volumen se reduzca a la décima parte y dejando enfriar en reposo, se forma un precipitado de lactosa. Durante este proceso de ebullición puede separarse más albúmina, que se elimina de la mezcla con la ayuda de una varilla o espátula.

6. Sales minerales de la leche.

Se decanta el líquido frio del que se ha separado la lactosa y se mezcla con un volumen igual de alcohol: se separan las sales minerales y el resto de la lactosa de la leche.

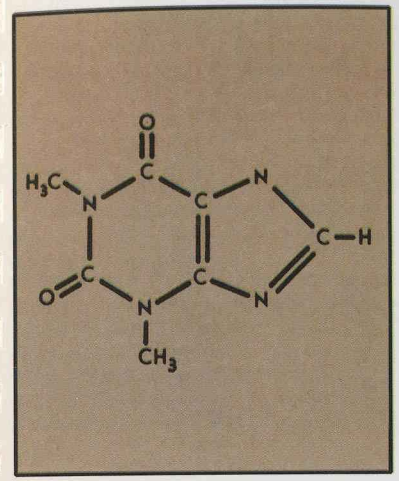


Fig. 1 – Cafeína: es un alcaloide presente en diversas plantas: té, café, cacao, mate, cola y guarana. Es un excitante del sistema nervioso, de las actividades cerebrales y musculares. En dosis elevadas produce insomnio, irritabilidad y temblores musculares. El café descafeinado se obtiene eliminando la cafeína por extracción de los granos de café con tricloroetileno.

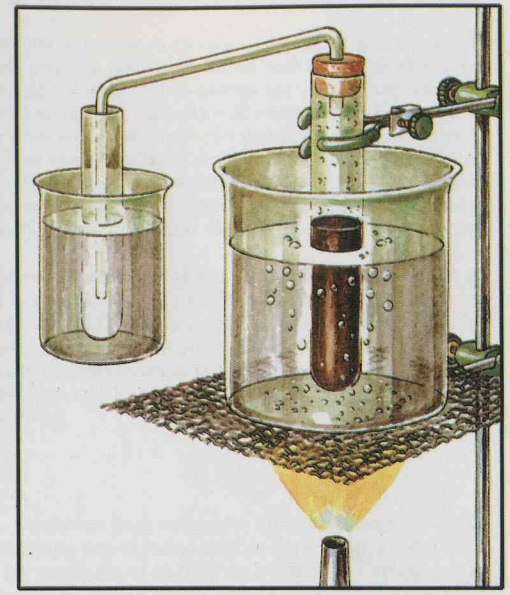


Fig. 2 – Destilación del disolvente. Obtención de la cafeína impura. El líquido a destilar se calienta en un baño de agua.

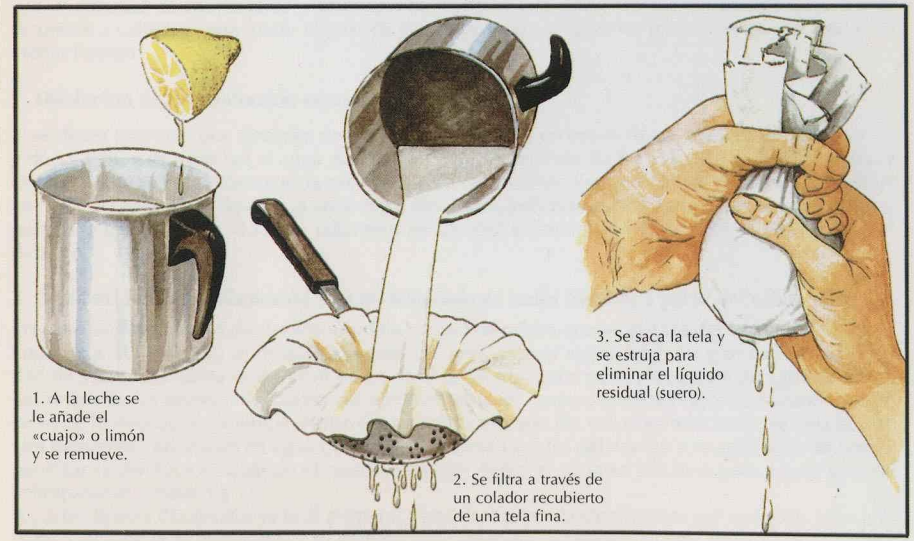


Fig. 3 – La leche de vaca contiene aproximadamente 87% de agua, 3-3,6% de proteínas, 3-4% de grasa, 4-5% de azúcares, sales minerales (de sodio, calcio, potasio, hierro, fósforo) y vitaminas (A, B_1, B_2, C, ácido nicotínico). Tratando la leche con «cuajo», o unas gotas de vinagre o zumo de limón, se obtiene queso cuajado, formado por la caseína junto con la nata, que puede comerse. Se separa filtrándolo a través de una tela y estrujando ésta para eliminar el suero. Concentrando el suero por ebullición se separan los azúcares y las sales.

Prácticas de Química

La Ciencia Química estudia las propiedades de las sustancias, cómo se obtienen y cómo se transforman (reacción química) unas entre otras.
Cuando una sustancia se transforma químicamente se convierte en otra u otras de propiedades muy diferentes a las de la sustancia original y este proceso generalmente se realiza desprendiendo o absorbiendo energía (frecuentemente en forma de calor), mientras que en las transformaciones físicas en la sustancia final se reconoce la inicial o es fácil recuperarla y el intercambio de energía es nulo o muy pequeño. Un proceso físico que a veces se confunde con una reacción química es la mezcla de sustancias, especialmente si la mezcla es homogénea (disolución). Los componentes de una mezcla pueden separarse por procedimientos físicos como los descritos en el capítulo relativo a «Técnicas de purificación de sustancias» (serie J): destilación, filtración, etc., mientras que recuperar las sustancias originales (reactivos) a partir de los productos de una reacción es un proceso mucho más complejo.
La Química se dividió originalmente en dos grandes partes: Inorgánica y Orgánica, según el tipo de sustancias, minerales o animales y vegetales que estudiaba. Las reacciones de Química Orgánica (actualmente es más preciso denominarla Química del Carbono) suelen ser más complejas que las de Química Inorgánica, por lo que a nivel elemental se estudian preferentemente las de esta última.
Dentro de la Química Inorgánica, la mayor parte de reacciones se pueden incluir en uno de los dos grandes grupos siguientes: reacciones de intercambio de iones y reacciones en las que además del intercambio de iones hay intercambio de electrones.

PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES

Obtener una disolución, mezcla homogénea, a partir de unas sustancias no es un proceso químico sino físico, pero con mucha frecuencia es una etapa previa indispensable para llevar a cabo reacciones químicas. Éstas se producen cuando las moléculas o átomos de los reactivos «chocan». Es suficiente mezclar reactivos líquidos o gaseosos para que se produzcan estos choques y por tanto pueda tener lugar la reacción, pero si los reactivos son sólidos, sus partículas constituyentes carecen de libertad de movimiento y por tanto la reacción está poco favorecida; en este caso puede recurrirse a calentar hasta fundir alguno de los reactivos o a disolverlos para hacerlos reaccionar en medio líquido.

1. Disolución de concentración expresada en porcentaje

Si se desea preparar, por ejemplo, una disolución al «10% en peso» de sal común, ser mezclan 10 g de sal y 90 g de agua (en el agua puede considerarse equivalente 1 g y 1 cm^3), y se agita hasta la disolución total. En el comercio la concentración de muchas disoluciones se indica en porcentaje en peso. Si el soluto es líquido, la concentración puede indicarse en «% en volumen»; así, para preparar una disolución al «15% en volumen» de alcohol se mezclarán 15 cm^3 de alcohol y 85 cm^3 de agua.

2. Preparación de una disolución 1 M de hidróxido de sodio (NaOH) a partir del sólido puro

Preparar un litro de esta disolución requiere un mol de soluto que en el caso del hidróxido de sodio equivale a 40 g. Si sólo se desean preparar 250 cm^3, sólo se necesitarán 10 g de soluto. La cantidad de soluto necesaria se disuelve en un vaso de precipitados con un volumen de agua destilada del orden de un tercio o un cuarto del volumen total de la disolución a preparar. A continuación se vierte la disolución obtenida dentro de un matraz aforado del volumen adecuado, se lava el vaso con pequeñas cantidades de agua que se van vertiendo dentro del matraz y se agita a fin de homogeneizar la disolución. Cuando el matraz está casi lleno, el agua se adiciona gota a gota para no sobrepasar el enrase (fig 1).
A partir de esta disolución es fácil preparar otras de menor concentración: por ejemplo, para preparar 100 cm^3 de disolución 0,1 M de hidróxido de sodio, se toman 10 cm^3 de la anterior disolución, se vierten en un matraz aforado de 100 cm^3 y se añade agua hasta enrasar.

3. Preparación de un litro de disolución 1 M de ácido clorhídrico a partir del ácido comercial

El cloruro de hidrógeno, ácido colorhídrico (agua fuerte o salfumán) cuando está disuelto, es un gas a temperatura ambiente; habitualmente se expende disuelto en agua en concentraciones del orden del 38% y de densidad 1,19 g/cm^3.

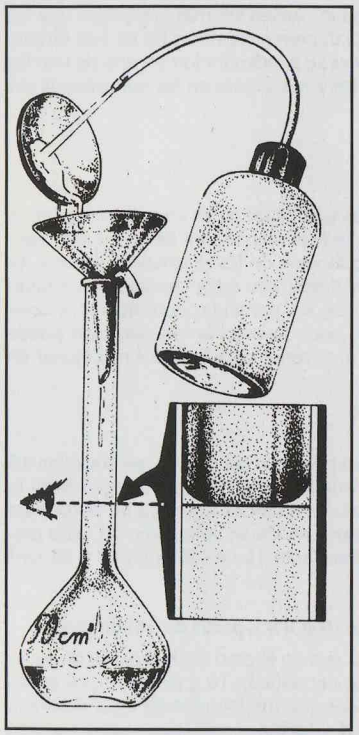
En primer lugar se debe calcular la cantidad, masa o volumen, de «ácido comercial» que se necesita para preparar la disolución deseada (1 litro 1 M): (masa de 1 mol de HCl = 36,5 g).

$$(1 \text{ litro } 1 \text{ M}) \times \frac{36{,}5 \text{ g de HCl}}{1 \text{ mol de HCl}} \times \frac{100 \text{ g «ácido comercial»}}{38 \text{ g de ácido puro}} =$$

$$= 96 \text{ g de ácido comercial}$$

$$\text{o bien } (96 \text{ g «ác. comercial»}) \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1{,}19 \text{ g}} = 80{,}7 \text{ cm}^3 \text{ de «ácido comercial».}$$

Se toma la cantidad de ácido calculada, se vierte (lentamente y agitando) dentro de un matraz aforado de un litro de capacidad que contenga medio litro de agua, se va añadiendo agua y agitando para homogeneizar la mezcla hasta el enrase.



PRECAUCIÓN: No succionar nunca con la boca a través de una pipeta ácidos concentrados fuertes. Si no se dispone de pipetas con succión mecánica, el volumen requerido se debe medir con una bureta.

Fig. 1. Al medir un volumen con un matraz aforado, la línea del enrase debe coincidir con la parte inferior del menisco del líquido, y para evitar error de paralaje esta línea debe mirarse desde un punto situado a su altura.

DIFERENCIAS ENTRE MEZCLA Y COMBINACIÓN

Salvo en las reacciones de descomposición o disociación de sustancias, la mezcla de éstas es una etapa previa a su posible reacción posterior, pero ambas etapas no deben confundirse. La diferencia básica es que después de la primera etapa se puede regresar a la situación de partida mucho más fácilmente que después de la segunda.

4. Mezclas y reacciones cotidianas

Si se pone un trozo de carne en una sartén que tenga aceite frío, se puede sacar y escurrir recuperándose el aceite original y también la carne; pero si una vez mezclados los «reactivos» (aceite y carne) en la sartén, se enciende el fuego y la mezcla se calienta fuertemente, al cabo de un rato ya no se dispone de sustancias iguales a las de partida.

Todo el proceso de alimentación incluye muchas mezclas y reacciones: ensaladas y muchas salsas sólo son mezclas, las cocciones producen reacciones químicas.

5. Mezcla y reacción de azufre y hierro

Se mezcla azufre en polvo y limaduras de hierro, en proporción de masas de 2 a 3, y se agita el conjunto a fin de que quede un sistema lo más homogéneo posible. Se separa una pequeña cantidad y se observa con una lupa: ¿se distinguen sus componentes? A continuación se aproxima un imán: ¿se separan las limaduras de hierro?

Se coloca la mezcla en un tubo de ensayo, que se sujeta con una pinza o trozo de alambre retorcido, y se calienta fuertemente en la llama de un mechero hasta que empiece a ponerse incandescente (fig. 2). Se aparta del fuego y se observa el proceso.

Cuando el tubo se ha enfriado se saca su contenido; para ello puede ser necesario romperlo, y se desecha la parte que no se ha puesto incandescente (o sea que no ha reaccionado).

Observando la sustancia formada con una lupa o aproximándole un imán, se aprecian características diferentes de las que tenía la mezcla antes de ser calentada: los componentes de la mezcla han reaccionado originando una sustancia homogénea que no es atraída por un imán.

La reacción que ha tenido lugar corresponde a la ecuación:

$$\text{Fe} + \text{S} \longrightarrow \text{FeS}$$

$$\text{hierro} + \text{azufre} \longrightarrow \text{sulfuro de hierro (II)}$$

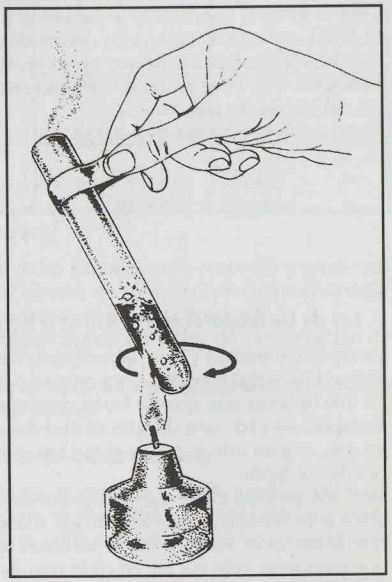


Fig. 2. El tubo de ensayo se calienta directamente a la llama, moviéndolo a fin de que el calentamiento sea homogéneo.
La boca del tubo debe dirigirse hacia donde no haya nadie a fin de evitar accidentes en caso de proyección del contenido.

LEYES BÁSICAS DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

El desarrollo de la Química moderna se basa en el conocimiento de las proporciones entre las masas de las sustancias que intervienen en una reacción química. Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) y Joseph Louis Proust (1754-1826) contribuyeron en gran medida a sentar esta base enunciando dos leyes claves para interpretar y comprender las reacciones químicas, que junto con otras se conocen como «leyes ponderales de la Química».

6. Ley de conservación de la masa o ley de Lavoisier

Hasta finales del siglo XVIII parecía evidente que en algunas reacciones se perdía materia (combustiones) mientras que en otras se ganaba (calentamiento de metales en el aire). Esta creencia se debía a que se ignoraba el papel de los gases (el aire) en las reacciones: en las primeras se desprende un gas que pasa al aire, mientras que en las segundas se fija un gas (oxígeno) componente del aire a la sustancia.

En un recipiente se pone un poco de salfumán (ácido clorhídrico) o vinagre y en otro un poco de bicarbonato sódico (hidrogenocarbonato de sodio) o mármol, 8 o 10 g, y se pesan los dos recipientes juntos.

A continuación se vierte lentamente el líquido sobre el sólido y cuando la reacción termina (se apre-

cia porque desaparece la efervescencia), se vuelven a pesar los dos recipientes y su contenido. ¿Ha disminuido el peso total? ¿cómo se interpreta?
Se propone repetir la experiencia anterior pero cerrando la boca del matraz de reacción con un globo. Se coloca el mármol o bicarbonato sódico dentro de un recipiente de boca ancha que pueda taparse herméticamente ajustando un globo alrededor de su cuello. El ácido (salfumán o vinagre) se vierte dentro de un frasco que pase por la boca del recipiente anterior y se deposita en el fondo de éste evitando que se derrame. Se cierra la boca con el globo y se pesa el conjunto. Se remueve a fin de que se vierta el ácido y se produzca la reacción hinchándose el globo. Una vez acabada se pesa otra vez el conjunto: ¿ha variado el peso total?
El ácido, en lugar de colocarlo dentro de un frasco pequeño, puede introducirse dentro del globo, teniendo la precaución de que no se vierta en el momento de colocar éste alrededor del cuello de la botella. Una vez pesado el conjunto antes de la reacción, se levanta el globo y el ácido cae dentro del matraz de reacción.
La reacción que ha tenido lugar es:

$$CaCO_3 + 2\,HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

mármol + salfumán ⟶ cloruro de calcio + agua + dióxido de carbono (gas que se desprende)

7. Ley de las proporciones definidas o ley de Proust

La reacción entre el cinc y el ácido clorhídrico permite estudiar fácilmente la proporción con que se combinan dos elementos, en este caso cinc y cloro.
En una balanza que aprecie hasta el centígramo se pesan sucesivamente tres erlenmeyers provistos de tapón; en cada uno de ellos se introduce cinc en polvo en cantidades que sean del orden de: 2g en uno, 3 g en otro y 4 g en el tercero, pesando otra vez cada erlenmeyer con el cinc y el correspondiente tapón.
Con una probeta de 10 cm^3 o una bureta se van añadiendo pequeñas cantidades de ácido clorhídrico concentrado a cada uno de los erlenmeyers, agitando después de cada adición a fin de facilitar la reacción. Así se mide el volumen aproximado de disolución de ácido que se requiere para que reaccione todo el cinc en cada uno de los erlenmeyers.
La reacción que tiene lugar es:

Cinc + ácido clorhídrico ⟶ cloruro de cinc + hidrógeno

$$Zn + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$$

La efervescencia de la reacción es debida al hidrógeno que se desprende.
Acabada cada una de las reacciones se evapora el líquido de los erlenmeyers hasta obtener un residuo seco. Debe tenerse la precaución de calentar suavemente cuando queda poco líquido porque puede ocurrir que el cloruro de cinc funda y, mientras se siga calentando, no se consiga ver nunca el esperado residuo sólido seco.
Cuando la sal (cloruro de cinc) aparezca seca, se deja enfriar el erlenmeyer, se tapa y se pesa. Se vuelve a calentar suavemente cada erlenmeyer, durante varios minutos, evitando que la sal llegue a fundir. Se deja enfriar y se pesa otra vez. Se repite esta operación hasta que dos pesadas consecutivas coincidan, o difieran en menos de 1 cg.

Así se puede completar una tabla como la siguiente:

masa de cinc (a)	volumen de disolución de ácido consumido	masa de $ZnCl_2$ obtenida (b)	masa de cloro en la sal formada: (c) = b − a	relación de masas: $\frac{c}{a}$

A partir de esta tabla se pueden establecer relaciones entre las cantidades de reactivos y productos y la relación entre las cantidades de los componentes del cloruro de cinc: ¿se aprecia proporcionalidad (sólo cualitativamente) entre la masa de cinc y el volumen del ácido consumido?
La cantidad de cloro presente en el producto final se obtiene aplicando la ley de conservación de la masa.
A partir de los datos anteriores y conociendo las masas atómicas del cloro (35,5) y del cinc (65,3) se puede calcular la fórmula empírica del cloruro de cinc ($ZnCl_2$).

8. Aplicación de las leyes básicas de la Química al cálculo de masas atómicas

Determinación de la masa atómica del magnesio. Se pretende calcular la masa atómica del magnesio a partir de la medida del volumen de hidrógeno que se desprende al reaccionar una cierta cantidad de este metal con un exceso de ácido clorhídrico, utilizando un dispositivo como el de la fig. 3 o 4.
Se pesa una pequeña cantidad de magnesio o, si está en forma de cinta, se calcula su densidad lineal (oscila entre 0,7 y 1g/cm en la cinta de magnesio que se expende normalmente en rollos de varios metros), se cortan trozos y se miden sus longitudes precisando hasta el milímetro y las masas de éstos se calculan a partir de la relación.

$$\text{masa} = (\text{longitud}) \times (\text{densidad lineal})$$

Según el volumen del recipiente en el que se debe recoger el gas se puede utilizar mayor o menor cantidad de reactivos. Así, si se usa el dispositivo de la fig. 3 con un tubo graduado de 50 cm^3 de capacidad, las cantidades de reactivos aconsejables son: 3 cm^3 de ácido clorhídrico concentrado (12 M) y del orden de 4,5 cm de cinta de magnesio (aprox. 0,04 g).
La cinta de magnesio se fija al tapón con ayuda de un trozo de alambre de cobre. El ácido se diluye con un poco de agua (5 cm^3) y se vierte dentro de un tubo graduado que se acaba de llenar completamente con agua, dejándola resbalar suavemente por las paredes y evitando agitar para que no se mezcle con el ácido del fondo.
Al colocar el tapón, el agua sobrante rebosa por el orificio del mismo y, rápidamente, antes de que el ácido y el metal empiecen a reaccionar, se tapa el orificio y se invierte el tubo introduciéndolo dentro de un vaso con agua.
Cuando el ácido alcanza al metal, de éste empiezan a salir burbujas que ascienden y se acumulan en la parte superior. La reacción termina cuando ha desaparecido todo el metal de acuerdo con la ecuación:

magnesio + ácido clorhídrico ⟶ cloruro de magnesio + hidrógeno

$$Mg + 2\,HCl \longrightarrow MgCl_2 + H_2$$

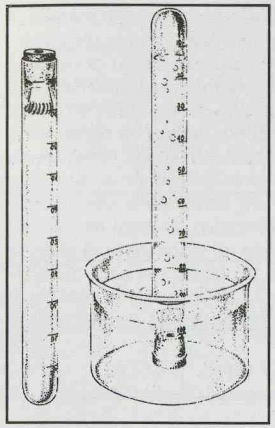


Fig. 3. Este dispositivo consta de un tubo graduado provisto de un tapón horadado en el que, con ayuda de un trozo de alambre de cobre, se fija el metal que se quiere hacer reaccionar. Cuando el tubo está lleno de líquido y el tapón puesto sujetando el metal, se tapa el orificio con el dedo, mejor protegido por un trozo de plástico o goma, y se invierte el tubo sumergiendo su extremo inferior en agua.
El gas generado en la reacción desplaza al líquido fuera del tubo y su volumen se determina por lectura directa.

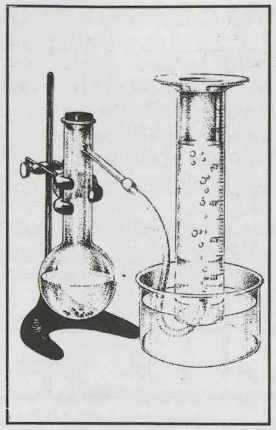


Fig. 4. Se fija a un soporte un tubo de ensayo o un matraz provisto de tubuladura lateral y de un tapón que cierre herméticamente. Mediante un tubo de goma se conecta la tubuladura lateral con el interior de una probeta invertida sobre agua y llena de agua. Al introducir el tubo en la probeta es muy difícil hacerlo sin que penetre un poco de aire en ella y su volumen no puede medirse por ser pequeño y no alcanzar la escala graduada de la probeta, en este caso se deja entrar un poco más de aire a fin de que pueda medirse su volumen. El gas generado en la reacción desplaza el agua de la probeta y su volumen se obtiene por diferencia entre el volumen final de gas y el inicial en el interior de la misma.

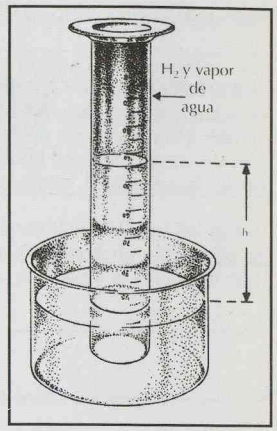


Fig. 5. Cálculo de la presión parcial del hidrógeno. La suma de la presión parcial del hidrógeno (P_H), la presión del vapor de agua que satura al hidrógeno y la de la columna de agua de altura «h» sobre el nivel del vaso es igual a la presión atmosférica (Patm).
Conociendo la temperatura ambiente, la presión de vapor de agua (P_V) se encuentra en unas tablas de valores, la presión atmosférica se lee en un barómetro o puede tomarse aproximadamente igual a 760 mm de mercurio y la presión de la columna de agua se calcula de acuerdo con la ecuación (lámina F/1): P_h = (densidad) × (gravedad) × (altura de la columna de agua).
Así queda:

$$P = P_{atm} - (P_v \cdot P_h) = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

(según la ecuación de los gases)
T = temperatura absoluta = temperatura centígrada (t) + 273.

PRECAUCIÓN: El gas generado es hidrógeno que puede producir explosiones si se pone en contacto con una llama o chispa. La cantidad que se obtiene con la masa de magnesio indicada no puede producir daño en caso de explosión, pero sí algún susto.

Dentro del tubo se ha recogido hidrógeno que está saturado de vapor de agua.
De acuerdo con la ecuación ajustada del proceso, se producen tantos moles de hidrógeno como moles de magnesio se han consumido. Si se puede determinar este número de moles, como que se conoce a qué masa de magnesio corresponden, se podrá calcular la masa de un mol de este metal.
El cálculo del número de moles de hidrógeno producidos se puede hacer a partir de la ecuación general de los gases ($p \cdot v = nRT$), cuya aplicación requiere medir la temperatura a la que se ha realizado la reacción (expresándola en Kelvin), medir el volumen de gas generado y calcular la presión parcial del hidrógeno como se indica en la fig. 5.
Cuanto mayor sea la cantidad de reactivos, más preciso es el resultado obtenido. Con el dispositivo de la fig. 4, se pueden utilizar probetas de 250 cm^3 o más de capacidad, por lo que la cantidad de magnesio puede ser del orden de 4 o 5 veces la indicada para el dispositivo de la fig. 3, es decir, de 15 a 20 cm de cinta. El procedimiento consiste en verter 3-5 cm^3 de ácido clorhídrico concentrado dentro del matraz con tubuladura lateral y diluirlo con 25-30 cm^3 de agua; introducir el tubo de goma dentro de la probeta invertida y anotar el volumen de aire que queda en su interior y, finalmente, la etapa más delicada, que consiste en introducir el trozo de magnesio dentro del matraz sin que se pierda nada del hidrógeno producido. Esto puede conseguirse enrollando la cinta de magnesio de forma muy compacta y, con el tapón ligeramente levantado, dejarlo caer dentro del matraz, tapando inmediatamente.
Acabada la reacción se efectúan los cálculos como se ha indicado antes, teniendo en cuenta que el volumen de hidrógeno producido (saturado de vapor de agua) es la diferencia entre el volumen final del gas contenido en la probeta y el volumen del aire contenido antes de iniciar la reacción.

ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE LAS REACCIONES QUÍMICAS Y DE LOS FACTORES QUE LA MODIFICAN

La cocina doméstica es un laboratorio en el que se realizan múltiples procesos relacionados con la química (disoluciones y cocciones). Si se analizan, se aprecia que algunos son rápidos y otros lentos y que a veces se provocan algunos cambios a fin de acelerarlos o retardarlos. Recordando estos hechos que se producen diariamente en este laboratorio doméstico, se pueden responder las siguientes cuestiones, que aproximan al conocimiento y comprensión de los factores que alteran la rapidez de los procesos químicos:
a) Los distintos alimentos tienen propiedades distintas: ¿requieren todos el mismo tiempo para cocerse?
b) Un mismo alimento puede cocerse troceado en grandes o en pequeñas porciones: ¿cómo se cuece antes?
c) En una olla a presión, el agua hierve a temperatura más alta que en una olla corriente: ¿en qué olla se cuece antes un alimento?
Los alimentos congelados se conservan más tiempo que en la nevera sin congelar, y en ésta más que a temperatura ambiente: ¿cómo se explica?
d) En las etiquetas de muchos productos envasados figura la palabra «conservantes». Éstos son sustancias que estando presentes en poca cantidad impiden que el alimento se estropee en poco tiempo, es decir, dificultan que se produzca una reacción química.
e) El lavado de tejidos o utensilios de cocina es un conjunto de procesos físico-químicos. Los detergentes «concentrados», ¿son más o menos eficaces que los diluidos?
Las conclusiones pueden ser que la velocidad de una reacción depende de: la naturaleza de los reactivos, el grado de división de los mismos, la temperatura a que se realiza, la presencia de sustancias que en poca cantidad afectan a la rapidez del proceso (catalizadores) y de la concentración de las sustancias que intervienen.

9. Estudio cinético de la reacción entre iodato de potasio (KIO_3) e hidrogenosulfito de sodio ($NaHSO_3$)

Se propone estudiar el efecto de la concentración de los reactivos, de la temperatura y de la presencia de un catalizador en la velocidad de la reacción del ión iodato y el ión hidrogenosulfito (bisulfito), cuya ecuación en forma iónica es:

$$\underset{\text{ión iodato}}{IO_3^-} + 3\ \underset{\text{ión hidrogenosulfito}}{HSO_3^-} \longrightarrow \underset{\text{ión ioduro}}{I^-} + \underset{\text{ión sulfato}}{3SO_4^{2-}} + 3H^+ \quad (1)$$

Esta reacción ocurre simultáneamente con otras dos cuyas ecuaciones son:

$$5I^- + 6H^+ + IO_3^- \longrightarrow 3I_2 + 3H_2O \quad (2)$$

$$I_2 + HSO_3^- + H_2O \longrightarrow 2I^- + SO_4^{2-} + 3H^+ \quad (3)$$

El ión ioduro producido en la primera reacción se oxida a iodo en presencia del ión iodato (2.ª ecuación); a su vez el iodo generado en este proceso es reducido por el ión hidrogenosulfito (bisulfito) a ión ioduro (3.ª ecuación).

La reacción se realiza con exceso de iodato, por tanto a partir de un cierto instante se ha consumido todo el ión hidrogenosulfito y el iodo formado no puede ser destruido según la ecuación (3). Así pues, la presencia de iodo, que se detecta por formación del característico complejo azul con el almidón, indica el fin de la reacción que se estudia (ecuación 1).

Material necesario: tubos de ensayo (10), buretas (3), recipientes con agua que se puedan calentar a diferentes temperaturas, mechero Bunsen o de alcohol, termómetro y cronómetro.

Las disoluciones de los reactivos se preparan como se indica a continuación:

Disolución A: 2 g de iodato de potasio en un litro de agua (aproximadamente es 0,01 M en KIO_3).

Disolución B: se añaden 2-3 g de almidón soluble a 500 cm^3 de agua hirviendo y se va calentando hasta la disolución total; a continuación se añaden 0,4 g de hidrogenosulfito de sodio y cuando la disolución esté fría se adicionan lentamente y agitando 5 cm^3 de ácido sulfúrico 1 M y agua hasta completar un litro de volumen total (concentración aproximada 0,004 en $NaHSO_3$).

Tanto en la preparación de las disoluciones anteriores como en la realización de la experiencia debe usarse agua destilada.

a) Estudio del efecto de la concentración. Se llena una bureta con disolución A, otra con disolución B y otra con agua destilada. Se numeran cinco tubos de ensayo y en ellas se mezclan las cantidades de disolución A y de agua destilada, que se indican a continuación:

Tubo n.°	disolución A	agua destilada
1	5 cm^3	0
2	4 cm^3	1 cm^3
3	3 cm^3	2 cm^3
4	2 cm^3	3 cm^3
5	1 cm^3	4 cm^3

Así, el volumen total contenido en cada tubo es el mismo, pero la concentración de iodato de potasio varía regularmente.

En cada uno de otros cinco tubos de ensayo se vierten 5 cm^3 de disolución B.

A fin de homogeneizar y conocer la temperatura de los reactivos y la de realización de la reacción, los tubos preparados se sumergen hasta una altura superior a la del líquido que contienen en un recipiente con agua a temperatura ambiente, que se determina con un termómetro, y se dejan unos minutos para garantizar que todos están a la misma temperatura.

El contenido del tubo n.° 1 se vierte dentro de uno que contenga disolución B y rápidamente se tapa y agita para que ambas disoluciones se mezclen y se deja otra vez en el baño de agua, cronometrando el tiempo que transcurre desde que se produce la mezcla hasta que aparece el color azul, que indica el fin de la reacción (si el agua empleada no era destilada o contenía impurezas, en lugar del color azul pueden aparecer colores pardos). Se repite el proceso anterior para cada uno de los tubos preparados.

¿La velocidad de una reacción aumenta con la concentración de los reactivos?

b) Estudio del efecto de la temperatura. Se preparan algunos tubos con disolución A y otros con disolución B como en el caso anterior y se sumergen en un baño de agua calentada a 40 o a 60°C y se dejan varios minutos a fin de que adquieran la temperatura del agua.

Igual que en la experiencia anterior, se vierte un reactivo sobre otro, se agita la mezcla y se deja en el baño de agua para que la reacción tenga lugar a la temperatura establecida mientras se cronometra el tiempo de reacción. Éste, ¿disminuye al aumentar la temperatura?

c) Estudio del efecto de un catalizador. Se repite la experiencia relativa al estudio del efecto de las concentraciones, pero añadiendo a las mezclas de reacción unas gotas de disolución diluida (0,02 M) de nitrato o sulfato de cobre (II). Pueden realizarse ensayos con distintas sales de metales de transición (Fe, Co, Ni, Mn, etc.) y determinar cuál de ellas acelera o retarda más la reacción.

INTERCAMBIO DE ENERGÍA EN LAS REACCIONES QUÍMICAS

Las reacciones químicas, además de provocar un cambio en las propiedades de las sustancias, se caracterizan por llevar asociado un intercambio de energía, que frecuentemente es en forma de calor, pero también como energía luminosa y eléctrica (pilas). Cuando las reacciones se realizan desprendiendo calor se denominan exotérmicas, mientras que si se deben calentar continuamente los reactivos para que la reacción evolucione el proceso, esta reacción se denomina endotérmica.

10. Reacciones exo y endotérmicas

Una forma sencilla de determinar, con una pequeña cantidad de reactivos, si una reacción se realiza absorbiendo calor (endotérmica) o cediéndolo (exotérmica) consiste en fijar un trozo de algodón envolviendo el bulbo de un termómetro, humedecerlo en un reactivo, leer la temperatura que indica y sumergirlo en una pequeña cantidad de otro reactivo. Se observa que la temperatura varía al producirse la reacción.

Un ejemplo de reacción exotérmica es:

$$\underset{\text{salfumán}}{HCl} + \underset{\text{amoníaco}}{NH_3} \longrightarrow \underset{\text{cloruro de amonio}}{NH_4Cl}$$

Se humedece un trozo de algodón fijado alrededor del bulbo de un termómetro con un poco de salfumán y se sumerge en un recipiente (puede servir el mismo tapón de plástico de las botellas de estos productos de uso doméstico) que contenga un poco de amoníaco: la temperatura sube.

Un ejemplo de reacción endotérmica es:

$$\underset{\substack{\text{cloruro de}\\\text{magnesio}}}{MgCl_2} + \underset{\substack{\text{carbonato}\\\text{de sodio}}}{Na_2Co_3} \longrightarrow \underset{\substack{\text{carbonato}\\\text{de magnesio}}}{MgCo_3} + \underset{\substack{\text{cloruro de sodio}\\\text{(sal común)}}}{2NaCl}$$

El algodón fijado en el termómetro se humedece en una disolución de cloruro de magnesio y luego se sumerge en una disolución de carbonato de sodio: se observa que la temperatura desciende.

REACCIONES DE PRECIPITACIÓN

Se llama «precipitado» a la sustancia sólida que se origina en el seno de un líquido por algún procedimiento: concentración del líquido, variación de la temperatura o adición de algún reactivo. Los dos primeros procedimientos se han estudiado en el tema de «purificación de sustancias» (lámina J/3, cristalización) y el tercero es el que se propone estudiar a continuación.

Las reacciones de precipitación, aquellas que forman un precipitado a partir de reactivos solubles, pueden incluirse, igual que las de ácido-base, dentro del grupo de reacciones de intercambio de iones, ya que normalmente consisten en la unión de un ión positivo y uno negativo para dar una sustancia insoluble:

$$A^+ + B^- \rightleftarrows AB\downarrow$$

En la ecuación anterior se escribe una doble flecha porque las reacciones de precipitación son procesos reversibles, es decir, en condiciones adecuadas (p. ej. elevando la temperatura o adicionando un reactivo) la sustancia AB se disuelve regenerando los iones B^- y A^+.

En las reacciones de precipitación no siempre aparece un producto insoluble separado en el fondo del recipiente en el que se realiza la reacción, sino que a veces la formación de una sustancia insoluble se evidencia por un enturbiamiento del líquido resultante de mezclar los reactivos. Las disoluciones de reactivos pueden ser o no coloreadas, pero han de ser claras y nunca turbias. El hecho de que el precipitado no se «precipite» hacia el fondo puede explicarse considerando que las partículas que se originan en la reacción pueden ser muy pequeñas y/o su densidad igual o menor que la del líquido; en estos casos el centrifugado de la mezcla de reacción acelera la separación de las fases sólida y líquida (fig. 6).

11. Estudio experimental de las reacciones de precipitación

A continuación se propone estudiar la posible aparición de sustancias insolubles al mezclar disoluciones de los distintos compuestos disponibles. En el caso de aparecer precipitado se calienta el tubos de ensayo, al baño de agua o a la llama del mechero, a fin de determinar si la sustancia formada se disuelve al aumentar la temperatura. Si el precipitado se quiere observar mejor se deja el tubo de ensayo en reposo o se centrifuga. Las reacciones de precipitación, al ser iónicas, son rápidas, por tanto si no se observa ningún cambio a los pocos segundos de realizar la mezcla, puede concluirse que no hay reacción.

En primer lugar debe hacerse una lista de sustancias (reactivos) disponibles y si no están disueltas, preparar las correspondientes disoluciones de similar concentración (por ejemplo, 0,1 o 0,01 M), y a partir de la información disponible establecer un orden lógico de experimentación. Por ejemplo: si se mezclan disoluciones de cloruro de sodio y nitrato de potasio se puede escribir la primera parte de la posible reacción como $NaCl + KNO_3 = ...$ pero en realidad la mezcla formada contiene sólo iones :

$$Na^+ + Cl^- + K^+ + NO_3^-$$

que pueden o no agruparse dando una sustancia insoluble. Las sustancias que se podrían formar a partir de los citados reactivos son las derivadas del intercambio de iones:

cloruro de potasio (KCl)
y nitrato de sodio ($NaNO_3$),

pero en realidad no se observa la aparición de ningún precipitado, por tanto se concluye que estas sales son solubles. Teniendo en cuenta esta conclusión, al realizar la mezcla entre una disolución de cloruro de sodio y otra de nitrato de plata

$$NaCl + AgNO_3 =$$
$$= ... \text{ o mejor } Na^+ + Cl^- + Ag^+ + NO_3^-$$

si aparece alguna sustancia insoluble ha de ser necesariamente cloruro de plata (AgCl), ya que la otra posible, nitrato de sodio ($NaNO_3$), ya se sabe que es soluble.

Puede iniciarse el trabajo estudiando la solubilidad de los hidróxidos metálicos; para ello se mezclan en un tubo de ensayo pequeño un poco de disolución de hidróxido de sodio (p. ej. unas cuantas gotas o 1 o 2 cm^3) con un poco de disolución de alguna sal metálica ($AgNO_3$, $CuSO_4$, $CaCl_2$, etc.), recordando que si aparece precipitado, será debido al hidróxido de ión metálico añadido. Así, se puede completar un tabla como la siguiente:

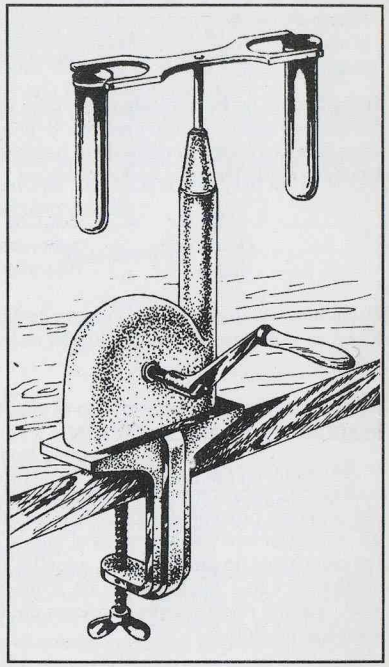


Fig. 6. Centrífuga manual.

hidróxido	AgOH	$Cu(OH)_2$	$Ca(OH)_2$	...	...	...
soluble en frío						
soluble en caliente						
color del precipitado						

A continuación se puede estudiar la formación de sales insolubles, reacción de precipitación, mezclando una disolución de una sal de diversos aniones: I^-, Cl^-, SO_4^{2-}, etc. (normalmente la sal soluble utilizada es la sódica o potásica: KI, NaCl, Na_2SO_4), con otra sal (normalmente nitrato) de diversos cationes: Ag^+, Pb^{2+}, Cu^{2+}, etc.

Los resultados del estudio se agrupan en una tabla como la siguiente:

reactivos			KI	NACl	Na_2SO_4	etc.
	anión / catión		I^-	Cl^-	SO_4^{2-}	
$AgNO_3$	Ag^+	sal formada soluble {en frío / en caliente}	AgI	...	...	
$Cu(NO_3)_2$	Cu^{2+}	sal formada soluble {en frío / en caliente}				
etc.						

12. El jardín químico

Con silicato de sodio (Na_2SiO_3), llamado «vidrio soluble», y sales coloreadas solubles en agua (p. ej. sulfato de cobre (II) y/o hierro (II), cloruro de hierro (III) y/o de cobalto (II), etc.) pueden generarse formas arborescentes de colores, constituidas por pequeños cristales superpuestos de silicatos de los diferentes iones metálicos.

Procedimiento: Se mezcla agua y solución concentrada de silicato de sodio en proporción 4 a 1 en volumen y se vierte dentro de un recipiente de base ancha. En éste, previamente, pueden disponerse piedrecitas o arena en su fondo a fin de simular mejor el suelo de un «jardín». A continuación se distribuyen cristales de las distintas sales por el fondo del recipiente procurando que queden separados unos de otros y se deja en reposo. Al cabo de varias horas, estos cristales parecen haber crecido, originando «árboles» del color del cristal de procedencia. Al cabo de dos o tres días, cuando los «árboles» ya no crecen más, con la ayuda de una pipeta o sifón puede extraerse la disolución que envuelve el «jardín» y sustituirla por agua a fin de que se conserve mejor.

Interpretación de los resultados: El silicato de sodio es soluble en agua, pero no lo son los silicatos de otros metales (hierro, cobre, etc.). Así, si a la solución de silicato de sodio se le añade un cristal de sulfato de cobre (II), éste se disuelve originando el ión sulfato (SO_4^{2-}) y el ión cobre (II) (Cu^{2+}) que reaccionan inmediatamente con el ión silicato presente en la disolución que rodea el cristal de sulfato de cobre (II), originando una sal insoluble que se deposita junto a dicho cristal. La ecuación correspondiente de la reacción es:

$$\underset{\text{(soluble)}}{Na_2SiO_3} + \underset{\text{(soluble)}}{CuSO_4} \longrightarrow \underset{\text{(insoluble)}}{CuSiO_3} + \underset{\text{(soluble)}}{Na_2SO_4}$$

Reacciones análogas ocurren con cada uno de los iones metálicos añadidos y así va creciendo el «jardín químico».

ÁCIDOS Y BASES

Ácidos y bases son dos clases de sustancias que pueden considerarse químicamente opuestas y que reaccionan entre sí anulándose sus propiedades (reacción de neutralización) y originando otras sustancias denominadas sales.

Si bien los ácidos tienen un sabor que los distingue de las bases, en el laboratorio o ante productos desconocidos JAMÁS debe usarse este procedimiento para distinguir unas sustancias de otras, ya que muchas de ellas son tóxicas y/o corrosivas. Si alguna prenda de vestir se ha salpicado de salfu-

mán, ¿qué ocurre? La conclusión es que los ácidos y las bases deben manipularse con precaución y en caso de que accidentalmente se pongan en contacto con la piel, debe procederse a lavarla bajo un chorro de agua fría abundante.
Los ácidos tienen una propiedad bastante general: enrojecen los extractos vegetales azulados. Las bases les devuelven un color similar al original o verdoso. Las sustancias que tienen la propiedad de cambiar de color de forma reversible según que estén en contacto con una sustancia ácida o básica, reciben el nombre de indicadores.

13. Obtención de indicadores naturales

Los colores de muchas flores y frutos son debidos a sustancias que pueden extraerse y utilizarse como indicadores de acidez y basicidad.
El procedimiento para extraer el colorante de los pétalos de las flores consiste en machacarlos en un mortero con un poco de alcohol o acetona o hacerlos hervir unos minutos en alcohol y en ambos casos filtrar el líquido coloreado obtenido para usarlo como indicador.
Los zumos filtrados de algunos frutos pueden usarse directamente como indicadores y el líquido resultante debe hervir en agua de col lombarda o zanahoria trituradas; también puede usarse como indicador.
Algunas flores pueden usarse directamente como «indicadores». Así, por ejemplo, las violetas, sometidas a vapores de amoníaco, se vuelven verdes, mientras que si se humedecen en vinagre, adquieren color rosado o rojizo.
Muchas veces en los laboratorios no se usa la disolución de indicador sino «papel indicador». Éste consiste en una tira de papel impregnada de colorante indicador y puede obtenerse a partir de los extractos vegetales obtenidos según el procedimiento anterior: se cortan tiras de papel, mejor secante o de filtro, se empapan de alguno de los extractos vegetales obtenidos y se dejan secar. Una vez secas, las tiras ya se pueden usar o guardar en un frasco cerrado.
El extracto vegetal indicador se usa dejando caer unas gotas del mismo sobre una pequeña cantidad de sustancia, mientras que si se emplea papel, el procedimiento consiste en humedecerlo dejando caer encima del mismo una gota del líquido a investigar.
En la tabla siguiente se indican algunos colores aproximados que aparecen con extractos vegetales:

extracto de	color en medio		
	ácido	neutro	básico
col lombarda	rojo	azul-violeta	verde-amarillo
begonia naranja	rosa	violáceo	verde
geranio	rosa	violeta	verde-amarillo
malvarrosa rosa	rosa	verde	amarillo
rosa rosada	rosa	amarillo-verde	naranja-amarillo
rosa blanca	rosado	verde	azul
violetas	rosado	violáceo	verde-amarillo

14. Clasificación de las sustancias en ácidas y básicas

Utilizando los indicadores naturales o el papel indicador obtenidos, clasifíquense las diferentes sustancias disponibles que sean líquidas o se puedan disolver: vinagre, vino, aceite, alcohol, agua de sifón, zumos de frutas, leche, lejía, salfumán, amoníaco, detergentes, caldo, agua filtrada a través de ceniza, disoluciones de «bicarbonato» o de azúcar o de sal, etc.

15. Volumetría de neutralización

La volumetría de neutralización consiste en determinar la concentración de un ácido (o de una base) en una disolución haciendo reaccionar una cantidad de ésta con una disolución de una base (o de un ácido) de concentración conocida, que se va añadiendo lentamente hasta que ha reaccionado totalmente el ácido (o la base) de la disolución de concentración desconocida. El punto final de la reacción se puede determinar mediante indicadores. Conociendo la cantidad consumida de un reactivo, aplicando las leyes básicas de la Química, se calcula la cantidad o concentración del otro.
Se propone valorar la concentración de base de una disolución de algún hidróxido (p. ej. hidróxido de sodio o de calcio) con ácido clorhídrico de concentración conocida (p. ej. 0,1 M) y utilizando fenolftaleína como indicador.
Para efectuar la valoración con precisión se requiere una bureta, mejor dos, con el correspondiente soporte, embudo, frasco lavador con agua destilada y vaso de precipitados o erlenmeyers de capacidad adecuada al volumen de ácido más base que deberá contener.
El procedimiento a seguir es: tomar una bureta limpia y seca y enjuagarla dos o tres veces con un pequeño volumen de ácido clorhídrico de concentración conocida (2-3 cm^3 cada vez); se llena con el mismo y se deja fluir un poco para que ocupe el extremo inferior de la bureta; se vierte un volumen predeterminado (p. ej. 20 cm^3) de ácido en un erlenmeyer o vaso de precipitados y se le añaden dos o tres gotas de disolución de fenolftaleína.
Si no se dispone de otra bureta, la anterior debe lavarse bien con agua destilada y a continuación enjuagarla varias veces con un pequeño volumen de disolución «problema» de hidróxido. Después se llena con dicha disolución, que se deja fluir para que llene el tramo inferior de la bureta y se anota el volumen que queda dentro o bien se añade más solución y/o se deja fluir a fin de enrasarla en el valor deseado.
Si se dispone de dos buretas, se usa una para medir el ácido y otra para la base y así se ahorra el tiempo necesario para lavar la bureta al cambiar la sustancia a medir.
Tomando el erlenmeyer que contiene el ácido con una mano y la llave de la bureta con la otra (fig. 7) se inicia la valoración dejando fluir lentamente la disolución de hidróxido de sodio, agitando continuamente la mezcla formada. La valoración se da por terminada cuando la disolución adquiere un débil tono rosado que no desaparece al agitar.
Por diferencia entre el volumen inicial de base en la bureta y el final, se obtiene el volumen de la misma, equivalente al ácido vertido inicialmente en el erlenmeyer. La reacción que se produce es:

$$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$$

Si para neutralizar 20 cm^3 de ácido clorhídrico 0,1 M se han necesitado 25 cm^3 de disolución de hidróxido de sodio de concentración «c» desconocida, teniendo en cuenta la ecuación ajustada de la reacción, ha reaccionado la misma cantidad, en mol, de ácido que de base, por tanto:
(0,020 litros de ácido) × 0,1 M = (0,025 litros de base) × c de donde c = 0,08 M
A fin de confirmar el resultado, debe repetirse el proceso de valoración.
Evaporando a sequedad la disolución resultante de la neutralización y pesando el sólido obtenido puede comprobarse que se cumplen las leyes ponderales de la Química (las cantidades de cloro y sodio en los reactivos se calculan a partir de las concentraciones y volúmenes empleados de las disoluciones de partida).

16. Valoración de la acidez de un vinagre

El vinagre contiene habitualmente entre un 4% y un 5,5% de ácido acético. Esta concentración puede determinarse valorándolo con una disolución de concentración conocida de una base, por ejemplo hidróxido de sodio 0,1 M.

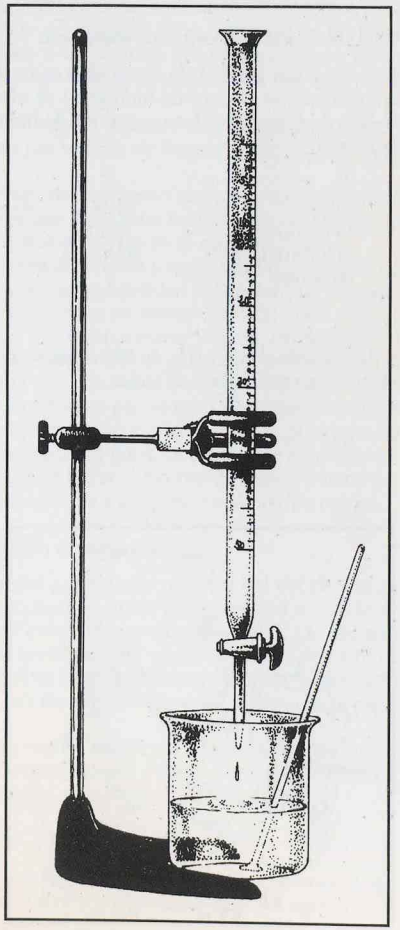


Fig. 7. Volumetría de neutralización. Al efectuar la lectura de volumen en la bureta, se debe tomar como referencia la parte inferior del menisco del líquido interior. Al finalizar la valoración, las buretas que han contenido disoluciones de bases deben lavarse muy bien para evitar que las llaves se atasquen.

El procedimiento es el descrito en el apartado anterior: se vierte un volumen pequeño (10 cm^3) de vinagre en el vaso de precipitados, se diluye con agua destilada (30 cm^3), se añaden dos o tres gotas de disolución de fenolftaleína y se procede a la valoración con la disolución de base.
Si se valora con hidróxido de sodio, la reacción que tiene lugar es:

$$CH_3\text{–}COOH + NaOH \longrightarrow Na^+CH_3\text{–}COO^- + H_2O$$

SALFUMÁN Y AMONÍACO

El «salfumán» y el «amoníaco» de uso doméstico son dos líquidos constituidos por disoluciones en agua de los gases cloruro de hidrógeno (ácido clorhídrico) y amoníaco respectivamente. Estos gases son incoloros, pero fáciles de detectar por su fuerte olor característico que puede percibirse oliendo con precaución algún frasco destapado que esté cerca (fig. 8).

17. Obtención de cloruro de hidrógeno

Una reacción general de los ácidos es la de desplazar a otros más débiles de sus sales. Si bien actualmente el cloruro de hidrógeno se obtiene en gran cantidad por reacción entre sus componentes (hidrógeno + cloro = cloruro de hidrógeno), históricamente se ha obtenido de acuerdo con la reacción:

$$\underset{\text{sal común (cloruro de sodio)}}{NaCl} + \underset{\text{ácido sulfúrico}}{H_2SO_4} \longrightarrow \underset{\text{hidrogenosulfato de sodio}}{NaHSO_4} + \underset{\text{cloruro de hidrógeno}}{HCl}$$

y calentando una mezcla de hidrogenosulfato de sodio y cloruro de sodio, se obtiene más cloruro de hidrógeno y sulfato de sodio.

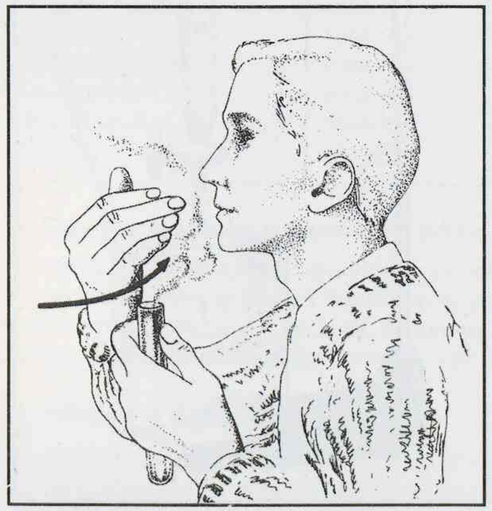


Fig. 8. Para oler algún producto desconocido o que pueda ser nocivo (el salfumán y el amoníaco lo son) nunca se debe acercar la cara al recipiente que lo contiene ni aspirarlo fuertemente por la nariz, sino que con la mano se deben dirigir sus vapores hacia la nariz.

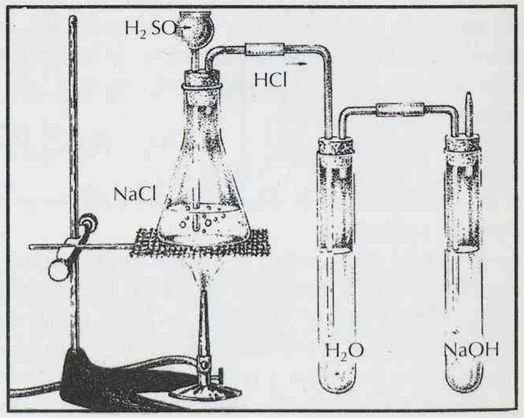


**Fig. 9. «Generador de cloruro de hidrógeno». Si se quiere generar poca cantidad de gas puede utilizarse un dispositivo más sencillo, pero es mejor disponer un recipiente de seguridad, conectado a continuación del destinado a recoger el gas, conteniendo disolución de hidróxido de sodio a través de la que se hace burbujear los gases antes de dejarlos escapar al aire. El gas cloruro de hidrógeno puede recogerse disuelto vertiendo agua dentro del recipiente y sumergiendo en ella el tubo de desprendimiento.
Esta experiencia debe efectuarse en un lugar ventilado.**

A continuación se propone obtener cloruro de hidrógeno usando uno de los dispositivos de la fig. 9 y cloruro de sodio y ácido sulfúrico como reactivos. Las proporciones entre ambos reactivos son: 25 cm^3 de ácido sulfúrico 6 M por cada 10 g de sal común.
El procedimiento consiste en introducir la sal dentro del matraz y sobre ella verter lentamente, a través del tubo de seguridad o mediante un embudo de adición, la disolución de ácido sulfúrico, calentando el conjunto suavemente. Regulando la adición del ácido sulfúrico se regula la producción de cloruro de hidrógeno.
Por ser más denso que el aire, el gas cloruro de hidrógeno se recoge dentro del frasco por desplazamiento de aquél. Colocando un trozo de papel indicador humedecido en la boca del frasco donde se recoge el gas generado, inicialmente no sufrirá ningún cambio, pero cuando el frasco esté lleno del gas cloruro de hidrógeno cambiará de color indicando la presencia de ácido clorhídrico.
Si no se desean llenar más frascos, se apaga el fuego, se tapa el recipiente lleno de cloruro de hidrógeno y se guarda para experiencias posteriores. El matraz de reacción debe colocarse en un lugar bien ventilado ya que está lleno del gas generado y se debe tener presente que puede contener ácido sulfúrico sin reaccionar, por lo que al verter su contenido al desagüe se hará dejando salir agua abundante por el grifo.
Si el gas se recoge disolviéndolo en agua, al apagar el fuego se separará inmediatamente el recipiente que lo contiene a fin de evitar que sea absorbido por el tubo de desprendimiento al enfriarse el matraz de reacción.
Para determinar cuándo el frasco se ha llenado de cloruro de hidrógeno se ha puesto un trozo de papel indicador humedecido en la boca del mismo. ¿Por qué debe estar húmedo? Aproxímese a la boca del frasco un trozo de papel indicador seco y otro húmedo. ¿Sufren el mismo cambio?

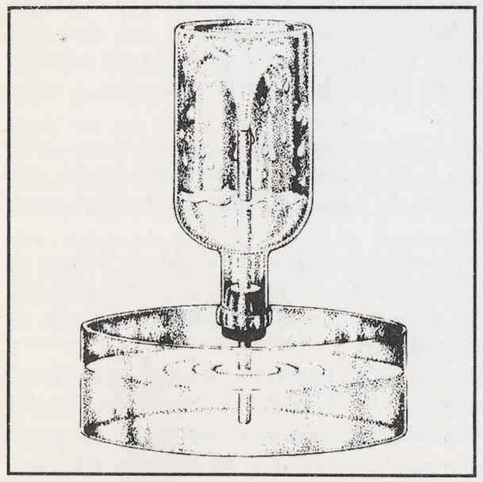


Fig. 10. Surtidor de ácido clorhídrico.

Una experiencia sencilla y espectacular que pone de manifiesto la gran solubilidad del cloruro de hidrógeno en agua consiste en tomar el frasco lleno de gas, ponerle un tapón atravesado por un trozo de tubo recto de vidrio e invertir el conjunto introduciendo el extremo del tubo de vidrio en agua. Ésta al principio asciende lentamente por el tubo y después con gran rapidez, originando un surtidor (fig. 10). Si al agua se le han añadido unas gotas de tornasol o de anaranjado de metilo, al llegar al interior del frasco y mezclarse con el cloruro de hidrógeno cambiará de color.

18. Obtención de amoníaco

El nombre del gas amoníaco deriva del del dios egipcio Ammón porque cerca de su templo en Libia se preparaba calentando residuos animales. De ahí que también se conociera por «espíritu del asta de ciervo». Los alquimistas lo denominaban «espíritu volátil» y lo obtenían calentando orina con sal y tratando la mezcla con álcalis.
De forma análoga a como ocurre en los ácidos, las bases fuertes desplazan a las más débiles de sus sales. Así, el amoníaco puede obtenerse haciendo reaccionar cloruro de amonio con hidróxido de calcio (cal apagada) o hidróxido de sodio (sosa cáustica). La reacción que tiene lugar es:

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2NH_3 + CaCl_2 + 2H_2O$$

El montaje experimental requerido se indica en la fig. 11 y difiere del utilizado para obtener cloruro de hidrógeno porque el amoníaco es más ligero que el aire y por tanto se debe recoger con un recipiente invertido.
El procedimiento consiste en mezclar masas iguales de hidróxido de calcio y de cloruro de amonio (p. ej. 10 g de cada compuesto) y un poco de agua para humedecer la mezcla.
A continuación se calienta suavemente y cuando un trozo de papel indicador humedecido, colocado en la boca del frasco invertido, cambie de color, se puede considerar que el frasco está lleno de amoníaco. Se tapa y se guarda para experiencias posteriores. Igual que en el caso del cloruro de hidrógeno, puede comprobarse que un papel indicador seco en contacto con gas amoníaco cambia de color lentamente, pero rápidamente si está húmedo. Esta experiencia de observar el cambio

de color de un papel indicador en contacto con gas amoníaco se puede realizar con el papel indicador preparado según la experiencia n.° 13 y usando como «fuente» de gas amoníaco un frasco de amoníaco de uso doméstico.
El carácter básico del amoníaco se debe a que reacciona con agua dando hidróxido de amonio:

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ OH^-$$

El amoníaco gas está formado por moléculas de fórmula NH_3 y no contiene los iones hidroxilo (OH^-) que dan carácter básico a sus disoluciones.
El amoníaco, igual que el cloruro de hidrógeno, es un gas muy soluble en agua, por lo que realizando una experiencia análoga a la esquematizada en la fig. 10 se obtiene un «surtidor» de agua hacia dentro del frasco. Para que el agua cambie de color al penetrar en el frasco debe añadírsele unas gotas de disolución de fenolftaleína.

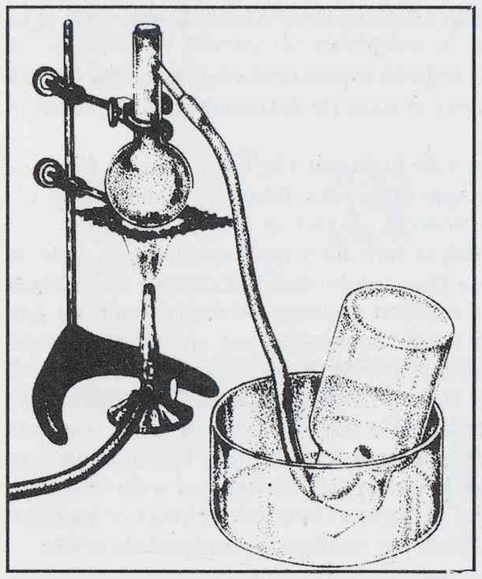


Fig. 11. Dispositivo para recoger gases más ligeros que el aire.

19. La velocidad de difusión de los gases
Un gas está constituido por moléculas que se mueven a través del aire y con el tiempo se reparten homogéneamente por él.
La experiencia siguiente pone de manifiesto que las distintas moléculas se mueven a distinta velocidad; se puede calcular la velocidad relativa del amoníaco y del cloruro de hidrógeno.
Se necesita un tubo de vidrio de medio metro de longitud y con un diámetro superior a 1 cm, que esté abierto por sus dos extremos y provisto de tapones para ambos; dos trozos de algodón, amoníaco y salfumán.
Se impregna un trozo de algodón con amoníaco y otro con salfumán y se introducen simultáneamente uno en cada extremo del tubo de vidrio, tapándolos enseguida.
Se deja el tubo en reposo y al cabo de un tiempo se observa la formación de un anillo de «humo» blanco más cerca del extremo con el algodón impregnado de salfumán que del otro.
La aparición del humo blanco se explica por formación de cloruro de amonio al encontrarse moléculas de amoníaco y de cloruro de hidrógeno. Si este compuesto se forma más cerca del punto de partida del cloruro de hidrógeno que del amoníaco, se concluye que las moléculas de éste son más rápidas que las de aquél.
Efectivamente, a igual temperatura las moléculas pequeñas (NH_3) se mueven con mayor rapidez que las grandes (en este caso HCl).
A medida que transcurre el tiempo el tubo se va llenando de «humo», hecho que demuestra que los gases siguen difundiéndose hasta llegar a ocupar todo el volumen del recipiente.

DIÓXIDO DE CARBONO (ANHÍDRIDO CARBÓNICO)

El dióxido de carbono es el gas que origina las burbujas de las «bebidas con gas» (sifón, cerveza, etcétera). Es un gas poco soluble en agua, combinándose con ésta formando ácido carbónico (H_2CO_3) que se descompone liberándolo:

$$H_2CO_3 \longrightarrow H_2O + CO_2$$

Joseph Priestley (1733-1804) puede ser considerado «el padre del sifón o de la gaseosa», ya que disolvió dióxido de carbono en agua, probó su sabor y descubrió que era una bebida agradable y refrescante.
Este gas se exhala al respirar; se produce en procesos de fermentación y en la combustión de sustancias que contienen carbono; también se produce en la descomposición térmica de carbonatos (calcinación de la caliza) y por la acción de ácidos sobre carbonatos.

Este último procedimiento consiste en el desplazamiento del ácido carbónico débil por otro ácido más fuerte (p. ej. ácido clorhídrico) de las sales que forma (carbonatos y bicarbonatos). Los reactivos que se necesitan son: piedra caliza o mármol o cáscara de huevo [los tres son carbonato de calcio ($CaCO_3$)], o hidrogenocarbonato de sodio ($NaHCO_3$), que es el «bicarbonato» de uso doméstico, y como ácido el salfumán (ácido clorhídrico, HCl) o vinagre (contiene ácido acético) o zumo de limón (contiene ácido cítrico). Si se usa salfumán, las reacciones son:

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$
$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O + CO_2$$

En la composición de los comprimidos efervescentes, o de los preparados en polvo para obtener «gaseosa» o «limonada» o de la levadura artificial, se indica que contienen bicarbonato sódico (hidrogenocarbonato de sodio) y algún ácido (con frecuencia cítrico o tartárico). Por tanto estas sustancias pueden utilizarse para obtener dióxido de carbono. Es suficiente disolverlas en agua y recoger el gas que se desprende.

20. Limonada con burbujas

El ácido contenido en el zumo de limón es débil comparado con el clorhídrico, pero suficientemente fuerte para desplazar al ácido carbónico de sus sales.
Se exprime un limón y el zumo obtenido se mezcla con media cucharadita de «bicarbonato» ($NaHCO_3$). Inmediatamente empiezan a formarse burbujas de dióxido de carbono. Puede beberse en este momento. Si en lugar de zumo de limón se usa agua con un poco de vinagre (contiene ácido acético), el resultado también es una bebida refrescante con burbujas pero de sabor menos agradable.

21. Obtención de dióxido de carbono a partir de mármol y salfumán. Estudio de algunas propiedades

A partir de mármol y salfumán y con el dispositivo de la fig. 12, se puede generar y recoger dióxido de carbono.
A fin de estudiar algunas propiedades del dióxido de carbono que se obtiene, también se necesita: «agua de cal», que es disolución de hidróxido de calcio obtenida mezclando 2 g de óxido de calcio en medio litro de agua, agitando bien y filtrando a fin de obtener una disolución clara que se debe guardar en un frasco tapado y etiquetado; disolución de hidróxido de sodio, disolución de fenolftaleína y una vela y cerillas.
Se introducen trozos pequeños de mármol dentro del matraz A y a través del tubo de seguridad se vierte salfumán (o una mezcla a partes iguales de agua y ácido clorhídrico concentrado) hasta cubrir el extremo inferior de dicho tubo para evitar que el gas salga por él. Regulando la velocidad de adición del ácido se controla la de desprendimiento del gas, perceptible por el burbujeo en el frasco lavador. Cada varios minutos puede considerarse que el frasco «C» está lleno de gas generado y usarlo para realizar alguna de las experiencias descritas a continuación o taparlo para guardarlo.

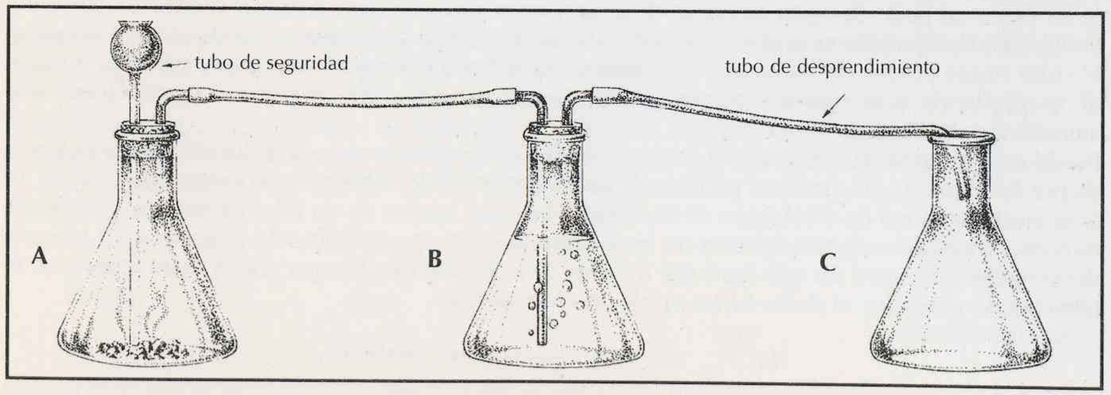


Fig. 12. Dispositivo para obtener y recoger dióxido de carbono. El matraz A es donde se realiza la reacción; va provisto de un tubo de seguridad por el que se puede verter el ácido lentamente; «B» es el frasco lavador que contiene agua a través de la cual se hace burbujear el gas obtenido a fin de eliminar el ácido clorhídrico que arrastra (el ácido clorhídrico es mucho más soluble que el dioxido de carbono).
Si se dispone de matraces con tubuladura lateral, el montaje es más rápido. Los tapones de A y B deben ajustar bien.
«C» es el recipiente (vaso, botella, tubo de ensayo) en el que se recoge el dióxido de carbono generado.
Los tubos que atraviesan los tapones son de vidrio y las conexiones de goma. El tubo de seguridad y el de llegada del gas al frasco lavador deben llegar hasta el fondo del matraz.

¿Qué aspecto, color y olor, tiene el gas generado?
a) Se enciende una vela o cerilla y sobre la llama se inclina un frasco lleno de dióxido de carbono (aparentemente el frasco está «vacío») como si se vertiera agua para apagarla. Aunque no se ve nada que caiga sobre la llama, ésta se apaga.
La forma de verter el dióxido de carbono, ¿indica que tiene una densidad mayor que la del aire?
b) Si el tubo de desprendimiento se sumerge en agua jabonosa o en líquido de hacer burbujas, las pompas que se forman, ¿ascienden o se caen?
c) Aunque el dióxido de carbono no se ve, por ser 1,5 veces más denso que el aire, puede trasvasarse como el agua: si se inclina un frasco lleno de dióxido de carbono sobre la boca de otro frasco vacío (en realidad lleno de aire), el gas invisible pasa a éste y el primero se llena de aire. Puede comprobarse inclinándolos sobre una llama y ver cuál de los dos la apaga.
d) Resulta espectacular verter este gas en un tubo o canal cuyo extremo inferior queda junto a una pequeña llama que se apaga.
e) Se llena un recipiente grande con dióxido de carbono (p. ej. un cristalizador o palangana pequeña) y se dejan caer en su interior pompas de jabón obtenidas soplando. Las pompas no llegan al fondo del recipiente, pero en el aire caen hasta el suelo.
f) Se vierte agua de cal en un tubo de ensayo y sumergiendo en ella el extremo del tubo de desprendimiento (es conveniente conectar un trozo de tubo de vidrio en el tubo de desprendimiento y no sumergir directamente el tubo de goma) se hace burbujear dióxido de carbono. La disolución se enturbia debido a la reacción:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

que es de neutralización entre una base ($Ca(OH)_2$) y el ácido carbónico (CO_2+H_2O) y origina la sal carbonato de calcio que es insoluble (químicamente es igual al mármol de partida).
Si se prosigue haciendo burbujear el gas a través del líquido turbio, vuelve a obtenerse una disolución clara. Esto es debido a la reacción:

$$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

por la que el carbonato de calcio insoluble, en exceso de dióxido de carbono, se convierte en bicarbonato cálcico (hidrogenocarbonato de calcio), que es soluble.
Si finalmente esta última disolución se hace hervir, mejor en un vaso que en un tubo de ensayo, vuelve a enturbiarse porque el bicarbonato cálcico se descompone según la reacción inversa a la anterior.
g) Se vierte agua de cal en un tubo de ensayo y con la ayuda de un tubo de vidrio se hace burbujear a través de ella el gas expelido en la respiración. ¿Se produce enturbiamiento? El oxígeno absorbido al respirar, ¿en qué se transforma?
h) Se vierte un poco de agua de cal (o de agua y unas gotas de disolución de hidróxido de sodio) en un tubo de ensayo y se añaden dos gotas de disolución de fenolftaleína. La disolución adquiere el color rojizo propio de las bases. A continuación se hace burbujear dióxido de carbono a través de la disolución y se vuelve incolora. ¿Puede justificarse teniendo en cuenta las reacciones que antes se han indicado?
Puede comprobarse que añadiendo un poco de ácido clorhídrico a una disolución básica coloreada por fenolftaleína, se produce pérdida de color. ¿Es un ácido el dióxido de carbono?
i) Se vierte un poco de disolución de hidróxido de sodio dentro de un tubo de ensayo y se añade dióxido de carbono, vertiéndolo de un frasco que lo contenga o dejándolo llegar por un tubo de desprendimiento, pero sin que burbujee a través de la disolución. Se tapa con el dedo y se agita: el tubo queda «pegado» al dedo. Se ha producido la reacción:

$$NaOH + CO_2 \longrightarrow NaHCO_3$$

que ha eliminado el gas del tubo y por tanto se ha hecho el vacío en su interior; la presión atmosférica «pega» el tubo al dedo.

22. Estudio de la velocidad de reacción entre el mármol y el salfumán

Utilizando el dispositivo de la experiencia anterior (fig. 12) pero haciendo que el tubo de desprendimiento esté conectado a una probeta o tubo graduado invertido sobre agua y lleno de agua como en la fig. 4, se pueden estudiar fácilmente cómo influyen la concentración del ácido (salfumán) y el grado de división del mármol en la velocidad de reacción. Ésta puede calcularse como la relación entre el volumen de gas producido y el tiempo que ha tardado en producirse.
El procedimiento consiste en realizar sucesivas experiencias en las que el ácido, siempre de la misma concentración (p. ej. salfumán mezclado con agua a partes iguales), se haga reaccionar con cantidades iguales o similares de mármol (o cáscara de huevo), primero de una sola pieza, luego troceado y finalmente pulverizado; en cada caso se cronometra el tiempo que se ha tardado en producir un cierto volumen de gas o el volumen de gas generado durante un tiempo preestablecido.
A continuación, colocando en el matraz en sucesivas experiencias mármol del mismo grado de división, se vierte ácido de distintas concentraciones: salfumán directamente de la botella y mezclas de salfumán/agua en proporciones 2/1, 1/1 y 1/2. En cada caso se mide la velocidad de reacción.
¿Cómo influye el grado de división de un reactivo en la velocidad de reacción?, y la concentración, ¿cómo influye?

OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN

Las reacciones de oxidación-reducción se definen actualmente como de intercambio de electrones: una sustancia se oxida si pierde electrones y se reduce si los gana. Originalmente la oxidación se entendía como el proceso de combinación con el oxígeno, mientras que reducción significaba la liberación de oxígeno o la combinación con hidrógeno, elemento que puede considerarse de propiedades químicas opuestas a las del oxígeno.

23. Las combustiones necesitan oxígeno

Todas las combustiones son oxidaciones rápidas con oxígeno. Encender un fuego de cualquier tipo es provocar una reacción de oxidación-reducción en la que la sustancia quemada se oxida y el oxígeno del aire se reduce.
Se encienden varias velas iguales y se tapan con recipientes de diferente volumen (p. ej. probetas, vasos de precipitados, botellas) invertidos sobre ellas y se miden los tiempos que tardan en apagarse. ¿Qué relación se encuentra entre el volumen del recipiente y el tiempo que la vela tarda en apagarse? (fig. 13).
Encerrarse en una habitación durante mucho tiempo con una estufa de gas encendida es peligroso. ¿Por qué?

24. ¿Una vela eleva el agua?

Se dispone de un plato con agua, una botella de boca ancha y una vela encendida. ¿Es posible hacer pasar el agua del plato al interior de la botella sin mover el plato?
Existe una solución muy sencilla: se fija la vela encendida en el centro del plato y se tapa con la botella invertida; el agua penetra en la botella y asciende a mayor o menor altura según la forma y volumen de la botella. Evidentemente la vela se apaga como en la experiencia anterior (fig. 14).
La reacción que tiene lugar puede representarse por la ecuación:

$$\underset{\text{(cera sólida)}}{C_{29}H_{60}} + \underset{\text{oxígeno (gas)}}{44O_2} \longrightarrow \underset{\text{dióxido de carbono (gas)}}{29CO_2} + \underset{\text{agua (líquida al enfriarse, inicialmente gas)}}{30H_2O}$$

en la que se comprueba que el volumen total de gas en el interior de la botella disminuye a medida que se produce la combustión (la proporción es 29 volúmenes producidos por cada 44 que desaparecen); así disminuye la presión interior y por tanto el agua exterior es absorbida y elevada.

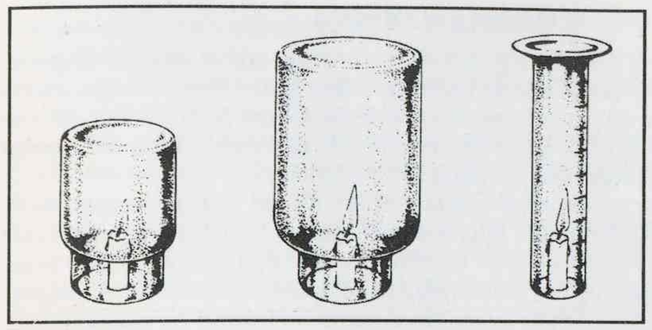


Fig. 13. Aproximadamente un 20% del aire es oxígeno, indispensable en la combustión de sustancias y en la respiración.
Cuanto mayor es un recipiente, más tiempo pueden durar los procesos que requieren oxígeno.

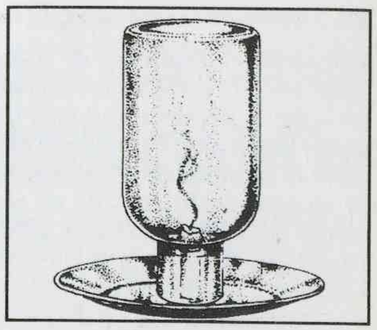


Fig. 14. En algunos textos, la ascensión del agua se justifica por el enfriamiento del gas del interior de la botella; sin embargo, no parece que este factor pueda influir demasiado si la botella con que se tapa la vela no se calienta previamente. Conociendo el volumen de la botella (u otro recipiente que se emplee) y midiendo el del agua que penetra en ella puede calcularse aproximadamente la proporción de oxígeno en el aire.

25. Oxidación de metales

Algunos metales dejados a la intemperie se oxidan, reaccionan con el oxígeno; otros se han de calentar fuertemente para que formen el óxido correspondiente.
Se coloca en un crisol una pequeña cantidad (3-5 g) de hierro o cobre en polvo y se pesa el conjunto. Se calienta con un soplete hasta que se ponga al rojo y cuando esté frío se pesa de nuevo. Se comprueba que la cantidad de sustancia ha aumentado; mientras se ignoró que el aumento de peso era debido a que el oxígeno atmosférico se combinaba con el metal, este hecho impidió admitir la «Ley de conservación de la masa o de Lavoisier».
Los metales pulidos tienen la propiedad de brillar, pero sólo los metales nobles conservan el brillo (si están limpios). ¿Por qué se pierde el brillo?
Si se frota un trozo de aluminio con papel de lija fino o con una lima de metales, adquiere un aspecto brillante que desaparece con el tiempo. Si se lava con agua y detergente no recupera el brillo, por tanto su pérdida no es debida a la suciedad. ¿Cómo se justifica?
Muchos metales reaccionan con el oxígeno atmosférico dando los correspondientes óxidos que carecen de brillo.
Teniendo en cuenta que el aluminio se oxida (por ejemplo, igual que el hierro) cabe preguntarse: ¿por qué los utensilios de aluminio son de uso tan general y no se deterioran, mientras que los de hierro sí? La razón se encuentra en las distintas propiedades de los óxidos de aluminio y de hierro. Así, mientras el primero forma una capa compacta impermeable e insoluble en el agua, el segundo es menos compacto o más esponjoso y permeable. El óxido de aluminio superficial impide la oxidación del resto del aluminio, mientras que el óxido de hierro no. Por lo tanto, limpiar un utensilio de aluminio hasta «sacarle brillo» equivale a eliminar la capa de óxido protector que volverá a formarse en poco tiempo; repitiendo este proceso se va reduciendo el grosor del aluminio.
Los objetos de hierro pueden protegerse de la corrosión impidiendo que el oxígeno del aire los alcance, lo que se consigue recubriéndolos de aceite o de barnices y pinturas.

26. Determinación del porcentaje de oxígeno en el aire

Para la realización de esta experiencia se requiere el dispositivo de la fig. 15: virutas o alambre fino de hierro acero y un poco de vinagre.
Se lavan y desengrasan las virutas de hierro, con acetona y/o detergente, y con ellas se hace un amasijo que se humedece con vinagre y se aprieta contra el fondo de una probeta a fin de que queden fijadas en él y al invertir la probeta no caigan.
Se invierte la probeta y se fija verticalmente con su boca sumergida dentro de un recipiente con agua.
Se anota el volumen de gas encerrado inicialmente en la probeta y los volúmenes sucesivos, primero cada varias horas y después cada día a la misma hora hasta que el volumen no disminuya más.

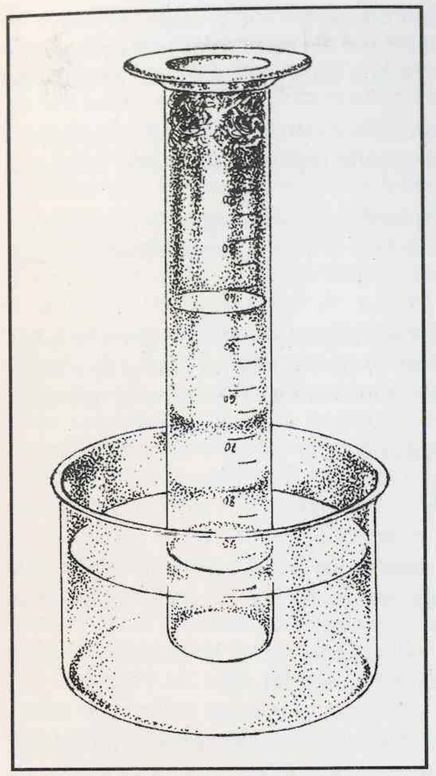


Fig. 15. Determinación del porcentaje de oxígeno en el aire. Sólo se consume un 20% aproximadamente del aire encerrado dentro de la probeta; el resto es un «gas inerte».

Debe procurarse que la temperatura no varíe mucho porque podría alterar el valor de las lecturas del volumen de gas encerrado.
¿Puede concluirse que todo el aire es «activo» en la oxidación?
Se comprueba que cuando el volumen inicial se ha reducido inicialmente en un 20%, ya no disminuye más, por lo que debe considerarse que sólo un 20 % del aire es el responsable de los procesos de oxidación, y por extensión de las combustiones.
La reacción que ha sufrido el hierro es la de formación de su óxido:

$$2Fe + 3/2O_2 \longrightarrow Fe_2O_3$$

y si se observa el hierro fijado en la probeta se aprecia que está oxidado.
Se puede comprobar que el gas residual de la probeta no permite las combustiones, tapándola y poniéndola derecha e introduciendo una cerilla encendida dentro de ella. La cerilla se apaga. Este gas residual es nitrógeno en su mayor parte.
La composición en volumen del aire seco es aproximadamente: 78,08% de nitrógeno; 20,94% de oxígeno; 0,93% de argón; 0,03% de dióxido de carbono y cantidades muy pequeñas de otro gases (0,002% de neón, 0,0005% de helio, 0,0001% de kriptón, 0,000008% de xenón y otros en menor proporción).

27. Estudio de las reacciones entre diversos ácidos y metales

Se propone investigar qué metales reaccionan con ácidos y en qué condiciones, concentrados o diluidos, en frío o en caliente.
El material necesario para esta experiencia es: tubos de ensayo y un mechero Bunsen o de alcohol. Los reactivos son trozos de los diversos metales disponibles: hierro, cobre, aluminio, plomo, etc.; y los ácidos clorhídrico, sulfúrico y nítrico concentrados y diluidos (p. ej. a volúmenes iguales de ácido concentrado y agua o el doble de agua). Al preparar un ácido diluido a partir de uno concentrado debe hacerse con precaución, vertiendo el ácido lentamente y agitando, sobre el agua.
El procedimiento consiste en colocar pequeños trozos de los diferentes metales en tubos de ensayo distintos y verter sobre ellos una pequeña cantidad de ácido que cubra el trozo de metal.

PRECAUCIÓN: El trozo de metal debe dejarse resbalar suavemente por la pared del tubo de ensayo y no dejarlo caer verticalmente porque lo puede romper. Se manejan ácidos concentrados que son muy corrosivos; se deben adoptar las máximas precauciones y en caso de salpicaduras se deben lavar enseguida con agua fría abundante. Finalmente debe recordarse que cuando se realizan reacciones o se calientan sustancias en tubos de ensayo, la boca de los mismos debe dirigirse hacia donde no haya nadie, ya que se pueden producir proyecciones del contenido y ocasionar lesiones o dañar los vestidos (fig. 2).

El proceso se realiza para los diferentes ácidos, primero de una concentración y luego de otra.
En todos los casos, se ensaya si se aprecia mayor rapidez de reacción al calentar los reactivos (colocando el tubo de ensayo inclinado sobre la llama de un mechero o sumergiéndolo en un baño de agua caliente).
En el «laboratorio doméstico» es fácil disponer de diversos metales y de algunos ácidos: salfumán (ácido clorhídrico), vinagre y zumo de limón, con los que se puede realizar un estudio similar al indicado.
Es probable que se disponga de algún objeto de plata o de oro (anillo, pendiente); si se tiene la certeza de que son auténticamente metales nobles pueden someterse a la acción del salfumán sin que les ocurra nada.
¿Qué metales son más reactivos? y ¿en qué condiciones?
Los resultados de esta experiencia parecen contradictorios porque algunos metales sufren el fenómeno denominado «pasivado», que consiste en que se recubren de un compuesto insoluble y compacto que impide la reacción del resto de la masa metálica, de forma análoga al fenómeno que sufre el aluminio en contacto con el aire.
El aluminio reacciona con el ácido clorhídrico según la reacción:

$$Al + 3HCl \longrightarrow AlCl_3 + \frac{3}{2}H_2$$

pero no reacciona con ácido nítrico concentrado porque se recubre de óxido protector (algo similar les ocurre a los metales cromo, níquel y estaño). Sin embargo reacciona con el citado ácido diluido según la ecuación:

$$2Al + 6HNO_3 \longrightarrow 2Al(NO_3)_3 + 3H_2$$

El plomo reacciona sólo superficialmente con ácido sulfúrico diluido porque se recubre de sulfato de plomo (II), insoluble, que impide la continuación de la reacción, pero reacciona totalmente con dicho ácido concentrado y caliente según las reacción:

$$Pb + 3H_2SO_4 \longrightarrow Pb(HSO_4)_2 + SO_2 + 2H_2O$$

El cobre no reacciona con ácido clorhídrico ni con ácido sulfúrico diluido pero sí con ácido sulfúrico concentrado y caliente según la ecuación:

$$Cu + 2H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

y también con ácido nítrico, dando productos diferentes según que este ácido esté diluido o concentrado:

$$3Cu + \underset{\text{(diluido)}}{8HNO_3} \longrightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 4H_2O + 2NO$$

$$Cu + \underset{\text{(concentrado)}}{4HNO_3} \longrightarrow Cu(NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2$$

Resumiendo, puede decirse que si el ácido clorhídrico reacciona con los metales es porque el hidrógeno que contiene se reduce a elemento hidrógeno oxidando a los metales. El ácido sulfúrico diluido reacciona con los metales de forma similar al clorhídrico, es decir, a través de su hidrógeno, pero concentrado y caliente actúa oxidando a los metales, incluso a los poco reactivos como el cobre, y reduciéndose a dióxido de azufre (SO_2).
Finalmente, con el ácido nítrico muy diluido puede suceder que sea el hidrógeno quien se reduzca oxidando al metal, pero como norma, este ácido es oxidante y reacciona con los metales reduciéndose a distintas sustancias (según su concentración, la temperatura y el metal) como: NO_2, NO, N_2O, N_2 o NH_4^+.
La mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico se denomina «agua regia» porque «disuelve» (reacciona) a los metales nobles oro y platino.

28. Estudio de las reacciones entre metales y sales metálicas

En esta experiencia se propone la realización de una investigación complementaria de la anterior a fin de establecer qué metales son más reactivos, es decir, se oxidan más fácilmente, desplazando y reduciendo, a otros de sus compuestos.
En los textos de Química la reactividad de los diferentes metales queda fijada por el valor de una propiedad característica: su potencial de reducción frente al hidrógeno que se toma como referencia. Los metales que son más reductores (reativos) que el hidrógeno desplazan a éste de los ácidos, mientras que los menos reactivos (cobre y metales nobles) no lo desplazan.
El material necesario para la realización de esta experiencia es: tubos de ensayo y una probeta o pipeta pequeñas; los reactivos son: trozos de diversos metales (láminas, alambres o limaduras) y disoluciones de igual concentración (p.e. 0,1 M ó 0,01 M) de sales de los anteriores metales (nitrato de plata, nitrato de cobre (II), sulfato de hierro (II), nitrato de plomo (II), nitrato de magnesio, etc.).
Los trozos de metal que se empleen deben estar limpios de grasa y de óxido, lijando incluso su superficie, a fin de poder observar cuanto antes si se produce alguna alteración (reacción). Una pérdida de brillo o cambio de color de la superficie del metal indica que se produce alguna reacción; estos cambios se observan mejor con una lupa.
El procedimiento consiste en colocar pequeños trozos de los diferentes metales en tubos de ensayo distintos y verter sobre ellos un poco (p. ej. 3-5 cm^3) de disolución de una sal metálica, suficiente para cubrir el trozo de metal.
Los tubos de ensayo se dejan en reposo y se observa, cada varios minutos, el aspecto de la superficie metálica y de la disolución, tomando nota de los cambios observados a fin de encontrarles una justificación.
Repitiendo el proceso para cada unas de las sales disponibles se ensaya si hay o no reacción entre éstas y cada uno de los metales. Evidentemente puede descartarse el ensayo entre un metal y su sal.
Los metales y las sales metálicas empleadas, así como los resultados de los diversos ensayos realizados, se pueden agrupar en una tabla como la siguiente, indicando SÍ o NO en cada casilla según que se haya apreciado o no reacción.

	$AgNO_3$	$Cu(NO_3)_2$	$Pb(NO_3)_2$	$FeSO_4$	$Zn(NO_3)_2$	$Mg(NO_3)_2$
Cu		———				
Pb			———			
Fe				———		
Zn					———	
Otros						

¿Puede establecerse un «orden de reactividad» entre los metales ensayados? ¿Se aprecia alguna relación con los resultados de la experiencia anterior?
En esta experiencia, si un metal reacciona es porque se oxida (cede electrones) y el metal combinado (ión metálico) en la sal se reduce (capta electrones). La ecuación general es:

(metal más reactivo) + (ión del metal menos reactivo) ⟶ (ión del metal más reactivo) + (metal menos reactivo)

Así, por ejemplo, si un trozo de cinc se sumerge en una disolución de nitrato de cobre (II), con el tiempo se recubre de una capa de cobre, con lo que sufre un cambio de color en su superficie y la disolución se decolora. La ecuación de la reacción es:

$$Zn + Cu(NO_3)_2 \longrightarrow Zn(NO_3)_2 + Cu$$

Como que la reacción es la misma con cualquier otra sal de cobre (II), ya que el ión nitrato, NO_3^-, no sufre ningún cambio, sólo es el «acompañante» del ión «protagonista» de la reacción, y además estos procesos se realizan en disolución donde las especies químicas que existen son los iones independientes unos de otros. La anterior ecuación se representa de una forma más sencilla como:

$$\underset{\text{(metal más reactivo)}}{Zn} + Cu^{2+} \longrightarrow Zn^{2+} + \underset{\text{(metal menos reactivo)}}{Cu}$$

Si la experiencia se ha realizado con los metales y sales metálicas indicadas en la tabla anterior, las casillas señaladas con un guión indican las experiencias que no es necesario realizar, mientras que las situadas a la izquierda y debajo de las anteriores corresponden a ensayos positivos, es decir, aquellos en los que se aprecia reacción. Las casillas restantes, situadas a la derecha y encima de las primeras citadas, corresponden a ensayos negativos.

OBTENCIÓN DE OXÍGENO A PARTIR DE SUS COMPUESTOS

Cuando el elemento oxígeno reacciona con alguna sustancia, la oxida y él se reduce. Liberar el oxígeno de sus compuestos equivale a realizar el proceso inverso, es decir, oxidar el oxígeno combinado (liberarlo de los electrones que posee en exceso) a costa de que algún otro elemento se reduzca.
En la electrólisis del agua (lámina C/4) se obtiene oxígeno en el polo positivo o ánodo mientras que en el negativo o cátodo se desprende hidrógeno. Por este procedimiento se pueden descomponer muchas sustancias; el elemento que se forma en el ánodo sufre una oxidación y el que se genera en el cátodo una reducción. Con ayuda de catalizadores y/o calentando muchos compuestos también se desprende el oxígeno que contienen: peróxido de hidrógeno (H_2O_2), permanganato de potasio ($KMnO_4$), clorato de sodio ($NaClO_3$) o de potasio ($KClO_3$). El oxígeno producido puede recogerse sobre agua a fin de estudiar algunas de sus características.

29. Descomposición del agua oxigenada

Con un dispositivo como el de la fig. 16 puede recogerse oxígeno, sobre agua y medirse el volumen producido en la descomposición del agua oxigenada.
Puede prescindirse del tubo de seguridad, que sólo se utiliza para adicionar agua y agua oxigenada dentro del matraz, y el tubo graduado se sustituye por tubos de ensayo u otros recipientes, llenos de agua e invertidos, si sólo se pretende recoger el oxígeno sin medirlo.
En primer lugar se propone investigar qué catalizador es más adecuado para descomponer el agua oxigenada. Para ello las sustancias requeridas son agua oxigenada (p. ej. 20 volúmenes) y diversos óxidos metálicos: CuO, NiO, MnO_2, etc.
Se coloca en el matraz una pequeña cantidad de óxido metálico, entre 0,5 g y 1,0 g, se cubre con 25-30 cm^3 de agua y se añaden 1-2 cm^3 de agua oxigenada, tapando el matraz inmediatamente. El oxígeno se recoge en el tubo graduado (puede ser una bureta) por desplazamiento del agua que contiene.
Realizando esta experiencia con los diferentes óxidos, teniendo presente utilizar siempre las mismas cantidades de óxido, de agua y de agua oxigenada, y cronometrando el tiempo que tarda en producirse un determinado volumen, o el volumen que se produce en un tiempo preestablecido, se puede determinar cuál es el mejor catalizador.
La reacción que tiene lugar es la indicada por la ecuación:

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$$

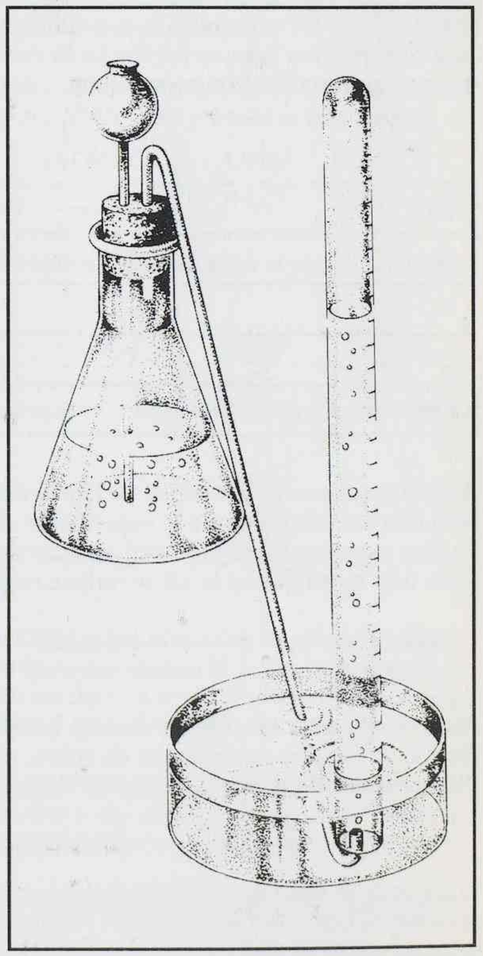


Fig. 16. Dispositivo para recoger oxígeno sobre agua.

en la que se evidencia que el oxígeno del agua oxigenada, por una parte se oxida a elemento libre y por la otra se reduce formando agua.
Se llega a la conclusión de que el dióxido de manganeso es el mejor catalizador para la descomposición del agua oxigenada. Por tanto, si se desea obtener oxígeno de forma cómoda y segura el procedimiento a seguir es: se coloca una pequeña cantidad de dióxido de manganeso en el fondo del matraz y se cubre con agua. Se tapa y a través del tubo de seguridad se va vertiendo agua oxigenada, regulando su adición según la cantidad de oxígeno que quiera obtenerse.

30. Descomposición del clorato de sodio

Se coloca un poco de clorato de sodio ($NaClO_3$) o de potasio ($KClO_3$) en un tubo de ensayo y se calienta fuertemente con un mechero Bunsen, o simultáneamente con dos de alcohol, con un dispositivo como el indicado en la fig. 17.
La reacción que tiene lugar corresponde a la ecuación:

$$2NaClO_3 \longrightarrow 2NaCl + 3O_2$$

Si el oxígeno producido va a utilizarse al cabo de poco tiempo puede guardarse en el frasco invertido sobre agua, si no es mejor tapar el frasco y extraerlo del agua.

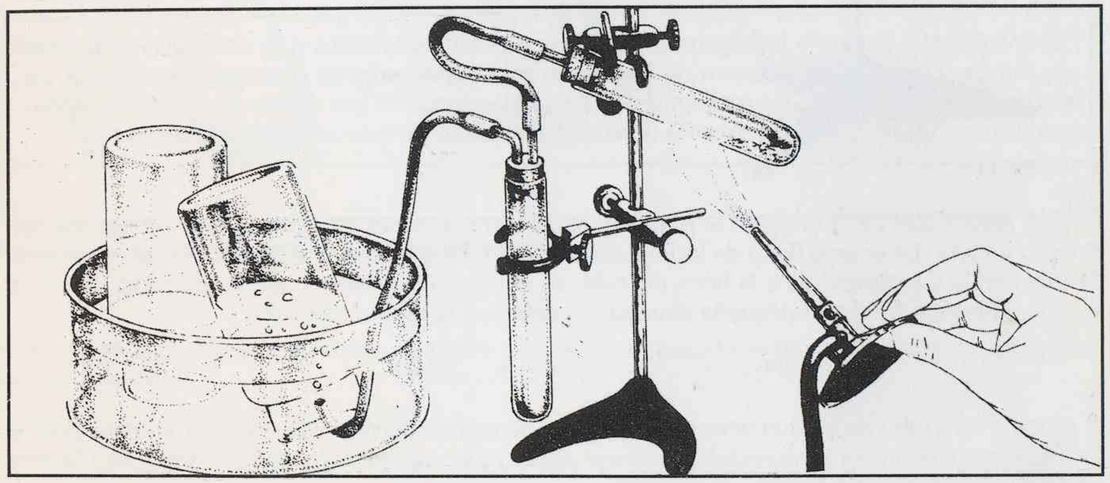


Fig. 17. Descomposición térmica del clorato de sodio o de potasio.
Se empieza a calentar la sustancia por la parte superior de la misma, evitando acercar demasiado la llama al tapón puesto que podría quemarse.
A fin de recoger el oxígeno producido, inicialmente se disponen varios frascos llenos de agua e invertidos dentro de un recipiente (p. ej. cristalizador) que contenga agua.

El dióxido de manganeso (MnO_2), catalizador de la descomposición del agua oxigenada, facilita la descomposición del clorato de potasio. Si éste se mezcla con dióxido de manganeso en proporción aproximada de 5 partes de clorato por una de dióxido de manganeso y la mezcla se introduce en el dispositivo de la fig. 17, calentando suavemente se producirá desprendimiento de oxígeno.

PRECAUCIÓN: Si la sustancia que se descompone está en contacto con impurezas combustibles (papel, corcho, etc.), el oxígeno caliente que se genera puede reaccionar violentamente con ellas originando explosiones; por tanto se deben utilizar sustancias puras y en caso de duda ensayar con muy poca cantidad.
Si se prescinde del tubo o recipiente de seguridad debe destaparse el tubo donde se realiza la reacción antes de que se enfríe a fin de evitar que absorba agua y se rompa por enfriamieno brusco.
El clorato de potasio y el dióxido de manganeso deben mezclarse bien pero no machacar la mezcla puesto que puede estallar si se hace sobre un papel.

Si se dispone de varios frascos llenos de gas oxígeno, pueden realizarse diversos ensayos similares a los descritos para los gases obtenidos en experiencias anteriores (17, 18 y 21), a fin de determinar algunas de sus propiedades físicas y químicas (densidad, solubilidad en agua, etc.).

HIDRÓGENO: OBTENCIÓN Y PROPIEDADES

El hidrógeno combinado en la mayoría de las sustancias está oxidado, por tanto liberarlo de las mismas equivale a reducirlo.

31. Obtención de hidrógeno a partir de cinc y ácido clorhídrico

Se requiere un dispositivo como el de la fig. 16, cinc y ácido clorhídrico obtenido mezclando a partes iguales agua y ácido clorhídrico concentrado.
Se introducen algunos trozos de cinc dentro del matraz de reacción, se tapa y se vierte ácido clorhídrico a través del tubo de seguridad hasta que se cubra el extremo inferior de éste a fin de evitar que el gas generado salga por él.
El gas generado se recoge por desplazamiento del agua del interior de los recipientes (tubos de ensayo, erlenmeyers o botellas) destinados a tal fin. El primer recipiente que se llene puede desecharse ya que contendrá unas gran proporción de aire.

PRECAUCIÓN: La mezcla hidrógeno-aire puede producir explosiones si se calienta o le alcanza una chispa. Un pequeño volumen de hidrógeno sólo puede originar una ligera detonación sin ningún peligro. Por tanto, los recipientes en los que se recoja el gas deben ser pequeños, como máximo de 200 cm^3, y la experiencia debe realizarse lejos de cualquier llama innecesaria.

La gran reactividad del hidrógeno se pone de manifiesto realizando el siguiente ensayo: se tapa con el dedo un tubo de ensayo lleno de hidrógeno e invertido sobre agua y se pone derecho; se enciende una cerilla y se aproxima a la boca del tubo en el mismo instante en que se aparta el dedo que lo tapa. El resultado es una pequeña detonación debido a la rápida reacción:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

Si se toma otro tubo de ensayo lleno de hidrógeno, se coloca derecho y se destapa unos segundos, al aproximarle una cerilla encendida no ocurre nada, ¿qué sugiere este resultado respecto a la densidad de hidrógeno en relación a la del aire?
Si se genera hidrógeno sumergiendo el tubo de desprendimiento en agua jabonsa, o mejor en líquido de hacer burbujas, se forman burbujas que ascienden hacia el techo.

32. El hidrógeno es reductor

El oxígeno atmosférico reacciona con los metales dando los correspondientes óxidos (experiencia n.° 25). Éstos pueden reducirse por reacción con el hidrógeno. Por ejemplo, el óxido de cobre se reduce según la ecuación:

$$CuO + H_2 \longrightarrow Cu + H_2O$$

La reacción se realiza dentro de un tubo que contiene el óxido de cobre (u otro óxido metálico), dispuesto horizontalmente y conectado a un matraz en el que se genera hidrógeno (fig. 18).
Se genera hidrógeno vertiendo ácido clorhídrico sobre cinc y se hace pasar por el tubo, abierto por los dos extremos y fijado horizontalmente, que se calienta suavemente en el punto donde está el óxido de cobre negro.
Cuando se observe que la reacción se ha iniciado, no es necesario seguir calentando porque el proceso es exotérmico y prosigue por sí mismo.
Se observa que el color negro del óxido de cobre es sustituido por el rojizo del metal cobre. Cuando parezca que la reacción ha terminado, se prosigue pasando hidrógeno hasta que el metal formado se enfríe, ya que el aire en contacto con el cobre caliente volvería a generar el óxido.

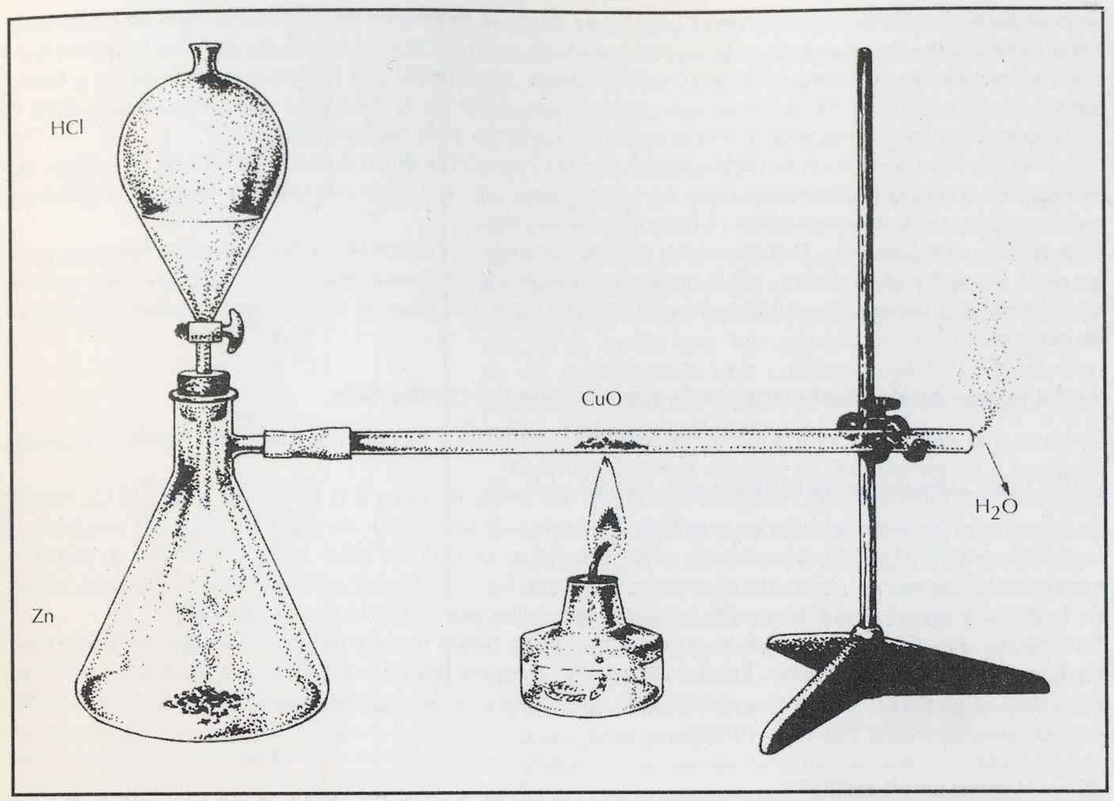


Fig. 18. Reducción de óxidos metálicos por acción del hidrógeno.

Si se calienta una mezcla de óxido de cobre y carbón pulverizado se produce una reacción análoga a la anterior:

$$2CuO + C \longrightarrow 2Cu + CO_2$$

El cobre oxigenado se reduce a metal y el carbono se oxida combinándose con el oxígeno de óxido metálico. El carbono del carbón actúa como reductor, igual que antes el hidrógeno.

EL FUEGO Y LAS LLAMAS

El fuego puede ser considerado como uno de los mayores descubrimientos de la Humanidad; la capacidad de crearlo y controlarlo cambió radicalmente la vida del hombre de hace varias decenas de miles de años.
El fuego, junto con el aire, el agua y la tierra, fue considerado durante muchos siglos como uno de los cuatro elementos constituyentes de toda la materia.
Desde el punto de vista químico, el fuego es una reacción de oxidación-reducción, exotérmica, entre un material combustible que se oxida y el oxígeno que se reduce. Para que un material sea considerado combustible, es decir, capaz de arder, no es suficiente que pueda oxidarse reaccionando con el oxígeno, sino que debe hacerlo rápidamente.
Las llamas son gases incandescentes o en combustión y sólo pueden producirse al quemar una sustancia que desprenda gases combustibles.

33. Las partes de una llama

Si se enciende una cerilla, o mejor una vela o un mechero Bunsen o un encendedor de gas, se puede observar una llama y distinguir zonas de diferente coloración. Esta coloración puede alterarse rápidamente en un mechero Bunsen variando la proporción aire/gas combustible.

Se perciben claramente cuatro zonas: una zona externa incolora «A», que es la más caliente; una zona intermedia «B», que es la más luminosa debido a un exceso de combustible y en la que se inicia la combustión; una zona central «C» más oscura, constituida por los gases combustibles y finalmente, la parte inferior de la llama «D», que es una parte de la envoltura «A» pero menos clara y en la que tiene lugar la combustión de óxido de carbono y de metano (fig. 19).
Puede comprobarse que en la zona central «C» no hay combustión colocando en ella la cabeza de una cerilla apagada y observando que no se enciende, salvo al cabo de un rato, pero empezando a arder por el palo y propagándose el fuego hacia la cabeza.
Si se realiza con una vela, la llama debe ser muy grande y no oscilar, ya que al oscilar las otras partes de la llama tocan la cabeza de la cerilla y la encienden instantáneamente. La experiencia es más sencilla de realizar con resultado satisfactorio con una llama grande, de mechero Bunsen o de fogón de cocina.

34. La formación de llamas requiere la vaporización del combustible

Se toma una pequeña cantidad de cera con una cucharilla y se calienta hasta que funda, y cuando empieza a emitir vapores se inflama espontáneamente.
Sujetando un tubo de vidrio delgado (5 mm de diámetro) de unos 8 o 10 cm de longitud inclinado de forma que su extremo inferior quede en el centro de una llama de una vela o de un mechero o fogón de cocina (fig. 20), al cabo de unos segundos, cuando el tubo se ha calentado se pueden encender los gases que salen por el extremo superior. Ensáyese colocando el tubo en distintas zonas de la llama y procédase a encender los gases que salen por el extremo. ¿Es posible?
Este hecho se justifica porque en la zona central de la llama no hay oxígeno para producir la combustión de los gases presentes. Éstos pueden salir a través del tubo y arder cuando entran en contacto con el oxígeno. Además se comprueba que, en el caso de la cera, antes de producirse la combustión hay vaporización de la misma.

35. ¿«Humo» combustible?

Se enciende una vela y se deja arder durante unos minutos. Se apaga soplando y se observa que de la mecha se eleva una columna de «humo blanco». Aproximando una cerilla encendida a este humo, y a una distancia de 3 o 4 cm de la mecha, se observa cómo la llama se propaga hasta encender la mecha (fig. 21).

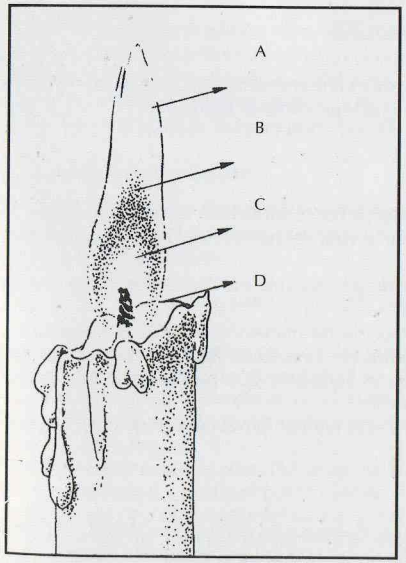


Fig. 19. Partes de una llama.

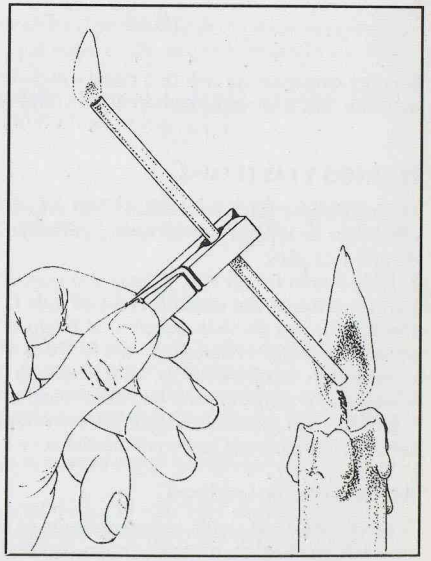


Fig. 20. Las llamas son gases incandescentes.

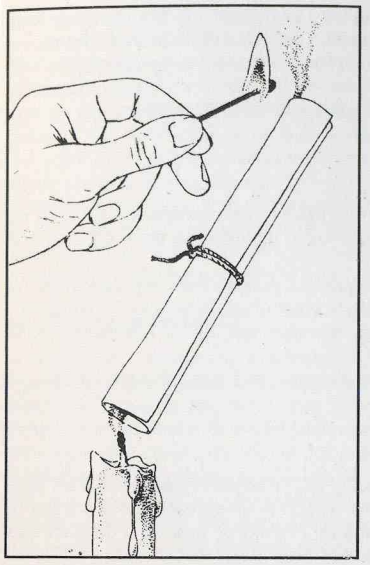


Fig. 21. El fuego se propaga por el vapor de la cera (gas combustible) hasta prender en la mecha. La cera de la vela funde, asciende por capilaridad a través de la mecha, se vaporiza y arde.

El humo es un producto de la combustión, por tanto no es combustible, por lo que esta sustancia que se desprende de la mecha no puede ser humo. Relacionando esta experiencia con la anterior se comprende que esta sustancia es vapor de la cera de la vela y por tanto es lógico que se encienda.
La vela puede encenderse a través de este vapor desde distancias considerables si se canaliza mediante un tubo. Se arrolla una hoja de papel en forma de cilindro de diámetro aproximado al de la vela y cuando ésta se apaga soplando, se coloca rápidamente alrededor de la mecha de forma que los vapores se canalicen a través de él; apoximando una cerilla encendida al extremo superior del tubo de papel, la llama se propaga rápidamente hasta encender la vela.

36. Para iniciar una combustión se necesita calor

Si se piensa en las operaciones que se realizan para encender algún material combustible, se comprueba que en todos los casos se realiza alguna operación o proceso que suministra calor y que inicia la combustión.
Si el combustible se enfría suficientemente, el fuego se apaga: se arrolla un hilo de cobre grueso en forma de espiral y se coloca alrededor de la llama de una vela. La vela se apaga porque el cobre es muy buen conductor del calor y «extrae» de la llama no sólo el calor sobrante del proceso exotérmico sino incluso el necesario para proseguir la combustión. Evidentemente la vela no se apaga por falta de oxígeno, ya que la espiral de cobre permite la libre circulación del aire.

37. Oxígeno: reactivo esencial en las combustiones

Las experiencias 23 y 24 ponen de manifiesto que cuando el oxígeno se acaba, la combustión no prosigue. A continuación se propone observar el efecto del oxígeno sobre la combustión de una vela y/o de una cerilla o astilla.
Se dispone de una vela encendida dentro de un recipiente transparente y alto (p. ej. un bote de mermelada) y se tapa. Se observa el aspecto de la llama mientras la vela arde y se mide el tiempo que tarda en apagarse.
Se airea el recipiente anterior para eliminar los productos de la combustión y se vierte en él un poco de agua oxigenada del 20-30% hasta una altura de 1-2 cm. Se coloca en su interior una vela encendida y sobre el agua oxigenada se añade un poco de dióxido de manganeso (experiencia 29) y se tapa. Se observa el aspecto de la llama y se mide el tiempo que tarda en apagarse. ¿Qué diferencias se observan respecto a la experiencia anterior?

38. Productos de combustión

Cuando se coloca una olla al fuego en un fogón de gas, al cabo de pocos segundos sus paredes externas aparecen húmedas. ¿De dónde ha salido el agua?
Se coloca un plato o una cuchara en el centro de la llama de una vela o cerilla encendida, se observa qué ocurre y se separa de la llama; en primer lugar se observa que el objeto ennegrece y al observarlo después atentamente se ve húmedo.
El ennegrecimiento es debido al carbono que no se ha quemado al enfriarse bruscamente (cuando alcanza la zona más caliente de la llama forma dióxido de carbono).
Si se ve agua en un objeto que estando seco se ha introducido en una llama, debe concluirse que el agua es un producto de la combustión.
Se puede comprobar que en la combustión se produce dióxido de carbono, colocando una vela encendida en el centro de un plato que contenga agua de cal (exp. 21) hasta una altura de 2 cm y tapándola con un vaso alto. Cuando la vela se apaga se deja en reposo y se observa la superficie del líquido, que habrá ascendido al consumirse el oxígeno del interior. ¿Se enturbia?

Tal como se ha indicado en la experiencia 21, el enturbiamiento es debido a la formación de carbonato de calcio insoluble, confirmándose que en la combustión se forma dióxido de carbono.
Una sustancia al quemar reacciona con oxígeno y se forman los óxidos de sus componentes. Los combustibles orgánicos (gasolina, cera, gas butano, etc.) contienen hidrógeno y carbono, que en la combustión se transforman en los óxidos correspondientes, agua y dióxido de carbono.

QUÍMICA Y ELECTRICIDAD

La corriente eléctrica por un cable metálico es debida al movimiento de electrones a lo largo de dicho cable. Las reacciones de oxidación-reducción son debidas al movimiento de electrones que van del reductor, que se oxida, al oxidante, que se reduce.
El hecho de que el oxidante y el reductor de una reacción química puedan estar separados por un dispositivo eléctrico es la base de las pilas (lámina G/3) y de la electrólisis (lámina G/4). En las primeras la reacción química provoca la corriente eléctrica, mientras que en la electrólisis es la corriente eléctrica la que provoca la reacción.
Electroquímica es la parte de la Química que se ocupa de las reacciones que producen o utilizan energía eléctrica.

39. Pila Daniell

Para construir una pila Daniell típica, esquematizada en la fig. 22, se requieren dos vasos, un tubo flexible o en forma de U, un trozo de lámina de cinc y otro de cobre, un galvanómetro o tester (o un «detector de corriente», lámina G/3), disolución saturada de cloruro de potasio y disoluciones de sulfato de cinc ($ZnSO_4$) y de sulfato de cobre ($CuSO_4$), ambas preparadas disolviendo 15 g de sal de 100 cm^3 de agua en sendos vasos (fig. 22).
En el vaso que contiene sulfato de cinc se introduce la lámina de cinc y en el que contiene sulfato de cobre se introduce la lámina de cobre. El tubo en forma de U se llena totalmente de disolución de cloruro de potasio, se tapan sus extremos con trozos de algodón de forma que éstos queden

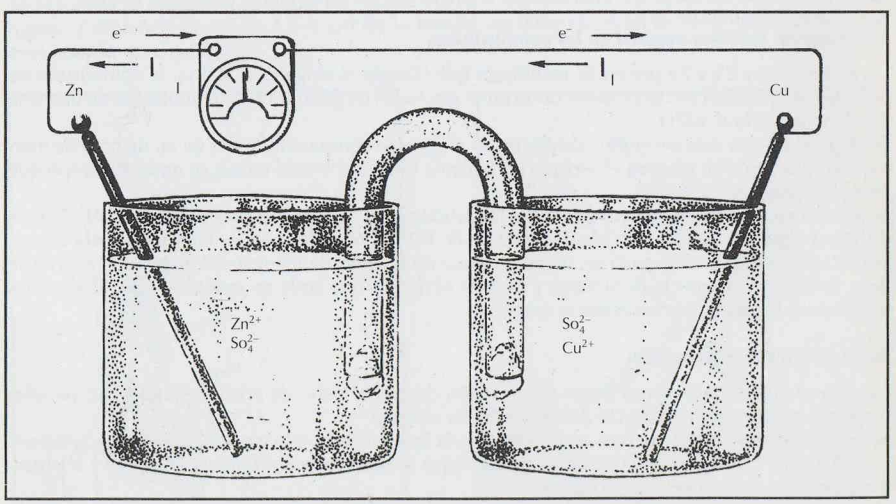


Fig. 22. Pila Daniell. Los electrones circulan por el circuito externo desde el cinc hacia el cobre. El «puente salino», tubo en forma de U, cierra el circuito eléctrico; a través de él circulan iones.
La lámina de cinc es el polo negativo de la pila y la de cobre el positivo. En el vaso (semipila) de la izquierda tiene lugar la «semirreacción»:

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

mientras que en el de la derecha:

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$

La reacción global es:

$$Cu^2 + Zn \longrightarrow Cu + Zn^2$$

impregnados de dicha disolución y en el tubo no quede aire, y se invierte sobre los vasos que contienen las disoluciones de sulfato de cinc y de sulfato de cobre.
Con el galvanómetro o tester se unen las láminas de cinc y de cobre. ¿Hay paso de corriente? ¿en qué sentido?
Con un galvanómetro o tester puede comprobarse que entre dos trozos de metales distintos sumergidos en una disolución de sal o de ácido (salfumán, vinagre) se establece una diferencia de potencial y por tanto se genera una corriente eléctrica si se ponen en contacto.
Puede construirse una pila con un limón (o con una patata): se golpea el limón a fin de romper sus membranas interiores, pero sin romper la piel exterior y se le clavan dos láminas (o alambres) de metales diferentes (p. ej. cinc y cobre) de forma que queden próximas pero no se toquen. Con un tester se puede medir «el voltaje» de esta pila o bien si se tocan sus polos (láminas clavadas), con los cables de un auricular o altavoz pequeño se oirán ruidos débiles que delatan el paso de corriente eléctrica.

40. Pila seca de Leclanché

La «pila seca», ideada originalmente por G. Leclanché (1839-1882), es la más utilizada actualmente para todo tipo de usos. La denominación «seca» no es debida a que no contenga ningún líquido (electrólito), que es necesario para permitir el flujo de iones, como el puente salino en la pila Daniell, sino al hecho de poder utilizarse con todos sus componentes encerrados en un recipiente hermético, que constituye uno de los polos.
***a)* Estudio de una pila seca.** ¿Cuál es el polo positivo de una pila seca? ¿y el negativo? Si una pila está muy desgastada puede deformarse. ¿Por qué? Se extrae la tapa de una pila gastada o se corta longitudinalmente en dos semicilindros y se observa su interior (fig. 23).
El depósito de cinc está corroído debido a que además de ser el recipiente de la pila, es uno de los reactivos del proceso de oxidación-reducción que tiene lugar en ella. Recordando que los metales cuando reaccionan se oxidan (dan electrones), el proceso que sufre el cinc es:

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

Por tanto, del envase de la pila salen electrones que a través de un circuito externo (bombilla, motor) van al polo positivo en el que tiene lugar la reacción:

$$2MnO_2 + 8NH_4^+ + 2e^- \longrightarrow 2Mn^{3+} + 4H_2O + 8NH_3$$

***b)* Construcción (o regeneración) de una pila seca.** Del estudio anterior se deduce el material necesario para construir una pila seca. Desmontando con precaución una pila gastada se pueden obtener enteros los dos componentes que constituyen los electrodos: el depósito de cinc y la barra de carbón (si la pila está muy gastada, el envase de cinc resultará inservible).
El procedimiento consiste en hacer una pasta espesa mezclando dióxido de manganeso (10 g), carbón en polvo (4 g) y un poco de disolución de cloruro de amonio. A continuación se envuelve interiormente con papel absorbente el envase de cinc, se humedece con disolución de cloruro de amonio y se rellena con la pasta preparada, sujetando la barra de carbón en el centro.
La pila está lista para funcionar.
Pueden ensayarse otros materiales porosos y absorbentes (tiza triturada, papel, etc.) en lugar de carbón. La disolución de cloruro de amonio puede obtenerse mezclando, en un lugar ventilado, un poco de salfumán y amoníaco. En lugar de dióxido de manganeso ensáyese con un poco de agua oxigenada.

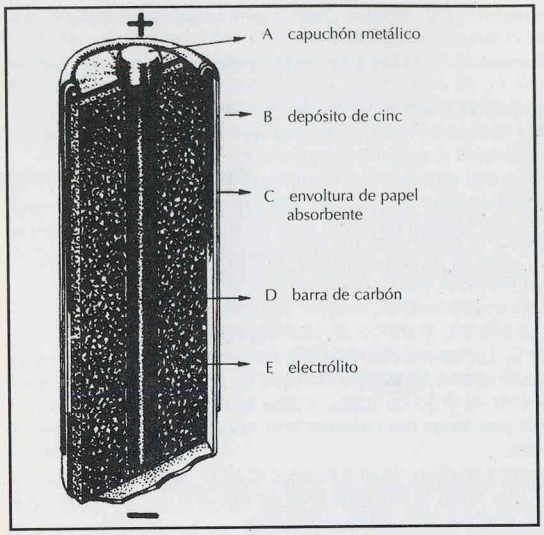


Fig. 23. En la pila Leclanché, la barra central de carbón (recubierta por un capuchón metálico para facilitar un mejor contacto) es el polo positivo y el depósito de cinc es el negativo. Entre ambos hay una pasta espesa formada por carbón en polvo, disolución de cloruro de amonio (NH_4Cl) y dióxido de manganeso (MnO_2).

LA QUÍMICA DEL CARBONO O QUÍMICA ORGÁNICA

Los compuestos del carbono, salvo óxidos y carbonatos, presentan unas propiedades características que los diferencian claramente de los compuestos de los otros elementos que se incluyen dentro de la denominada «Química inorgánica». La mayoría de los «compuestos orgánicos» (denominación derivada de la creencia inicial de que sólo podían ser producidos en la Naturaleza por seres vivos) son poco solubles en agua y más solubles en otros disolventes (alcohol, acetona, éter, cloroformo, etcétera); son menos estables que la mayoría de compuestos inorgánicos; las reacciones en las que intervienen suelen ser bastante más lentas que las que tienen lugar entre compuestos inorgánicos y muchos de ellos son fácilmente inflamables. Esta última propiedad debe tenerse en cuenta cuando se manipulen, haciéndolo siempre lejos de cualquier llama.

41. Obtención de alcohol por fermentación

Mediante una técnica de purificación de sustancias, la destilación, se puede obtener «alcohol», etanol, del vino o de otra bebida alcohólica (lámina J/4).
Ahora se pueden plantear las cuestiones: ¿cómo se forma el alcohol del vino? y, en el proceso de formación del alcohol, ¿se producen otras sustancias?
Evidentemente no se está en condiciones de realizar un estudio exhaustivo de la «química del vino», pero sí que resulta sencillo efectuar algunos ensayos o experiencias que pueden ayudar a comprender el proceso.
Para estudiar la fermentación se requiere mosto de uva o de otra fruta, un poco de levadura fresca de cerveza o de panadería y un dispositivo que permita detectar y recoger los gases que puedan formarse en el proceso (fig. 4). Teniendo en cuenta que el dióxido de carbono es parcialmente soluble en agua, es mejor utilizar disolución saturada de bicarbonato sódico en lugar de agua para llenar la probeta dentro de la que se recoge el gas). Si sólo se pretende detectar la formación de gases sin medir su cantidad, puede emplearse cualquier frasco que pueda cerrarse herméticamente fijando un globo o bolsa de plástico en su boca; si la bolsa se hincha será indicativo de que se produce gas.
Pensando en los factores que pueden afectar a una reacción como es la fermentación, los ensayos a realizar son varios: determinar si se produce algún gas e investigar cuál puede ser; estudiar si todos los mostos sufren fermentación y si ésta requiere la adición de levadura al mosto o puede producirse sin ella; estudiar el efecto de la temperatura en la velocidad de la fermentación y finalmente hervir el mosto antes de intentar su fermentación.
Se mezcla mosto de uva y un poco de levadura de cerveza en el matraz y se observa si al cabo de

un tiempo hay o no desprendimiento de gas. El gas que inicialmente llega a la probeta es el aire que hay en el matraz de reacción; por tanto, se espera a que se haya desprendido un volumen similar al de aquél y se realizan algunos ensayos; por ejemplo, con el tubo de desprendimiento se llena de gas un tubo de ensayo (previamente lleno de agua e invertido) y se prueba si el gas es combustible (p. ej. hidrógeno) o facilita la combustión (p. ej. oxígeno) acercando una astilla o cerilla encendida a la boca del mismo. Si apaga el fuego puede ser nitrógeno, que se ha obtenido en la experiencia 26, o bien dióxido de carbono, obtenido en la experiencia 21.
Para distinguir si es uno de estos dos últimos gases citados, puede hacerse burbujear el gas generado a través de agua de cal (experiencia 21).
A continuación puede estudiarse, simultáneamente si se dispone de suficiente material para montar varios dispositivos como en la fig. 4, si se produce fermentación y con qué rapidez, medida por el volumen de gas generado, vertiendo cantidades iguales de mosto en distintos matraces, dejando en uno mosto solo, en otro mosto hervido, en otro mosto hervido con un poco de levadura y en otros mosto sin hervir con un poco de levadura.
La diferente rapidez de fermentación, según la temperatura, puede determinarse cualitativamente vertiendo cantidades iguales de mosto y levadura en dos frascos distintos tapándolos con un globo o bolsa de plástico, bien ajustado a la boca del recipiente para evitar fugas de gas, y dejando uno en lugar cálido y otro dentro de la nevera. Cada varias horas se comparan los volúmenes del globo o bolsa que se va hinchando.
El zumo obtenido al exprimir uvas, el mosto, tiene sabor dulce debido a un azúcar, glucosa, que también está presente en muchas frutas y en la miel. El proceso de fermentación de un mosto es muy complejo, produciéndose gran cantidad de transformaciones químicas, y al final da lugar al vino.
Estas transformaciones están provocadas por microorganismos, las levaduras, que están presentes en la piel de la uvas maduras; por tanto un zumo fermenta espontáneamente, pero con mayor rapidez si se añaden levaduras. En el proceso de fermentación la glucosa se transforma en alcohol y dióxido de carbono según la ecuación:

$$\underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{etanol}}{2C_2H_5OH} + \underset{\text{dióxido de carbono}}{2CO_2}$$

Cuando el alcohol alcanza una cierta concentración, las levaduras se inactivan y la fermentación termina.
La calidad de un vino depende de muchos factores que todavía no están suficientemente conocidos para ser controlados y poder obtener vinos de la máxima calidad a partir de cualquier cosecha; por tanto no debe esperarse que el vino obtenido en los ensayos anteriores resulte demasiado agradable al paladar.

42. Obtención de vinagre = oxidación del alcohol del vino

Se vierten 150 cm^3 de vino blanco en un vaso, 100 cm^3 en otro y 50 cm^3 en otro; al segundo se le añaden 50 cm^3 de agua y al tercero 100 cm^3. Así los tres contienen el mimo volumen de líquido, pero distinta concentración de alcohol: el segundo contiene el doble que el tercero y el primero el triple que éste.
Se dejan los tres vasos destapados y a partir del día siguiente se valora, como se ha descrito en la experiencia 18, la cantidad de ácido acético (ácido del vinagre) formado. Para ello se toman cantidades del líquido que contengan teóricamente la misma cantidad de ácido: si se toma un cierto volumen del tercero, p. ej. 30 cm^3, se toma un volumen mitad del segundo, 15 cm^3, y un volumen que sea la tercera parte, 10 cm^3, del primero.
Estas cantidades de líquido a valorar se vierten en distintos vasos de precipitados, se diluyen con agua hasta que se igualen sus volúmenes, p. ej. 30 cm^3 de agua al primero, 25 cm^3 al segundo y 10 cm^3 al tercero.
Se añaden tres o cuatro gotas de fenolftaleína disuelta en alcohol y con una bureta se mide el volumen de base (hidróxido de sodio o hidróxido de calcio diluido) necesario para que el color de la disolución vire al rojo.
Como que se han tomado cantidades del líquido que inicialmente contenían la misma cantidad de alcohol, podría pensarse que en los tres casos la cantidad de base necesaria para neutralizar el ácido producido debe ser la misma. ¿Coincide esta previsión con el resultado?

La reacción que tiene lugar en el vino dejado en contacto con el aire es:

$$\underset{\text{alcohol de vino}}{CH_3 - CH_2 - OH} + O_2 \longrightarrow H_2O + \underset{\substack{\text{ácido acético}\\ \text{(ácido del vinagre)}}}{CH_3 - COOH}$$

La experiencia cotidiana hace que muchas personas sepan que un vino de baja graduación (más aguado) se avinagra antes.

43. Esterificación: reacción entre el etanol y el ácido acético

Un alcohol y un ácido orgánico reaccionan entre sí originando una sustancia denominada éster, por lo que el proceso general recibe el nombre de esterificación. Esta reacción es reversible, es decir, a partir de un éster se pueden formar el alcohol y el ácido de partida. Este proceso inverso se denomina saponificación porque es el utilizado para obtener jabón a partir de grasas animales y vegetales (grasa = éster de ácido orgánico y glicerina).
En un tubo de ensayo grande se mezclan 5 cm^3 de etanol y 6 cm^3 de ácido acético. Se agita un poco y, con precaución, se huele la mezcla. ¿Se distinguen los olores de sus componentes?
Si se distinguen se puede afirmar que el proceso realizado ha sido físico (mezcla) y no químico (reacción). La mezcla así formada puede dejarse en reposo y «analizar su olor» cada cierto tiempo y/o al día siguiente a fin de apreciar si aparece alguna sustancia nueva.
A la mezcla anterior o a otra preparada de forma igual, se le añaden 10 gotas de ácido sulfúrico concentrado *(PRECAUCIÓN al manipularlo)*, se tapa el tubo con un tapón taladrado provisto de un tubo de vidrio recto y se calienta la mezcla en un baño de agua *(NO a fuego directo)*, haciendo que ésta hierva suavemente. El tubo de vidrio vertical cumple la misión de refrigerante: enfría los vapores producidos e impide que se escapen de la mezcla de reacción (fig. 24).
Al cabo de 15 minutos se deja enfriar la mezcla y se repite el «análisis de olor». ¿Se aprecia un olor distinto?
Se ha producido una reacción cuya ecuación es:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3 - CH_2OH} + \underset{\text{ácido acético}}{CH_3 - COOH} \longrightarrow \underset{\text{acetato de etilo}}{CH_3 - COOCH_2 - CH_3} + \underset{\text{agua}}{H_2O}$$

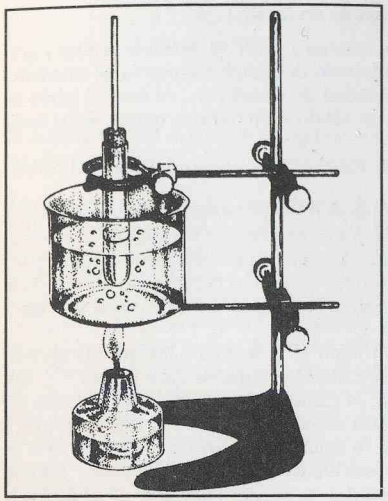


Fig. 24. Al calentar la mezcla de ácido acético y etanol se produce una reacción química catalizada por el ácido sulfúrico.

El olor del acetato de etilo puede identificarse como el de diversas colas o pegamentos en los que se usa como disolvente.
Montando un aparato de destilación sencillo, como el de la fig. 1 de la lámina J/4, y calentando la mezcla de reacción al baño de agua, se puede aislar el acetato de etilo obtenido. En el residuo líquido que no destila puede comprobarse que queda el ácido sulfúrico, por lo que cabe preguntarse, ¿qué misión cumple? Recuérdese que hay ciertas sustancias que afectan a la rapidez de una reacción pero que al final se recuperan inalteradas. ¿Cómo se llaman?
Al verter este residuo al desagüe debe hacerse dejando salir agua abundante para eliminar el ácido sulfúrico.

44. Saponificación del acetato de etilo

La reacción inversa a la esterificación se denomina saponificación. Ésta tiene lugar al tratar un éster con una base. Al hacer reaccionar acetato de etilo con hidróxido de sodio tiene lugar el proceso:

$$\underset{\text{acetato de etilo}}{CH_3 - COOCH_2 - CH_3} + \underset{\text{hidróxido de sodio}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{acetato de sodio}}{CH_3 - COONa} + \underset{\text{etanol}}{HO - CH_3 - CH_3}$$

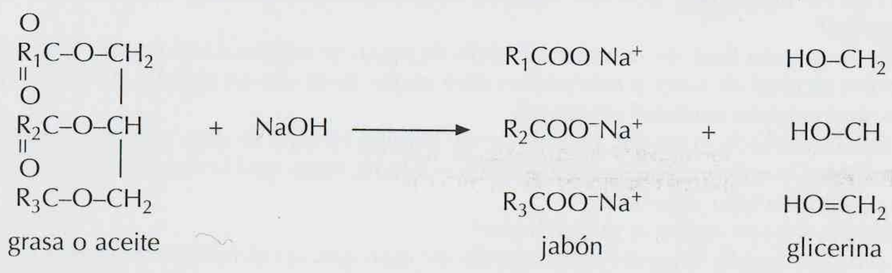
Se vierte una pequeña cantidad de acetato de etilo (2 o 3 cm^3) en un tubo de ensayo y se añaden 10-15 cm^3 de disolución 2 M de hidróxido de sodio y un trozo de porcelana porosa para favorecer una ebullición regular. Se observa que el acetato de etilo y la disolución de hidróxido de sodio no se mezclan y aparecen dos capas claramente diferenciadas. Se calienta la mezcla a ebullición suave en un baño de agua en un dispositivo como el de la fig. 24.
El acetato de etilo es volátil y por tanto, si se calienta demasiado puede perderse hacia el aire (oler el extremo superior del tubo refrigerante para percibir si esto ocurre) o permanecer dentro del tubo refrigerante y entonces no puede reaccionar con el hidróxido de sodio.
Al cabo de unos minutos se deja enfriar y se observa si se distinguen las dos capas iniciales de líquido. Si es así se vuelve a calentar más tiempo a ebullición suave. Cuando ha desaparecido el acetato de etilo (ya no se ven dos capas de líquido), se deja enfriar y se huele la mezcla del tubo. ¿Qué olor se percibe?
Calentando la mezcla final de reacción al baño de agua, se evaporará el compuesto causante del olor (etanol o alcohol de vino) y éste se percibirá mejor. Si se usa un aparato de destilación puede recogerse una pequeña cantidad de etanol.
Una vez eliminado todo el etanol, cuando no se percibe su olor, se deja enfriar el residuo y lentamente y con precaución se añade ácido sulfúrico diluido hasta que la mezcla sea ácida (compruébese con papel indicador universal).
Si se calienta la mezcla anterior, ¿a qué huele?
Cuando se ha eliminado el etanol de la mezcla de reacción, en el residuo ha quedado acetato de sodio y el exceso de hidróxido de sodio. La adición de ácido sulfúrico neutraliza el hidróxido y reacciona con el acetato de sodio:

$$\underset{\text{acetato de sodio}}{CH_3 - COONa} + \underset{\text{ácido sulfúrico}}{H_2SO_4} \longrightarrow \underset{\text{acetato de sodio}}{CH_3 - COOH} + \underset{\text{sulfato de sodio}}{Na_2SO_4}$$

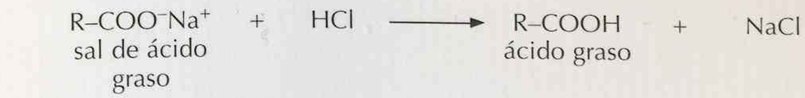
El ácido fuerte (sulfúrico) desplaza el ácido débil (acético) de sus sales; así la mezcla final tiene olor a vinagre.

45. Obtención de jabón y de ácidos grasos: saponificación de un aceite

Tradicionalmente el jabón para el consumo doméstico se obtenía a partir de restos de aceites y grasas, acumulados a lo largo de meses, y sosa cáustica (hidróxido de sodio). La mezcla se calentaba a fuego suave durante un tiempo que dependía de la cantidad de «reactivos». Al final el jabón se separaba por «salado» de la mezcla, apareciendo como un sólido sobrenadante que se debía lavar para eliminar el exceso de sosa.
Así pues, los productos de partida para obtener jabón son: aceite o grasa y sosa cáustica y sal común para adicionar al final.
Las proporciones entre los componentes de la reacción pueden ser variables, teniendo en cuenta que siempre se añade un exceso de sosa y que cuanto mayor es este exceso más rápida es la reacción y que la cantidad de agua debe ser suficiente para que la mezcla caliente pueda agitarse y ser suficientemente fluida, por lo que si se evapora debe añadirse a lo largo del proceso. Si se añade alcohol a la mezcla inicial, antes de calentar al baño de agua, la grasa se disuelve mejor y la reacción puede ser más rápida.
Procedimiento: Se mezclan 50 g de aceite (aprox. 60 cm^3) con 35 g de sosa y 80 cm^3 de agua en un vaso de precipitados de 250 cm^3 o más capacidad y se calienta al baño de agua (80-90 °C), agitando continuamente la mezcla con una varilla de vidrio. Al cabo de 10 minutos, con la varilla de agitación se introducen tres gotas de la mezcla de reacción en un tubo de ensayo que contenga 3 o 4 cm^3 de agua destilada; tapando el tubo con el dedo, se agita enérgicamente y se observa si se forma espuma y no pequeñas gotas de aceite. Se repite este ensayo cada varios minutos y cuando se observe la disolución total de las gotas de mezcla vertidas, se da por terminado el proceso de saponificación. Si se ha evaporado mucha agua se añade una disolución saturada de sal común y si no se añaden directamente 25 g de sal y se calienta unos minutos más. Si la sal no se disuelve se añade un poco de agua y se calienta, agitando la mezcla, hasta su disolución, y después se deja enfriar en reposo.
A medida que la mezcla se va enfriando, se va formando una capa sólida de jabón en la superficie, quedando en la parte inferior la disolución de sosa, sal y glicerina, otro producto de la saponificación de las grasas. Este jabón no debe usarse directamente para lavar las manos porque contiene mucha sosa y produciría irritación de la piel. Se puede purificar disolviéndolo en agua caliente, añadiendo sal hasta formar una disolución saturada y dejando enfriar la mezcla a fin de que vuelva a formarse la capa superficial del jabón.
La alcalinidad de este jabón puede medirse con algún indicador ácido-base. La repetición de este proceso de «lavado del jabón» permite obtener jabón puro.
El jabón así obtenido es una pasta blanda que contiene mucha agua. Prensando esta pasta, se elimina agua, y usando recipientes como moldes se pueden obtener «pastillas» de jabón. Añadiendo aromas y colorantes a la pasta se obtienen pastillas de color y olor deseado.
La reacción de saponificación puede presentarse por la siguiente ecuación.



R_1, R_2, R_3 = cadenas hidrocarbonadas de 10 o más átomos de carbono.
Se toma un poco del jabón obtenido y se mezcla con agua (p. ej. 8 o 10 g de jabón por 100 cm^3 de agua). Se calienta en un baño de agua a 60 °C aproximadamente, agitando, y cuando está totalmente disuelto se añade ácido clorhídrico (p. ej. 1 M) hasta pH claramente ácido (pH = 2-3), prosiguiendo el calentamiento a 60 °C y agitando durante unos minutos. Se deja enfriar la mezcla y se observa que se separa una sustancia en la superficie del líquido. ¿Qué puede ser esta sustancia?
El jabón es una sal de un ácido orgánico de cadena larga y los ácidos orgánicos suelen ser débiles; por tanto, al tratar una de sus sales con un ácido fuerte como el clorhídrico, se liberan de sus sales según la reacción:



El ácido graso no es soluble en agua y por ser menos denso que éste se separa y flota sobre la disolución.

46. Algunas experiencias con jabón y detergentes

A fin de diferenciar las cualidades de los denominados jabones de los detergentes, se pueden realizar algunos ensayos consistentes en observar los cambios producidos al mezclar soluciones de estas sustancias con salfumán o diferentes sales solubles.
Se prepara una disolución concentrada de jabón, suficiente para llenar 5 o 6 vasos pequeños, triturando bien un trozo de jabón de pastilla, o del obtenido en la experiencia 45, y mezclándolo con agua caliente hasta que se disuelva totalmente. La disolución resultante se reparte en varios vasos; uno de ellos se conserva tapado como referencia y a cada uno de los demás se le añade alguna de las siguientes sustancias: un poco de salfumán, dos o tres cucharadas de sal común, una pequeña cantidad de alguna sal soluble o de disolución de la misma (cloruro de calcio, sulfato de cinc, etc.); en todos los casos se agita para que se mezclen bien las sustancias y se deja en reposo.
Al cabo de un tiempo aparece en varios, o en todos los vasos, una sustancia sobrenadante. ¿Puede ser jabón?, ¿por qué se separa?
Con ayuda de una varilla se toma una pequeña cantidad de esta sustancia que se separa, se mezcla con un poco de agua y se agita. ¿Se forma espuma?
En algunos casos (p. ej. en el ensayo efectuado añadiendo sal de cocina) se formará espuma y puede interpretarse que la sustancia separada es jabón, pero en otros no.
El salfumán es ácido clorhídrico, por tanto libera el ácido graso insoluble del jabón. Las distintas sales añadidas se disuelven en agua, pero los correspondientes cationes metálicos con el jabón forman sales poco solubles en agua (sales de ácido graso y calcio o magnesio) o a causa de la elevada concentración del catión metálico (caso del cloruro de sodio) el jabón se separa por efecto del «ión común».
Realizando ensayos similares con detergentes de uso doméstico se comprueba que éstos pueden servir para lavar en condiciones menos favorables que las requeridas para lavar con jabón; sirven tanto en aguas duras como blandas y también en agua de mar.

CUADRO DE MATERIAS E ÍNDICE

MATERIAS

INTRODUCCIÓN AL TRABAJO DE LABORATORIO

Material de uso corriente en el laboratorio A/1
Normas de trabajo en el laboratorio y precauciones de seguridad A/2

LA MEDIDA

¿Son fiables las apreciaciones de nuestros sentidos? B/1
Instrumentos de medida. Medidas directas B/2
Medidas indirectas ..... B/3 y B/4
Aproximación al trabajo científico B/5

EL MOVIMIENTO

Trayectorias. Estudio del movimiento rectilíneo ..... C/1, C/2 y C/3
Estudio de movimientos no rectilíneos ..... C/4 y C/5

LAS FUERZAS

Características de las fuerzas
Fuerzas elásticas D/1
Las fuerzas son magnitudes vectoriales D/2
Descomposición de fuerzas D/3
La inercia D/4
Momento de una fuerza. Palancas D/5
Fuerzas de rozamiento D/6
La gravedad D/7

EL CALOR

Producción y propagación del calor E/1
Efectos del calor ..... E/2 y E/3

FLUIDOS EN REPOSO

La presión en el interior de un fluido F/1
Principio de Arquímedes F/2

FENÓMENOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Electricidad estática G/1
Los imanes G/2
La corriente eléctrica G/3
Materiales aislantes y conductores
Efectos de la corriente eléctrica G/4
Circuitos eléctricos G/5

LA LUZ

Propagación de la luz H/1
Leyes de la reflexión. Refracción de la luz H/2
Lentes H/3
Los colores de la luz H/4

EL SONIDO

Producción y propagación del sonido ..... I/1 y I/2

TÉCNICAS DE PURIFICACIÓN DE SUSTANCIAS

Decantación. Centrifugación J/1
Filtración. Adsorción. Extracción J/2
Cristalización J/3
Destilación J/4
Cromatografía. Sublimación ..... J/5 y J/6
Extracción de la cafeína del té.
Separación de los componentes de la leche J/7

PRÁCTICAS DE QUÍMICA 91

INDICE

SERIE A

A/1.– Introducción al trabajo de laboratorio
A/2.– » »

SERIE B

B/1.– La medida
B/2.– »
B/3.– »
B/4.– »
B/5.– »

SERIE C

C/1.– El movimiento
C/2.– »
C/3.– »
C/4.– »
C/5.– »

SERIE D

D/1.– Las fuerzas
D/2.– »
D/3.– »
D/4.– »
D/5.– »
D/6.– »
D/7.– »

SERIE E

E/1.– El calor
E/2.– »
E/3.– »

SERIE F

F/1.– Fluidos en reposo: presión y fuerza
F/2.– » » » »

SERIE G

G/1.– Fenómenos eléctricos y magnéticos
G/2.– » » »
G/3.– » » »
G/4.– » » »
G/5.– » » »

SERIE H

H/1.– La luz
H/2.– »
H/3.– »
H/4.– »

SERIE I

I/1.– El sonido
I/2.– »

SERIE J

J/1.– Técnicas de purificación de sustancias
J/2.– » » »
J/3.– » » »
J/4.– » » »
J/5.– » » »
J/6.– » » »
J/7.– » » »