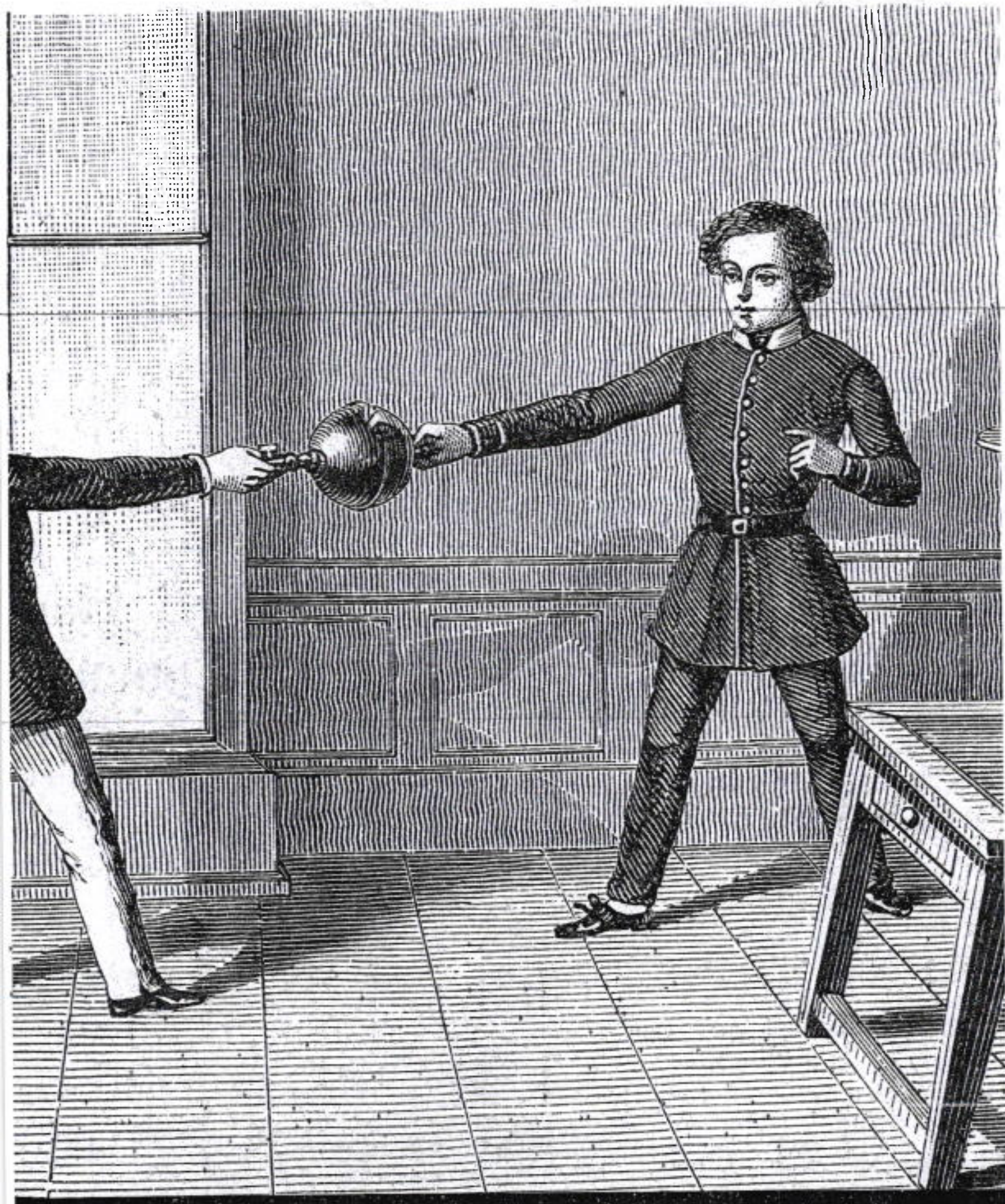


ABRIENDO *las* CAJAS NEGRAS

Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València



19 **CAPÍTULO I**

LOS INSTRUMENTOS EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA

21 **Cuando los instrumentos se pierden de vista**

Kathryn Olesko, Department of History & BMW, Center for German & European Studies, Georgetown University

33 **El tiempo en casa: los instrumentos meteorológicos en los hogares ingleses del siglo XVIII**

Jan Golinski, Department of History, University of New Hampshire

45 **La balanza: ¿un instrumento revolucionario?**

Bernadette Bensaude Vincent, Centre d'histoire et de philosophie des sciences, Université Paris X-Nanterre

53 **La industria de precisión en el siglo XIX.**

Una panorámica de los instrumentos, los constructores y el mercado en diferentes contextos nacionales

Paolo Brenni, CNR, Istituto e Museo di Storia della Scienza, Fondazione Scienza e Tecnica, Firenze

73 **CAPÍTULO II**

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS Y PATRIMONIO HISTÓRICO

75 **Instrumentos *on line*: dos iniciativas opuestas de bases de datos colectivas**

Jim Benner, Museum of the History of Science, University of Oxford

83 **Definiendo los límites del patrimonio científico: arqueología, historiografía y habilidades prácticas**

Marco Beretta, Dipartimento di Filosofia, Università degli Studi di Bologna

99 **El Musée des arts et métiers: cuestiones sobre una renovación (1988-1998)**

Dominique Ferriot, Bruno Jacomy, Conservatoire national des arts et métiers, Paris

117 **Testigos científicos: estímulo para el conocimiento**

Amparo Sebastián, Directora Nacional de Ciencia y Tecnología (MNCT)

133 **La memoria de la ciencia contemporánea: El Servei d'arxius de la Ciència**

Xavier Roqué, Centre d'Estudis d'Història de les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona

149 **El instrumental científico-tecnológico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas**

José Pío Beltrán Porter, Vicepresidente de Organización y Relaciones Institucionales
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

153 **El inventario descriptivo sistemático de instrumentos científicos en los institutos y las universidades de Francia**

Henri Chamoux, Service d'histoire de l'éducation, Institut national de recherche pédagogique, Paris

167 **Las colecciones científicas del IES Jorge Juan de Alicante**

Carlos Larcis Sáez, Luis Antonio Villada Lobete, Instituto Jorge Juan de Alicante
Rafael García Molina, Universidad de Murcia

177 **Los instrumentos científicos del IES Lluís Vives de Valencia**

Josep Simón Castel, Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València

185 **La colección de instrumentos científicos del IES Francisco Ribalta de Castellón**

José Aparici Sos, Vicente Coranda Manselgas, Carmen Fernández Díaz, Bartolomé García Saz, Francisco Mezquita Broch, Rafaela Molina Rodríguez, Justo Orden Recio, Lidón Pastor Vives, José Payá Peris
Instituto Francisco Ribalta, Castellón

195 **El Museo Histórico-médico**

Juan Antonio Micó Navarro, Vicente Luis Salavert Fabiani
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València-CSIC

205 **De material obsoleto a pieza de museo:**

La colección de instrumentos científicos del Museo de Geología de la Universitat de València

Anna García-Fornet, Museo de Geología Universitat de València.

LOS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS DE LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

- 219 **Los orígenes de la colección de instrumentos científicos de la Universitat de València**
Antonio García Belmar, Departamento de Salud Pública, Universitat de Alicante
José Ramón Bertomeu Sánchez, Josep Simón Castel
Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València
- 245 **Valencia: cuna de la física de partículas en España**
Víctor Navarro Brotons Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València CSIC
Jorge Velasco, Instituto de Física Corpuscular, Universitat de València - CSIC
- 253 **La electricidad y el magnetismo. La evolución de las medidas eléctricas**
Josep Simó Castel, Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València
- 267 **La colección de instrumentos científicos del Departamento de Termodinámica**
Pedro Ruiz Castell, Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València
- 275 **Barómetros**
Pedro Ruiz Castell, Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València
- 279 **Acústica**
Jesús Ignacio Catalá Gorgues, Instituto de Humanidades "Angel Ayala", Universitat Cardenal Herrera - CEU
- 285 **Colorímetros**
Lluís Garrigós Oltra, Carlos Millán Verdú y Georgina Blanes Nadal
Departamento de Física Aplicada, Escola Politècnica d'Alcoi. Universitat Politècnica de València
- 293 **Espectroscopios**
José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València - CSIC
- 303 **Polarímetros**
José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València - CSIC
- 311 **Refractómetros e interferómetros**
José Ramón Bertomeu Sánchez
Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación, Universitat de València
- 315 **Balanzas**
Antonio García Belmar, Departamento de Salud Pública, Universidad de Alicante
- 323 **PH-metros y otros instrumentos de medida electroquímica**
José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València - CSIC
- 331 **La colección de instrumentos del Observatorio Astronómico de Valencia**
Víctor Navarro Brotons, Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València - CSIC
Alvaro López, Observatori Astronòmic, Universitat de València
- 337 **Instrumentos para la enseñanza: La colección de la Escuela Universitaria de Magisterio**
Josep Simón Castel, Cristina Sendra Mocholí, José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València-CSIC
Antonio García Belmar, Departamento de Salud Pública Universidad de Alicante
- 367 **Los fabricantes de instrumentos de la Universitat de València**
Pedro Ruiz Castell, Josep Simón Castel, José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero", Universitat de València - CSIC
- 381 **Bibliografía**
- 407 **CAPÍTULO IV**
Apéndice textos en lengua original
-

La electricidad y el magnetismo. La evolución de las mediciones eléctricas

Josep Sureda Castell
Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación
Universidad de Valencia

En el estado actual de la ciencia eléctrica, la determinación de la resistencia eléctrica de un conductor puede ser considerada la operación cardinal en electricidad, en el mismo sentido que la determinación del peso es la operación cardinal en Química.

J. C. Maxwell, *A treatise on Electricity and Magnetism*.

La segunda mitad del siglo XIX es escenario de cambios fundamentales en el campo de la electricidad y el magnetismo, tanto en los aspectos experimentales como en los teóricos y, en general, en sus características como disciplina.

Los nuevos y rápidos descubrimientos hacen que muchos investigadores reorienten sus trabajos, centrados a menudo en otros campos de la física como la óptica, para dedicarse de lleno a la electricidad. Al mismo tiempo empiezan a aparecer los primeros laboratorios universitarios en los que se cultiva tanto la enseñanza como la investigación. Este fenómeno ha sido analizado por varios autores: Gooday (1990) en el Reino Unido, Blondel (1998) y Caron (1991) en Francia, Cahan (1985) en Alemania, Fox (1999) y Caron (1991) en Europa en general. A pesar de que en cada país los procesos tienen desarrollos, tiempos y situaciones característicos se pueden distinguir algunos rasgos comunes. En general hay un acercamiento del físico académico al mundo de la industria. En Francia se trabaja en colaboración con los fabricantes de instrumentos o los industriales, sobre todo del sector de la máquinas y del alumbrado eléctrico. En el Reino Unido ocurre lo mismo con respecto a la gran empresa del imperio británico, la telegrafía. Como sugiere Blondel, se pasa de la demostraciones públicas de fenómenos eléctricos "espectaculares", tan característica del siglo XVIII, a las demostraciones y las pruebas en los talleres y en las fábricas para poner a punto y patentar productos que comercializables. Hay que tener en cuenta que hasta este momento las aplicaciones industriales de la física eran marginales y insignificantes en comparación a las de disciplinas como la química.

Las exposiciones universales serán la ocasión para ofrecer los nuevos descubrimientos al gran público, pero al mismo tiempo también servirán de gran escaparate de la actividad comercial privada y estatal. Estos acontecimientos tenían una gran repercusión. Muestra de ello es, por ejemplo, el debate surgido en el Reino Unido después de la Exposición de París de 1867. La representación británica recibió menos premios que en ediciones

anteriores, y esto provocó un intenso debate autocrítico que fue aprovechado por los físicos académicos para reivindicar las inversiones en educación técnica, incluyendo la construcción de laboratorios universitarios destinados tanto para la enseñanza como para la investigación. Aunque este tipo de establecimientos son tan comunes actualmente, no existieron más que con carácter privado hasta la segunda mitad del siglo XIX.

La Exposición Universal de París, en 1881, tendrá un significado especial. Por primera vez se hace una exposición dedicada a un solo tema: la electricidad. Además, paralelamente se celebra un congreso en que se producirán los acuerdos fundamentales para adoptar un sistema internacional de unidades electromagnéticas. Así se conseguirá el consenso para un acuerdo en que se ven particularmente afectados los científicos británicos que trabajan para la British Association for the Advancement of Science (Asociación Británica para el Fomento de la Ciencia) y el fabricante alemán Siemens, productores de patrones de medida, rivales hasta el momento, como veremos después. Según se aproxima el final del siglo se multiplica la creación de centros de formación e investigación y la especialización de éstos. Ingenieros, físicos e industriales habían trabajado en estrecha colaboración pero con la especialización que desemboca en la creación de la Electrotecnia como disciplina autónoma, el físico se retira hacia otros campos de investigación, más circunscritos al mundo académico.

Los nuevos cursos de Electricidad a partir de la segunda mitad del siglo XIX, incluyen en muchos casos la construcción de instrumentos por los propios estudiantes y la repetición de experimentos clásicos, antes de pasar a hacer investigaciones personales.

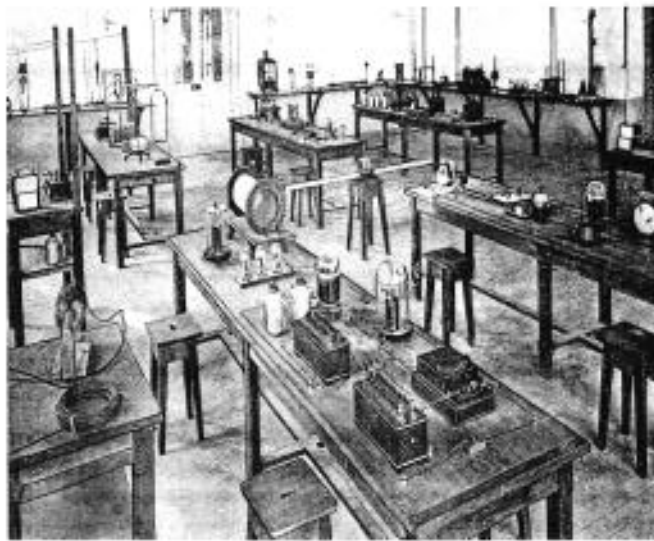


Figura 1. Laboratorio de prácticas de Electrotecnia para estudiantes de primer año, Facultad de Ciencias de la Universidad de Toulouse, 1914. Sobre los bancos se ven, entre otras, galvanómetros de espejo, cajas de resistencias, amperímetros o voltímetros, pilas Leclanché, pila de globo, etc.

Con el paso al siglo XX se hacen evidentes las aplicaciones de la corriente alterna y su estudio llevará al desarrollo de instrumentos como el osciloscopio. Desde principios de siglo habrá una actividad investigadora importante sobre nuevos instrumentos para la recepción y transmisión de señales pero que también tendrán aplicaciones en los instrumentos de medidas eléctricas. Así, en 1904, J. A. Fleming patentará la válvula termoiónica, ideada como un medidor de corrientes alternas de alta frecuencia y transformada por Marconi en receptor de telegrafía sin hilos. Este elemento sufrirá modificaciones posteriores y aplicaciones diversas (Hong, 1996). La válvula desplazó comercialmente a los rectificadores contruidos con cristales semiconductores. Estos elementos ya habían sido investigados, con desarrollos importantes en 1875 por Braun y se usaban como detectores de ondas de radio. Aunque quedaron en un segundo plano con el desarrollo de la válvula, las investigaciones fueron retomadas durante la Segunda Guerra Mundial, en relación con la detección de señales de radar. Éstas llevaron a la invención del transistor en 1947 por parte de los laboratorios Bell. El transistor que se desarrolló con diversos modelos y materiales, tuvo numerosas aplicaciones en todos los instrumentos de medidas eléctricas y sustituyó paulatinamente a los sistemas de desviación mecánicos.

A lo largo de este trayecto histórico veremos como lo que inicialmente eran montajes o métodos experimentales formados por varios elementos, acaban transformados en instrumentos con entidad propia, en los cuales los diferentes elementos quedan encerrados en una caja con conexiones por la cuales se introduce información y conexiones por donde se extrae, pero desconociendo lo que pasa en el interior. Aspecto éste que se suele designar en la literatura especializada como "caja negra". También será especialmente relevante el análisis del proceso de institución del sistema de unidades electromagnéticas. Lo que actualmente nos puede parecer natural, inevitable o intrínsecamente universal no lo es tanto. La creación del sistema de unidades electromagnéticas no se hizo sin discusión y la adopción necesitó de estímulo, y una vez regulada, tuvo que vigilarse. En este proceso, como veremos, los instrumentos actúan como emisores o mensajeros del mundo del laboratorio, mediante los cuales éste crea sus redes en el mundo exterior. Esta proyección del laboratorio hacia el exterior es la que permite que sus productos tengan sentido o sobrevivan fuera del lugar de origen (Latour, 1987).

Galvanómetros, voltímetros y amperímetros: medidas absolutas y relativas, lecturas objetivas y subjetivas, lecturas indirectas y directas

En 1829, Oersted se da cuenta durante una clase, que un cable conductor de corriente desviaba una aguja de brújula. Esto le llevó a realizar algunas investigaciones, que publicó y difundió ese mismo año. Este descubrimiento causó mucha excitación en la comunidad científica y, por ejemplo, la Académie des Sciences formó un comité para estudiar y informar sobre cualquier avance relacionado con el estudio del fenómeno.

En este contexto, Ampère desarrolló el sistema astático, tan usado después en el diseño de galvanómetros. Se trataba de un sistema de dos agujas magnetizadas antiparalelas (paralelas pero con los polos magnéticos en posiciones opuestas) el objetivo del cual era

eliminar la acción del campo geomagnético que orientaba la aguja de la brújula y estorbaba las mediciones. Posteriormente, este mecanismo se utilizó precisamente para poder hacer medidas cuantitativas de corriente y discernir la desviación causada por el campo magnético creado por el paso de corriente que se medía de la causada por el campo magnético de la Tierra. Este método fue ideado, por lo que parece, por Haüy (1743-1822) y es llamado "sistema astático".

Schweigger (1799-1857), Poggendorff (1796-1861) y Cumming (1777-1861) inventaron un dispositivo para amplificar el efecto de las corrientes, en general muy débiles, al alcance del físico del momento. En lugar de utilizar sólo una espira de hilo, se enrolló ésta varias veces en un soporte, de forma que la desviación de la aguja se multiplicaba proporcionalmente al número de espiras incluidas. Este dispositivo fue denominado "multiplicador" (véase el ejemplar F-0091, destinado a la enseñanza). Junto al sistema astático y a un hilo de suspensión, formaron las partes fundamentales del primer galvanómetro, ideado por Nobili en 1825. Los sistemas de suspensión se habían utilizado en las investigaciones sobre el magnetismo desde la época de Gilbert y se habían ensayado varios materiales (Lauridsen, 1998). El de Nobili era un hilo de seda, sobre el cual estaba fijada la aguja indicadora.

La lectura de las pequeñas desviaciones de la aguja sobre la escala era difícil. El aumento del tamaño de estos dos elementos no solucionaba el problema porque una aguja grande tiene un gran momento de inercia y, por tanto, un gran periodo de oscilación que alarga las medidas. Un método que permitió eliminar estos inconvenientes fue el "método de escala y lámpara" introducido en 1826 por Poggendorff (Lauridsen, 1998), (Poggendorff, 1826), aunque por lo que parece ya lo usaba Gauss y más tarde W. Weber en el campo de sus estudios sobre el geomagnetismo (Brenni, 1986).

En este método, en lugar de una aguja, se fija un pequeño espejo en el hilo de suspensión del galvanómetro, sobre el cual se hace incidir un haz de luz. Frente al instrumento se sitúa una regla graduada, de forma que cuando está en reposo, la proyección del rayo de luz sobre el espejo marque el cero de la escala. Cuando la aguja del galvanómetro se desvía a causa del paso de corriente, el espejo gira en el mismo ángulo. Esta desviación se ve reflejada y amplificada (el ángulo de desviación se duplica) sobre la regla. A partir de esta medida y el valor de la distancia entre galvanómetro y regla, la desviación que el paso de la corriente produce en el espejo se obtiene mediante un cálculo trigonométrico trivial. Por lo tanto, el haz de luz hace las veces de una aguja sin peso y se evitan los problemas de la inercia. El método se perfeccionó con el uso de lentes que hacían converger los rayos, y otros dispositivos, como se puede ver en la imagen de la página siguiente.

También había dos métodos de lectura diferentes. El llamado "método objetivo" de Poggendorff, usaba una regla transparente y la medida se podía observar tanto por delante como por detrás. Por el contrario, el "método subjetivo" de W. Thomson utilizaba una mira telescópica situada debajo del galvanómetro apuntando hacia la escala. En la colección de la Universitat de València, F-0189 es una regla de cristal diseñada para el uso que describimos.

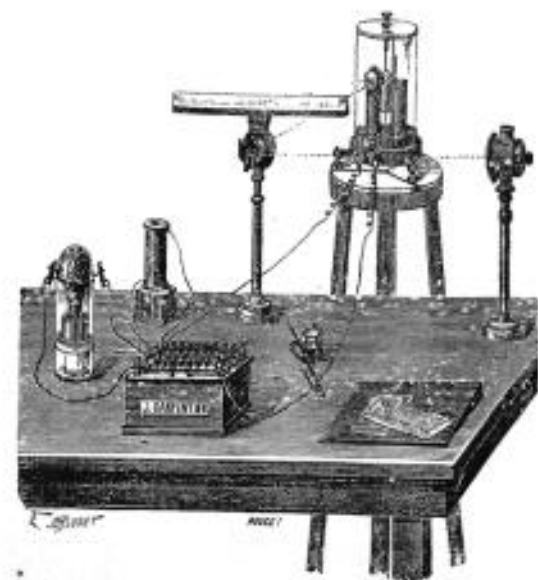


Figura 2. La figura escenifica una medición por el método de escala y lámpara y lectura objetiva. El galvanómetro de espejo es el Romado de Defiez D'Arsonval y concretamente mide una resistencia mediante un puente de Wheatstone.

Estos métodos y los galvanómetros de espejo fueron los instrumentos usados de manera generalizada durante la segunda mitad del siglo XIX, mientras que los instrumentos de aguja eran utilizados en la industria y las aplicaciones didácticas por ser menos precisos.

Durante esta época se introdujeron numerosos modelos diferentes de galvanómetros pero, sin duda, es necesario destacar el galvanómetro que se conoce como de Deprez-D'Arsonval. Este instrumento, que vemos "en acción" en la figura adjunta, fue presentado por estos dos autores en 1882 a los Comptes Rendus de la Académie des Sciences. Se trataba de un diseño de D'Arsonval a partir del galvanómetro de Deprez (una imagen de éste se puede ver en el texto sobre la colección del Instituto Luis Vives en este mismo volumen).

El mecanismo móvil consistía en una bobina suspendida en un hilo, entre los polos de un imán de herradura. La corriente llegaba a la bobina a través del hilo y, por tanto, se creaba un par que la hacía girar, y así giraba también el hilo y el pequeño espejo solidario. Este mecanismo se fue modificando a lo largo del tiempo, disminuyó el tamaño de la bobina, se añadió un núcleo de hierro dulce en el centro de la bobina para concentrar la acción del campo del imán fijo, se usaron imanes circulares o con otras formas y se mejoraron los materiales para garantizar la constancia del campo.

Los dos galvanómetros de espejo de la colección que es objeto de este estudio (F-0083, F-0084), funcionan con este mecanismo, con las mejoras citadas. Se trata de piezas más modernas, fabricadas en el siglo XX, pero el mecanismo básico es el mismo. De hecho éste

es probablemente uno de los más utilizados para la medida de corriente continua y se encuentra en la mayoría de galvanómetros, voltímetros y amperímetros de la colección.

Precisamente en ésta hay un tipo de galvanómetros más actuales (comercializados en general a partir de la década de los cincuenta del siglo XX) sobre los cuales valdría la pena hacer algunas observaciones. Se trata de modelos como los fabricados por W. G. Pye & Co. (por ejemplo F-0138), Cambridge Instrument Co. (Q-0192), IEL (F-0411), Dr. B. Lange (F-0342) o WTA (Q-0201). Estos instrumentos responden a numerosas y variadas aplicaciones, desde medidas en colorimetría (Lange, s.a.) o análisis potenciométricos de disoluciones (Kolthoff, 1931), (Hiltner, 1936) hasta toda clase de medidas eléctricas (intensidades, resistencias, etc.).

En la figura 3 adjunta vemos el interior del galvanómetro modelo "Scalamp" de la casa W. G. Pye & Co., extraído de su folleto técnico. En éste se comenta que el nombre del modelo es una abreviación de *scale* y *lamp* (escala y lámpara). De hecho si nos fijamos, resulta que hay encerrados en una caja (el armazón de este galvanómetro) todos los elementos que componen desde la segunda mitad del siglo XIX las mediciones de corrientes eléctricas en los laboratorios. Lo que eran antes elementos individuales, relacionados por un montaje experimental (mecanismo de imán fijo y bobina móvil de Deprez-D'Arsonval con espejo, regla o escala, lámpara y sistema de proyección, y shunt o resistencia), ilustrado en la segunda figura de este texto, ahora han quedado indisolublemente unidos para formar otro instrumento autónomo, el galvanómetro Pye modelo Scalamp. Hay que tener en cuenta que la mayoría de estos instrumentos podían ser usados en otros montajes diferentes a los de las mediciones galvanométricas de espejo y, por tanto, tenían una identidad propia. Ésta ahora ha desaparecido y además es escondida por la caja del instrumento que se ha convertido en "caja negra".

Pero hablaremos ahora de los instrumentos de lectura directa a que está habituado el público actual. Instrumentos como los voltímetros o amperímetros que dan lecturas directas en unidades internacionales (voltios y amperios, respectivamente). La cotidianeidad de estos instrumentos en la actualidad nos puede hacer olvidar que su adopción no estuvo exenta de controversia.

Hasta finales del siglo XIX sólo había un instrumento que proporcionara medidas absolutas de corriente: la brújula de tangentes (o también la análoga brújula de senos). Este galvanómetro, presentado por Pouillet en 1837, se convirtió en el instrumento canónico para mediciones absolutas de precisión gracias a los trabajos que con éste llevaron a cabo W. Thomson y W. Weber, personalidades de gran influencia en la física de la época. La figura adjunta ilustra un modelo parecido al original. En la colección presentada en estas páginas hay un ejemplar más moderno (F-0569) que al diseño original incorpora, entre otras cosas, la posibilidad de más de un rango de escala.

La brújula de tangentes está formada por un marco circular que lleva un devanado de hilo por el que pasa la corriente que se quiere medir. En el centro de éste hay una aguja magnetizada que es desviada por el campo magnético creado por el paso de la corriente. Para hacer las mediciones, el plano del marco con las espiras de hilo se tenía que alinear con el

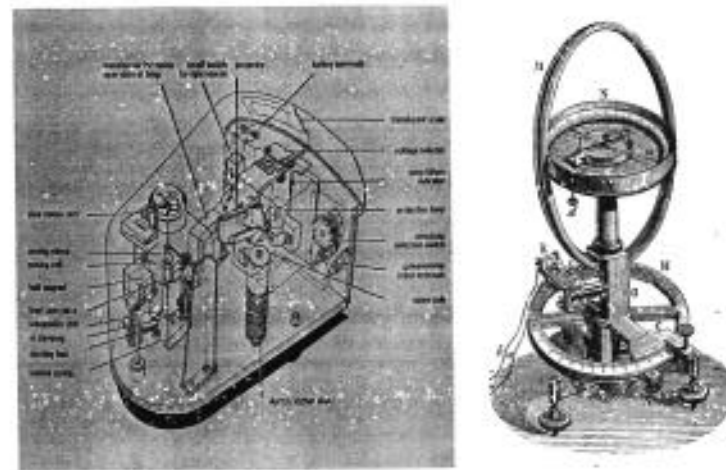


Figura 3 (izquierda): Interior de un galvanómetro modelo Scalamp fabricado por W. G. Pye & Co. Destaca la presencia de una escala traslúcida (translucent scale), un espejo fijo sobre hilo de torsión (moving mirror), una bobina móvil con un núcleo de hierro en el centro (moving coil and fixed core piece) una lámpara con un sistema de proyección (projection lamp and projector) y un shunt de Ayrton-Mather (Ayrton-Mather shunt). Figura 4 (derecha): Brújula de tangentes.

del meridiano geomagnético ya que la posición de la aguja en reposo, determinada por este campo, definía el cero del instrumento. Conocido el valor de la componente horizontal del campo magnético de la tierra en el lugar donde se efectuaban las medidas y las dimensiones y el número de espiras, se calculaba el valor de la corriente medida que resultaba ser proporcional a la tangente del ángulo de desviación de la aguja.

Las medidas son absolutas porque pueden ser reducidas a magnitudes de tipo distinto a la corriente medida. Por el contrario, en el resto de instrumentos se obtenía un ángulo de desviación, resultado de las medidas. Para poder relacionar este ángulo con una corriente de una magnitud determinada se tenía que referir a un instrumento absoluto que permitía calibrar el instrumento relativo, esto es, determinar la relación entre sus desviaciones y las corrientes medidas. En la cultura de la precisión de la época el cariz absoluto de las medidas se refería también a su reducibilidad última a determinaciones directas de masa, longitud y tiempo, magnitudes por las cuales ya había sido determinado y consensuado un patrón internacional de medida.

En este contexto Ayrton y Perry, ingenieros eléctricos británicos, trabajaron hacia 1880 en el diseño de un instrumento que pudiese proporcionar medidas directas. El interés principal residía en crear instrumentos de manipulación fácil y lectura rápida, así como una cierta robustez para uso industrial. Como precedente importante tenían el galvanómetro de Deprez, citado anteriormente que, sin embargo, no daba lecturas directas y, por lo tanto, se tenía que usar asociado a un gráfico de calibración. Después de una serie de investigaciones Ayrton y Perry presentaron los nuevos instrumentos en una sesión de

la British Association for the Advancement of Science. Esta presentación fue el inicio de una intensa actividad publicitaria que llegaría a su cenit en 1884 con la presentación en la Physical Society of London y la comercialización de sus productos.

Estos nuevos productos fueron bautizados por los creadores, como ammeter (abreviatura de ampèremeter, que denominamos amperímetro) y voltmeter (voltímetro). La gran novedad es que —según sus autores— estos instrumentos ofrecían lecturas directas en amperios y en voltios, respectivamente. De hecho la ocasión era perfecta ya que apenas se acababa de instituir el sistema de unidades electromagnéticas en el Congreso de Electricidad de París, simultáneo a la Exposición Universal de 1881.

Sin embargo, estos instrumentos fueron contestados y crearon intensas polémicas en la comunidad científica. En primer lugar, la preensión de exactitud en las medidas no era tal en los primeros prototipos. La variación de las propiedades del imán fijo de los instrumentos hacía que estos tuviesen que ser recalibrados prácticamente cada día, lo que, lógicamente, desvirtuaba el interés de éstos. Los problemas se fueron solucionaron pero paulatinamente,



Figura 5. Amperímetro de lectura directa con shunt.

No obstante, el problema no residía tanto en este aspecto como en las prácticas y la cultura experimental asociadas a los nuevos instrumentos. Las mediciones de precisión en que el alumnado era adiestrado en los laboratorios requerían largos y delicados procedimientos así como una pericia o “conocimiento táctico” que sólo se adquiría con la práctica. En este sentido los nuevos amperímetros y voltímetros agilizaban el trabajo porque estos conocimientos tácticos habían sido introducidos en el instrumento por los fabricantes. ¿Pero, cuál era el mérito y el aprendizaje del alumnado a la hora de realizar una medida? ¿La medida, la realizaba él realmente o el investigador que había llevado a cabo las determinaciones absolutas que sirvieron para calibrar el instrumento?

En las polémicas sobre esta cuestión se discutía, por lo tanto, la ética y el valor moral y pedagógico de la introducción de estos instrumentos que profesores como Ayrton y Perry hacían en las prácticas docentes (Gooday, 1995).

Los amperímetros y voltímetros, como ya sabemos, se acabaron imponiendo. Los fabricantes adoptaron en general la taxonomía creada por Ayrton y Perry e iniciaron la comercialización de amperímetros y voltímetros con mejoras substanciales en la precisión.

En la colección hay muchos ejemplares que responden a este patrón, entre los cuales destacaremos por su antigüedad el F-0309, fabricado por Carpentier o el F-0074 manufacturado por la Central Scientific Co. Estos dos instrumentos tienen además la característica de tener más de un rango de medidas. Esto se consigue simplemente por

la adición de resistencias llamadas shunts (véase F-0095, F-0125, F-0153, F-0583, F-0092). De hecho, voltímetro y amperímetro tienen el mismo mecanismo (el de un galvanómetro) pero el primero lleva resistencias en serie para evitar que la corriente que se quiere medir se desvíe por su rama del circuito y altere así el resultado.

Ya en el siglo XX se introdujeron paulatinamente nuevas tecnologías como la válvula o el transistor. El uso de rectificadores ha permitido que se sigan utilizando en los instrumentos de medida sistemas de desviación mecánicos como el de imán fijo y bobina móvil, incluso para medidas de corriente alterna. No obstante, a partir de los años cincuenta se empezaron a introducir varios sistemas de lectura digital. En la colección hay un instrumento (F-0334), que aunque está fabricado a finales de los años sesenta tiene una pantalla digital formada por un conjunto de lámparas de incandescencia, uno de los primeros sistemas. Las lecturas digitales dan un paso más hacia la objetivización del acto de medición, algo que los instrumentos de aguja intentaban conseguir mediante bandas de espejo antiparalelo (véase, por ejemplo, F-0304).

La medida de resistencias y de fuerzas electromotrices

La declaración de Maxwell que encabeza este texto, deja clara la importancia de la medición de resistencias durante la segunda mitad del siglo XIX. E. Jenkin, ingeniero eléctrico que colaboró asiduamente con Maxwell, se expresaba en 1861 en términos parecidos: “Las bobinas de resistencia [...] son ahora tan necesarias para el electricista como la balanza para el químico” (Hunt, 1993). Explotando la metáfora, Hunt añade que se puede comparar las pesas graduadas del químico con las bobinas de resistencia del electricista, siendo entonces la balanza, el puente de Wheatstone.

De hecho J. C. Maxwell estuvo implicado en la construcción de un patrón de resistencia desde la década de los sesenta. Como veremos, lo interesante es la conjunción de factores que intervinieron en la orientación de sus investigaciones. La necesidad de un sistema internacional de unidades electromagnéticas era evidente. Por otra parte, el uso de resistencias se había hecho fundamental en muchos métodos de medida y aplicaciones en pleno desarrollo, como la telegrafía. Por esta razón, Thomson, personalidad dominante en la Física británica, pidió a la British Association for the Advancement of Science (BAAS) la formación de un comité que trabajase en la creación de un patrón de resistencia. Se trataba de construir una definición del ohmio y crear a continuación un patrón preciso y reproducible. Éstos tenían que poder reducirse a las unidades de trabajo, ya consensuadas y aceptadas. Éste es un aspecto muy característico de la Física del siglo XIX (Harman, 1982) y en particular del desarrollo de la electricidad y el magnetismo (Blondel, 1997).

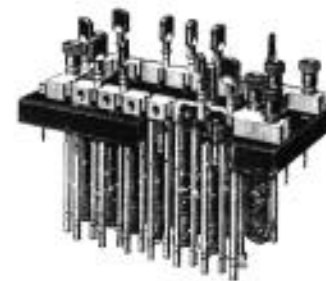


Figura 6. En esta figura se aprecia la estructura de una caja de resistencias, habitualmente cerrada en una caja. Se dispone de una serie de bobinas de hilo con varios valores de resistencias, que se seleccionan mediante clavijas.

Thomson abogaba claramente por la adopción del sistema absoluto de unidades electromagnéticas creado por Weber. Pero este sistema trabajaba con un orden de magnitudes muy pequeño y, por tanto, poco práctico para el campo de la telegrafía. Por eso se decidió construir un patrón de resistencia que tuviese un valor igual a un múltiplo de la unidad de resistencia definida por el sistema de Weber (Hopley, 1957). Como patrón se escogió una bobina de resistencia (hay que tener en cuenta que la referencia de los valores de resistencia a longitudes de cables ya se hacía en tiempos de Wheatstone y era una herramienta habitual en el trabajo del ingeniero de telegrafía).

La determinación experimental, medida absoluta de la resistencia de una bobina de hilo, se confió a J. C. Maxwell, B. Stewart y F. Jenkins. Más tarde, a causa de la complejidad de la determinación que retardaba la creación del patrón, se formaron otros grupos que trabajaron en esta labor. Lo interesante es que esta investigación, en que hay en juego muchos intereses económicos, es al mismo tiempo, para Maxwell, una forma de justificar su teoría electromagnética de la luz, que establece que ésta se produce por el desplazamiento de ondas transversales en el éter electromagnético (Schaffter, 1995). En efecto, para instaurar el sistema de unidades propuesto por la BAAS es necesario relacionar las unidades electrostáticas y las electromagnéticas. La relación es una constante de proporcionalidad que Maxwell denominó v , a cuya determinación dedicará muchos esfuerzos. Su hipótesis de trabajo y herramienta necesaria para justificar la teoría será el hecho de pensar que el valor de esta constante es el mismo que el de la velocidad de la luz.

El congreso celebrado en París en 1881, supone una solución de consenso con respecto a los dos rivales en la comercialización de patrones de resistencia: la BAAS y Siemens. Éste último había creado un patrón arbitrario, formado por una columna de mercurio pero que funcionaba bastante bien en la práctica y se había difundido mucho en la Europa continental. El nuevo sistema internacional adoptó la definición absoluta del ohmio propuesta por la BAAS y el patrón de resistencia propuesto por Siemens.

El proceso de adopción de las unidades internacionales para el resto de magnitudes electromagnéticas tiene puntos comunes con el caso del ohmio y lo cierto es que no nos podemos extender más aquí sobre el tema.

En la colección de la Universitat de València podemos ver una caja de resistencias de fabricante francés (Q-0108) de finales del siglo XIX, que lleva inscrito en la plancha "Ohms internationaux" (i.e. Ohmios internacionales). El instrumento actúa así como difusor al exterior del mundo del laboratorio, el de las determinaciones absolutas que ha llevado a la creación de un patrón material y un sistema de unidades consensuado por la comunidad científica. Como sugiere Latour, un mapa de carreteras en nuestras manos no tendría sentido si las carreteras no estuviesen a su vez rotuladas (Latour, 1987).



Figura 7. Caja de resistencias, Facultad de Química. Núm. inv. Q-0108. Universitat de València.

Hay otros patrones más modernos en la colección pero que demuestran su importancia y necesidad en un laboratorio, como por ejemplo las pilas F-0156 y F-0157.

Una vez se tiene un buen patrón es cuando intervienen instrumentos como los puentes que permiten medir magnitudes como la resistencia o la capacidad por comparación con el patrón. Muchos de estos instrumentos utilizan métodos de cero. En éstos se sitúa un galvanómetro en el circuito de forma que cuando la lectura es cero se sabe que se ha obtenido un balance entre la resistencia que se quiere medir y las resistencias de valor definido usadas. La mayoría de los galvanómetros de escala traslúcida, que ya hemos tratado en el punto anterior, tienen escalas centradas en cero, aspecto que delata que se han concebido para usos de este tipo.

De entre todos los puentes de resistencias el más famoso y familiar es, sin duda, el de Wheatstone. Incluso un importante fabricante de instrumentos, la Cambridge Instrument Co. utilizó un esquema de su circuito para el logotipo.

De hecho, el montaje experimental, que hoy en día se conoce con este nombre, fue presentado por primera vez por S. Christie (Christie, 1833). Diez años más tarde, Wheatstone presentó un montaje con la misma estructura que llamó "medidor diferencial de resistencia". Con éste se mostraba que el método se podía utilizar para medir resistencias, al transformar el montaje en un instrumento y difundirlo. Originalmente la obtención del equilibrio en el circuito se hacía mediante la adición de resistencias de valores discretos. Más tarde se substituyeron por resistencias de hilo con cursor o por reóstatos. Este último instrumento (con numerosos ejemplares para la enseñanza en la Universitat de València) fue introducido en el mismo artículo por Wheatstone que además lo bautizó con este nombre, partiendo de la raíz griega rheo que significa corriente (Bowers, 2000).

La colección dispone de numerosos ejemplares, desde los fabricados por Ducretet o Carpentier a los más modernos de Tinsley & Co., desde modelos didácticos a puentes para telegrafía. Evidentemente hay otros tipos de puentes, algunos, como el de Wheatstone, con alguna capacidad en lugar de resistencia, otros con esquemas distintos como el Kelvin, para la medida de resistencias muy pequeñas. También hay ejemplares de puente de Kohlrausch que tiene el mismo circuito pero se destina a la medida de la resistencia de los electrolitos. Con este objetivo no se puede usar corriente continua porque penetraría en el



Figura 8. Puente de Wheatstone, Facultad de Física. Núm. inv. F-0073. Universitat de València.

líquido y variaría su composición química. Por esta razón se usa la corriente alterna y en lugar de un galvanómetro un auricular de teléfono. Fig. 9

Poggendorff también se encuentra con este problema hacia 1841. Se trataba de idear métodos para medir la fuerza electromotriz de las pilas. Pero en la época las pilas eran líquidas, por eso existía el mismo problema. Este hecho le llevó a diseñar un montaje experimental en que la corriente de la pila se viese compensada por una corriente en sentido contrario. Se trataba de un método de cero como el de Wheatstone. Al principio varió la fuerza electromotriz variando el número de pilas de referencia incluidas. Poco después se dio cuenta que era más sencillo utilizar una resistencia variable con la misma finalidad. Aunque hubo muchas contribuciones posteriores al problema y también desarrollos del instrumento, el montaje experimental de Poggendorff es, fundamentalmente, el potenciómetro que conocemos hoy en día. (Rutenberg, 1939)

Éste es un instrumento versátil con numerosas aplicaciones en electricidad pero también en Química, por ejemplo en el análisis de las concentraciones de soluciones (Koltzoff, 1931; Hiltner, 1936).

Visualizar las ondas electromagnéticas. El osciloscopio

La historia del osciloscopio se desarrolló entre varias áreas de la Física, como la acústica, la óptica y la electricidad y el magnetismo. Algo que de hecho, como hemos visto, es bastante característico del siglo XIX. La necesidad de un instrumento que permitiese observar y analizar las ondas eléctricas fue quizás más urgente a principios del siglo XX, por la generalización del uso de la corriente alterna.

A lo largo del siglo XIX se desarrollaron varios métodos para obtener información sobre las características de las ondas, en muchos casos relacionados con el análisis de otros movimientos vibratorios como el sonido.

En los años treinta del siglo XIX, Wheatstone introdujo una innovación importante con su método de análisis del movimiento vibratorio mediante un espejo giratorio. La observación por medio de este sistema, de una luz parpadeante o un objeto que vibra permiten ver franjas luminosas y negras o una línea con forma de onda, respectivamente. Así se podían observar las oscilaciones de la luz producida por una chispa eléctrica o los movimientos vibratorios de un objeto imanado sometido al campo magnético producido por una corriente variable. En los años ochenta, el francés Jules Joubert introdujo una versión eléctrica de los métodos ópticos estroboscópicos usados para la observación de los movimientos angulares. Lo que se llamó entonces el método de Joubert, permitía obtener distintos valores de voltaje de un circuito eléctrico, en tiempos diferentes, de forma que punto por punto, se podía reconstruir la onda eléctrica. Este procedimiento era largo y tedioso, según un autor de principios del siglo XX, la descripción de una sola onda podía comportar de "cuatro a cinco horas" de trabajo. Por ello sólo era aplicable a ondas eléctricas estacionarias y no a fenómenos de corta duración (Philips, 1987).

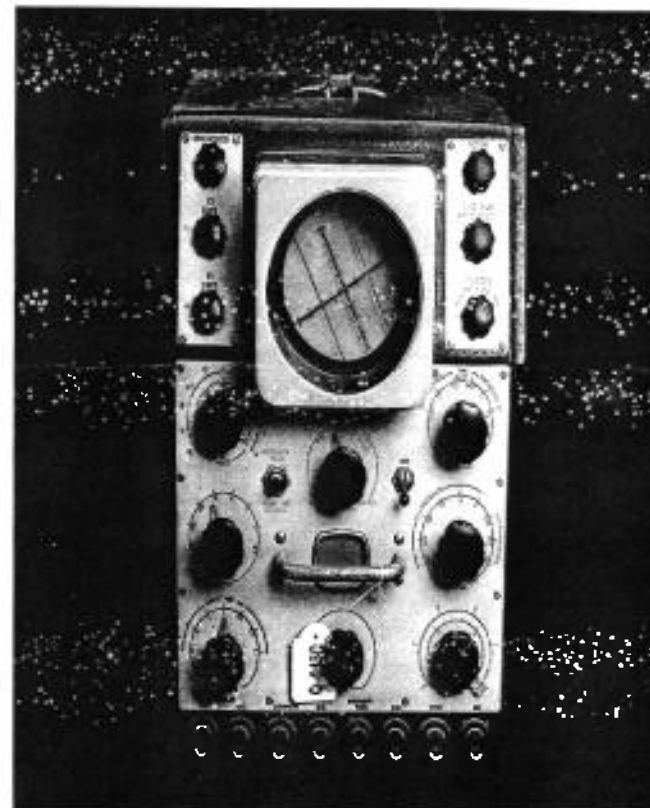


Figura 9. Osciloscopio de haz doble. Núm. inv. Q-0130. Universitat de València

Todos estos métodos desarrollados en el siglo XIX, se abandonaron paulatinamente con la aplicación de los tubos de rayos catódicos al estudio de las ondas electromagnéticas. Gracias a las investigaciones de autores como el alemán Ferdinand Braun (1850-1918), surgieron los modernos osciloscopios que se convirtieron en pieza fundamental de los laboratorios de Física después de la Segunda Guerra Mundial. La parte principal de este aparato es un emisor de electrones. Un haz de éstos pasa entre dos pares de placas entre las cuales se aplican campos electrostáticos deflectores horizontales y verticales, respectivamente. Finalmente, las partículas inciden sobre una pantalla fluorescente. El haz de electrones es desviado proporcionalmente a la corriente aplicada a las placas y la observación de la desviación en la pantalla permite deducir sus características. En general, conviene conocer la frecuencia de la corriente aplicada, y así se pueden hacer medidas de tensión, frecuencia y otras variables de un circuito eléctrico, que permiten comprobar los componentes electrónicos (rectificadores, diodos, puentes de corriente alterna) o equipos de comunicaciones (micrófonos,

radios, televisores) (Lenk, 1971). Esta gran variedad de usos, y las aplicaciones a la enseñanza, explica el gran número de osciloscopios que hay en la colección, tanto en la Facultad de Física (F-004, F-0244, F-0245, F-0248, F-0318, F-0340, F-0557) como en la de Química (Q-0130) o en la Escuela de Magisterio (M-0067, M-0069, M-0126). Entre éstos se puede destacar uno de los primeros osciloscopios de haz doble (Q-0130), introducidos en los años cincuenta, que permiten analizar dos señales simultáneamente gracias al revestimiento de fósforo que mantiene cierto tiempo el rastro de los electrones.

La colección de instrumentos científicos del Departamento de Termodinámica

Petxo Ruiz Castell
Departamento de Historia de la Ciencia y Documentación
Universidad de Valencia

A principios del siglo XX la universidad española introdujo los llamados cursos de Extensión Universitaria. Fue en el ámbito de estos cursos que la Facultad de Ciencias de la Universitat de València, durante el período comprendido entre los años 1919 y 1924, impartió sus primeras lecciones de termodinámica, dirigidas a los propios estudiantes universitarios y a personas con un mínimo nivel cultural (Sánchez Sancho, 1998). Con el tiempo, esta área del conocimiento no sólo demandaría un cada vez mayor número de instrumentos con que ilustrar sus principios, sino que terminaría por convertirse en uno de los departamentos de la futura Facultad de Ciencias Físicas de la Universitat de València.

La colección de instrumentos científicos que alberga el Departamento de Termodinámica de la Universitat de València está compuesta por más de un centenar de aparatos. Por lo general, se trata de aparatos de reducido tamaño, ya que la mayoría no excede el medio metro en cualquiera de sus tres dimensiones espaciales. Los materiales con los que han sido fabricados, sin embargo, varían mucho de unos a otros. Realizar una descripción completa de todos estos instrumentos, diseñados para cumplir muy diversas funciones, es una tarea que requiere un estudio exhaustivo y sistemático que se escapa de las pretensiones de este texto. Lo que en estas líneas abordaremos es tan sólo una pequeña parte de la colección, aquella vinculada en gran medida a la meteorología. La obsesión por la predicción del tiempo y el control de la temperatura, esta última especialmente importante en una sociedad cada vez más industrializada, fueron la permanente motivación para inventar y mejorar algunos de los aparatos que presentaremos a continuación. Se trata, sin lugar a dudas, de un campo en el que la aplicación de los principios de la termodinámica ha resultado especialmente prolífica, en cuanto a la construcción de instrumentos científicos se refiere.

Higrómetros

Distintos instrumentos han servido a lo largo de la historia para medir la humedad atmosférica. Desde el siglo XV, los llamados higrómetros higroscópicos, aparatos sensibles a cambios en su peso o dimensiones como resultado de absorber humedad en forma de vapor de agua, han servido para ello. Sin embargo, el gran desarrollo de estos