

por cuanto se emplean aquellos radioisótopos con las actividades mínimas necesarias para asegurar la obtención y determinación de los datos necesarios con el nivel de confianza requerido, no teniendo más actividad ni radionucleidos de los necesarios para el normal desarrollo de las prácticas de laboratorio.

El almacenamiento de los radionucleidos consiste en una caja metálica cerrada con llave, que está señalizada, (las llaves las tienen las dos Supervisoras de la instalación). Además las muestras radiactivas están encerradas en sus respectivas cajas aisladas. Permaneciendo siempre en ese lugar cuando no se utilizan para la realización de las prácticas, o la comprobación por parte del personal responsable y estando terminantemente prohibido sacar fuera del laboratorio ninguna de las muestras radiactivas existentes. Cuando haya que transportarlo, a su llegada o a la salida como residuo, se hará con las debidas condiciones de blindaje. Las muestras radiactivas que con el paso del tiempo hayan perdido su actividad y ya no sean de interés, serán consideradas como residuos radiactivos, y su recogida será gestionada por la Empresa Nacional de Residuos (ENRESA).

Como los radionucleidos son de baja actividad no es necesario disponer blindajes fijos suplementarios a las propias paredes de la instalación y del lugar de almacenamiento.

Existe un monitor de radiación (exigido por el Reglamento establecido por el CSN) con el que se realiza una dosimetría de área periódica. Este monitor de radiación es calibrado regularmente en el CIE-MAT (Centro de Investigaciones Energéticas, MedioAmbientales y Tecnológicas, antigua Junta de Energía Nuclear). Las medidas de dosis obtenidas con dicho monitor, en el interior del laboratorio, ofrecen un resultado medio por debajo de 4 mSv/año, considerando una ocupación superior a las 100 horas (cosa que no ocurre). Las medidas realizadas en la puerta del laboratorio, por fuera, muestran una dosis del orden de 2 mSv/año, compara-

ble a la radiación ambiental. Esto implica que no hay ningún riesgo para el Personal de servicios que eventualmente entra en el laboratorio y para las personas que trabajan en las cercanías.

Aunque para este tipo de instalaciones no es obligatorio el uso de dosímetros personales, cada Supervisor tiene el suyo, comprobándose que las dosis que reciben anualmente están muy por debajo de los límites establecidos por la ley.

El personal que trabaja en el laboratorio de manera permanente (en este caso las dos Supervisoras de la instalación), está sometido a los reconocimientos médicos establecidos en el Reglamento de Protección Sanitaria. El reconocimiento es realizado por los facultativos de los Servicios Médicos Reglamentarios, llevándose a cabo las determinaciones analíticas y radiológicas, según criterios establecidos en la Guía del CSN GS-7.4.

La instalación es regularmente visitada, todos los años, por Inspectores del CSN que verifican el normal cumplimiento de todas las normas.

BIBLIOGRAFÍA

- Página Web del CSN – www.csn.es
- Memoria de la Instalación Radiactiva IR – 1904
- Curso Básico de Capacitación para Supervisores de Instalaciones Radiactivas
- Legislación española sobre Instalaciones Radiactivas (BOE)

AUTORES

- Introducción y Seguridad en laboratorios de Física y Química (Enseñanzas Medias):

Ángel Coballes Rius

Profesor del I.E.S. Ciudad de los Ángeles de Madrid, Colaborador del Dpto. de Química Orgánica y Biología

- Seguridad en laboratorios de Química Universitaria:

M.^a José Retuerce Fernández

Técnica especialista de laboratorio del Dpto. de Química Orgánica y Biología

- Seguridad en instalaciones radiactivas (Física Nuclear):

Amalia Willart Torres

Profesora asociada del Dpto. de Física de los Materiales

La presión atmosférica

INTRODUCCIÓN

La presión atmosférica nos acompaña en la vida diaria y ejerce mucha influencia sobre ella, tanto por el funcionamiento de nuestro órganos vitales (tensión arterial, ...) como por las aplicaciones tecnológicas que ha suscitado (aviación, predicción del tiempo, ...). Vamos a describir algunos de los experimentos con los que se inició su estudio y a proponer otro, de tipo casero, para poner en evidencia espectacularmente su existencia.

EXPERIMENTOS DE TORRICELLI Y PASCAL

La medida de la presión atmosférica data del tiempo de EVANGELISTA TORRICELLI (1608-1647), discípulo de Galileo, quien ya le había adelantado algunas ideas que él tenía sobre la presión atmosférica. Torricelli inventó el barómetro, pero el fundamento científico del instrumento ya había sido esbozado por otros sabios anteriores. Desde la antigüedad se sabía que un tubo cerrado por un extremo y lleno de agua, podía introducirse parcialmente en un depósito del mismo líquido sin vaciarse. ARIAS MONTANO, en su obra *Naturae Historia* publicada en 1601, decía lo siguiente:

Una caña o un tubo permanecerán llenos de agua, mientras no halle el aire camino libre para elevarse a la parte superior de aquellos; mas por pequeño acceso que encuentre dicho fluido, hará que el agua, cediéndole repentinamente su lugar, descienda al depósito que es su región propia.

Algunos años después, Galileo consiguió hacer el vacío en un cilindro de metal al sacar de su interior un pistón muy ajustado. Para llevar a cabo la operación tuvo que aplicar una fuerza enorme. Según los seguidores de Aristóteles esto era lógico,



(a)



(b)

Efecto de la presión atmosférica.

puesto que tuvo que vencer el *horror al vacío* que se manifiesta en todo fenómeno natural. Un poco después, los fontaneros de Florencia aplicaron un método similar para elevar el agua desde un depósito, realizando las primeras bombas hidráulicas. Se hacía el vacío con la bomba aplicada a uno de los extremos de una tubería; el otro extremo se sumergía en el agua del depósito que se encontraba al aire libre; el horror al vacío haría que el agua remontase cañería arriba

hasta llegar a la altura de otro depósito, donde podría ser vaciada. Su sorpresa fue que el agua en su ascenso nunca rebasaba los 10,5 metros. Parecía como si el horror al vacío estuviera limitado. Esto preocupó tanto a Galileo, que dejó constancia de ello en su famoso libro *Discurso sobre dos nuevas ciencias* en 1638, en donde ya sugiere que probablemente el efecto del ascenso del agua en la cañería fuera debido al peso del aire.

Su discípulo Torricelli confirmó en 1643 las ideas de su maestro con el famoso experimento que lleva su nombre. Tomó un tubo de vidrio de un metro de longitud cerrado por un extremo; lo llenó completamente de mercurio; tapó su extremo libre con el dedo, invirtió el tubo sin quitar el dedo y, en estas condiciones, introdujo dicho extremo en una copa que contenía mercurio; zafó el dedo y el tubo comenzó a vaciarse, pasando el mercurio que contenía a la copa. Pero no pasó todo, sino que el mercurio dejó de descender en el tubo cuando llegó a la altura de 76 cm. Torricelli sostuvo que aquella columna de mercurio era equilibrada por el peso del aire atmosférico.

BLAISE PASCAL hizo a continuación un experimento más completo. Utilizó varios tubos y los llenó de diferentes líquidos y observó que la altura de la columna que quedaba en cada tubo era inversamente proporcional a la densidad de cada líquido. Esto era prueba evidente de que la fuerza que equilibraba cada una de las columnas líquidas era la misma. Según éste, podía interpretarse el fenómeno que descubrieron los fontaneros de Florencia, que tanto intrigaba a Galileo: si con el mercurio, que tiene una densidad 13,6 veces mayor que la del agua, se necesitaba una columna de 0,76 metros para equilibrar el peso del aire, con el agua se necesitaría una columna de altura 13,6 veces mayor que la del mercurio. Es decir:

$$0,76 \text{ m} \times 13,6 = 10,3 \text{ m}$$

El misterio de los fontaneros quedaba explicado. Esto llevó a Pascal, razonador como era, a establecer otra consecuencia:

Si el peso del aire es el que sostiene la columna de mercurio, a mayor altura sobre la tierra corresponde una columna más pequeña de aire y de menos peso, y, por lo tanto, la de mercurio descenderá también.

Con este pensamiento encargó a PERRIER, cuñado suyo, que repitiera en las alturas del Puy-de-Dôme

(famoso puerto del Tour) el experimento de Torricelli. Su cuñado, ferviente admirador de las ideas de Pascal, repitió el experimento con sumo cuidado en tres alturas distintas: en Clermont, a unos 500 metros de altura sobre el nivel del mar, que era su residencia y que se encontraba a las faldas del Puy-de-Dôme; en la primera estación de la montaña, a unos 1000 metros de altura, y en la cumbre, a unos 15 metros. Los resultados que obtuvo se indican en la tabla siguiente:

Lugar	Altura sobre el mar (m)	Altura de la columna de mercurio (mm)
Clermont	520	712
1. ^a estación	975	677
2. ^a estación	1.464	627

En ella se puede ver que a mayor altura, mayor es el descenso de la columna de mercurio. O, dicho de otra forma, cuanto más se sube, menos altura de la columna de mercurio se necesita para equilibrar el peso del aire. Las ideas de Torricelli y Pascal quedaban confirmadas por los experimentos de Perrier.

En estos experimentos se constató que la altura de la columna de mercurio no dependía de si la sección del tubo era mayor o menor. El papel fundamental lo jugaba la presión atmosférica, es decir, la fuerza ejercida por unidad de área por la columna de aire que se encuentra sobre el lugar, desde la estratosfera hasta nosotros. Se definió una unidad para medir la presión y, como ésta variaba con la altura, se tomó una altura de referencia para dicha definición. Así se tomó como unidad de presión la que ejerce la columna de aire al nivel del mar, y se la denominó **atmósfera (atm)**. Es equivalente a la presión que ejerce sobre su propia base una columna de mercurio de 760 mm de altura. También se empezó a manejar el

torr (mmHg) en honor a Torricelli, que es la presión que ejerce una columna de mercurio de 1 mm de altura. En el Sistema Internacional, la unidad de presión es el **Pascal**, en honor al sabio francés, que se deriva de las unidades de fuerza, **Newton (N)**, y de superficie, m^2 . Esta unidad resulta muy pequeña para las presiones que se sufren en la vida diaria¹, que son del orden de la atm¹:

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Nm}^2$$

EL EXPERIMENTO DEL ALCALDE

El físico alemán OTTO VON GUERICKE (1602-1686), alcalde de Magdeburgo, realizó en 1654 un famoso experimento al que invitó a los parlamentarios de Ratisbona. Consistía en lo siguiente. Fabricó dos hemisferios de bronce de 62,7 cm de diámetro con los bordes muy bien pulimentados. Los acopló interponiendo entre ellos una fina banda circular de cuero graso e hizo el vacío en su interior con una bomba por él inventada. Entre el interior y el exterior se establece entonces una diferencia de presión de 1 atm, que mantiene los hemisferios unidos entre sí. A continuación enganchó a cada uno de los hemisferios dos tiros de ocho caballos cada uno y arreó a los animales, que tiraron con fuerza para tratar de separarlos. A pesar de la profesionalidad con que se emplearon las caballerías, jaleadas de manera entusiasta por el público asistente, no lo consiguieron. La fuerza que había que vencer

¹ La presión de los neumáticos de un automóvil es de unas 2 atm.

era de unos 62.500 N, lo que equivale al peso de 90 personas. El edil consiguió epatar a los parlamentarios aprovechando las fuerzas de la naturaleza.

LA PRESIÓN LIBERADA

Cuando von Gericke preparaba su experimento, ensayó con unas esferas de hierro, cuyas paredes eran más finas y menos resistentes que las de bronce que utilizó después, y al hacer el vacío los hemisferios se aplastaron el uno contra el otro. Es un espectacular efecto de la presión atmosférica. Podemos hacer un experimento con resultados similares en nuestra casa de la siguiente manera: se limpia con cuidado una lata vacía de aceite de engrasar automóviles y se rellena con un poco de agua hasta un 10% de su volumen aproximadamente. Se pone a calentar sobre una placa eléctrica o sobre un hornillo de gas butano (ver parte *a* de la Figura) y, cuando el agua rompe a hervir, se esperan unos minutos con objeto de que su vapor expulse al aire hacia el exterior de la lata, reemplazando a éste en todo su volumen. A continuación, sin retirar la lata del fuego se cierra herméticamente con el tapón. Terminada esta operación, se retira del fuego sin demora y se deja sobre la mesa de trabajo. En pocos minutos se observa cómo la lata se contrae violentamente como se puede apreciar en la parte *b* de la Figura.

A la luz de los experimentos anteriores, la explicación del fenómeno es bien sencilla: al enfriarse la lata, el vapor de agua de su interior se licúa, produciéndose el vacío. La presión atmosférica exterior hace lo demás. El aplastamiento se produce por la diferencia de presiones entre el exterior y el interior. Esto quiere decir que cuando en el interior no se había hecho el vacío, las fuerzas ejercidas sobre las paredes interior y exteriormente estaban equilibradas. Pero este equilibrio se establece bajo una gran tensión, y si rompe se produce la catástrofe. Nuestro cuer-

po también es sometido a la presión atmosférica. Toda nuestra superficie influye en la tensión de nuestras arterias y unas veces nos facilita la vida, cuando estamos al borde del mar, y otras nos la complica, cuando subimos la montaña.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Para completar el conocimiento del tema se sugiere la siguiente bibliografía:

- Carmen Carreras Béjar, Antonio F. Rañada, Javier García Sanz y Manuel Yuste Llandres. *Física Básica 1*. Alianza Editorial, Serie: *El libro de Bolsillo*, nº 1640, 534 páginas (Madrid, 1993).
- M. Yuste y C. Carreras. *Experimentos caseros para un curso de Física General*. Cuadernos de la UNED nº 130, 252 páginas. UNED (Madrid, 1994).

Carmen Carreras Béjar y
Manuel Yuste Llandres
Depto. de Física de los Materiales

El experimento Millikan

INTRODUCCIÓN

En el año 1911, ROBERT ANDREWS MILLIKAN publicaba los resultados de un famoso experimento¹ que demostraba, fuera de toda ambigüedad, que la carga eléctrica estaba cuantificada y determinaba, por primera vez y con gran exactitud, su valor elemental. El valor aceptado hoy en día de esta importantísima magnitud de la Física Atómica, que indicamos a continuación, solo difiere en un 0,06% del determinado por el gran físico norteamericano:

$$\begin{aligned} \text{Millikan: } e &= 1,603 \times 10^{-19} \text{ C} \\ \text{Actual: } e &= 1,6021773 \times 10^{-19} \text{ C} \\ &(\text{error de } 0,03\%) \end{aligned}$$

¹ R. A. Millikan. *On the elementary electrical charge and the Avogadro constant*. Phys. Rev., 32, 349-397 (1911).

La importancia del trabajo de Millikan y el ingenio que desplegó para llevarlo a cabo, hacen que su experimento deba ser considerado como uno de los más importantes y más ingeniosos de la Historia de la Física. En los párrafos siguientes vamos a exponer los aspectos más importantes del mismo.

GOTITAS DE ACEITE CARGADAS DE ELECTRICIDAD

En los primeros años del siglo XX los físicos ya admitían la posible existencia del electrón, aunque tenían muchas dudas acerca de la naturaleza granular de la electricidad. Por aquel entonces se habían realizado estudios sobre la carga que portaban diminutas gotitas de agua cuando eran irradiadas con rayos X. Para ello, se observaban las características de su movimiento cuando se encontraban en el seno de un campo eléctrico uniforme. El mismo Millikan hizo estudios de esta clase, pero los resultados que se obtenían eran aleatorios, debido, según pensaban, a que la disminución del volumen de las gotas por evaporación, que no podía ser controlada, afectaba a su movimiento. Para evitar esto, Millikan se puso a trabajar con gotas de aceite, cuya evaporación a la temperatura ordinaria era insignificante. Introducía éstas en la cámara C (ver Figura 1) mediante un atomizador comercial A. Las gotas descendían lentamente en la cámara, que se encontraba a la presión atmosférica, y algunas de ellas penetraban en el espacio comprendido entre las placas M y N de un condensador plano por un pequeño orificio practicado en la placa superior. Iluminaba lateralmente el espacio comprendido entre dichas placas, y observaba la marcha de las gotas con un anteojo enfocado en la dirección perpendicular a la de iluminación. En estas condiciones, las gotas se veían como puntos brillantes sobre un fondo oscuro. Parecían estrellas moviéndose lentamente en el firmamento.

Cuando las placas del condensador estaban conectadas entre sí (posición P del interruptor I), en el espacio comprendido entre ellas el campo eléctrico era nulo y las gotas descendían lentamente hacia la placa inferior N, frenadas por la viscosidad η del aire. Con un retículo de líneas horizontales, que dispuso en el ocular del anteojo, pudo observar que la velocidad de descenso de las gotas era constante. La observación resultaba muy sencilla de hacer, porque entre las placas del condensador había muy pocas gotitas y podía seguirse perfectamente el movimiento de una cualquiera de ellas².

Por otra parte, observó que cuando conectaba las placas del condensador a una batería, de manera que la placa superior M quedara cargada positivamente respecto a la placa inferior N, las gotitas invertían su marcha y comenzaban a ascender. Esto quería decir que durante el proceso de pulverización, las gotitas se habían cargado negativamente por frotamiento. Este movimiento de ascenso bajo el campo eléctrico también se efectuaba con velocidad constante.

Como era fácil seguir la evolución de una gota determinada, se la podía hacer subir y bajar varias veces abriendo y cerrando el circuito adecuadamente, y teniendo cuidado de frenarla a tiempo para que no alcanzase nunca ninguna de las dos placas. Esto permitiría determinar las velocidades de descenso, v_g , y de ascenso, v_E , que intervenían en el frenado viscoso.

Llamando z a la distancia entre los dos hilos horizontales de referencia del retículo, situados en la parte central del campo de visión del anteojo, las velocidades v_g y v_E se podían expresar de la siguiente manera:

$$v_g = \frac{z}{t_g} \quad ; \quad v_E = \frac{z}{t}$$

² Para conseguir esto es para lo que se había hecho muy pequeño el orificio de entrada en la placa M.