

UNA PROPUESTA PARA LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA A TRAVÉS DE APARATOS ANTIGUOS

Instrumental científico antiguo del Departamento de Física Aplicada de la E.U.P. de Linares (Universidad de Jaén)

Por *J. A. Maroto Centeno*
Doctor en Ciencias Físicas.
Prof. Dep. Física Aplicada (U. Jaén)

P. Lupiáñez Cruz
Ingeniero Técnico Industrial.
Director E.U.P. Linares

Resumen

La Escuela Universitaria Politécnica de Linares (Universidad de Jaén) goza de una gran antigüedad. Este hecho explica la existencia de un importante instrumental científico antiguo, que se encuentra distribuido entre diversos laboratorios de este centro. El objetivo básico de este trabajo es el estudio del ubicado en el Departamento de Física Aplicada. Así, se analizan las posibilidades que ofrece este instrumental: primero, el estudio de los principios de la Física desde una perspectiva histórica, incidiendo en el análisis de la red de teorías antiguas; segundo, la investigación de los creadores de los aparatos como personajes científicos y como individuos; y tercero, y quizás lo más interesante, la utilización de este instrumental científico antiguo, debidamente clasificado y restaurado, como una herramienta pedagógica de primer orden. Se expondrá la metodología de trabajo, que quedará ejemplifi-

Abstract

The Polytechnical School of Linares (University of Jaén) has a high antiquity. This fact can explain the existence of an important ancient scientific set of instruments, which is placed in several laboratories of this teaching institution. In this work, we specifically study the ancient scientific set of instruments placed in the laboratory of the Applied Physics Department. We analyze the possibilities of this set of instruments: first of all, we carry out the study of the Physics principles from a historical point of view, but we touch upon the network of ancient theories; secondly, we investigate the apparatus inventors, but, above all, we study their scientific and human facets; finally, and perhaps the most important matter, we take

cada con el estudio del aparato que muestra el achatamiento de la Tierra (fuerza centrífuga). Para finalizar, se presenta un listado de aparatos antiguos de que se dispone clasificados según las distintas ramas de la Física.

into account the use of this ancient scientific set of instruments, which are properly classified and restored so that it can be used as an important pedagogical tool. Next, we show the work methodology, which will be illustrated with the apparatus that shows the Earth surface deformation (centrifugal force). Finally, we show the list of the ancient Physics apparatus, which are classified in several topics.

1. INTRODUCCIÓN

PARA fijar los orígenes de la Escuela Universitaria Politécnica de Linares, hay que remontarse al año 1892 en que fue fundada la «Escuela de Capataces Minas» y al año 1910 en que fue fundada la «Escuela Industrial», lo que la convierten en el centro más antiguo de la Universidad de Jaén. En cuanto a la Escuela de Minas, fue creada por Real Decreto dado por la Reina regente María Cristina en nombre del Rey Don Alfonso; como se indica en la exposición de tal Real Decreto, se dice que:

«Uno de los medios de fomentar la industria minera, felizmente desarrollada en España desde hace algunos años, es el de difundir aquellos conocimientos con que ha de ser más útilmente ejercida, procurando de tal modo secundar los esfuerzos de la actividad privada»;

también se añade que:

«No es, sin embargo, todo lo numeroso que debiera el personal práctico de Minas, ni la difusión de la enseñanza necesaria para el engrandecimiento de las fuerzas vitales de la Nación...».

en este contexto, finalmente se apunta que:

«En tal situación, es altamente satisfactorio observar las nobles iniciativas de localidades como la de Linares, centro de operaciones mineras en la

provincia de Jaén, al solicitar la creación de una Escuela de Capataces, ofreciendo contribuir en gran parte al sostenimiento de dicha enseñanza».

De esta manera se entiende el gran lazo que une a los estudios de minas con la fuente natural de riqueza minera de la comarca de Linares, lo que facilitó la creación de la escuela, siendo su primer director don Manuel Rey Pontes.

En cuanto a la Escuela Industrial, hay que aguardar hasta su fundación en el año 1910 por Real Decreto de 16 de julio, gracias a la mediación y a los esfuerzos del Ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes, don Julio Burell y Cuéllar.

Desde la finalización de la Guerra Civil española, ambas escuelas dependen de la recién creada Dirección General de Enseñanzas Técnicas del Ministerio de Educación y Ciencia, y tienen directores independientes.

En el año 1972, las dos escuelas, denominadas entonces de Ingeniería Técnica Industrial e Ingeniería Técnica Minera, pasan a convertirse en Escuelas Universitarias, dependientes de la Universidad de Granada. En el seno de esta Universidad, mediante Real Decreto de 18 de junio de 1976, se fusionan dando lugar a la creación de la Escuela Universitaria Politécnica.

Finalmente, con fecha 1 de julio de 1993, y en virtud de la Ley 5/1993 de creación de la Universidad de Jaén, la Escuela Universitaria Politécnica de Linares pasa a integrarse a esta Universidad.

Esta breve recapitulación histórica deja bien claro cómo, desde el principio, la actividad de las dos escuelas se centra en acompañar y promover el desarrollo industrial de la provincia de Jaén, aportando profesionales capacitados. Sin ningún género de dudas, la Escuela de Ingenieros Técnicos sigue siendo actualmente (quizás, más que nunca) un puntal básico para la vida de la ciudad de Linares, ofreciendo una amplia gama de estudios de Ingeniería de reconocido prestigio.

En este ámbito, es de general desconocimiento el importante instrumental científico antiguo que la Escuela alberga entre los diversos laboratorios y vitrinas pertenecientes a los antiguos centros. En concreto, el trabajo que aquí presentamos trata de divulgar, en la forma de estudio que pretende ser riguroso, el instrumental de Física que se encuentra alojado en el laboratorio del departamento de Física Aplicada. Este material consta de aparatos y

dispositivos que, básicamente, ejemplifican los Principios de la Física. Para calibrar su verdadero valor hay que recordar la antigüedad de la escuela, lo que implica que algunos de ellos fueron adquiridos hace más de cien años. En cuanto a los medios para su adquisición, sabemos que los de más valor fueron adquiridos en la época anterior a la creación de los actuales departamentos (años 80). El método para su adquisición fue por medio de partidas enviadas de manera independiente por el Ministerio, o en respuesta a peticiones por parte del director de cada escuela. Nos consta que desde la creación de los departamentos, este material y otro de distinto género es administrado por ellos en función de su grado de afinidad. De esta manera, la mayor parte del aparataje antiguo sobrevive en los laboratorios de los departamentos de Física Aplicada, Ingeniería Química y, en menor medida, en los departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica.

El arduo trabajo realizado hasta ahora con el instrumental científico antiguo perteneciente al departamento de Física Aplicada, fructificó parcialmente durante el curso 1996/97 con la exposición que, con el patrocinio de la Escuela Universitaria Politécnica de Linares, se llevó a cabo en este centro del 21 de enero al 7 de febrero de 1997. Se trató de una exposición de 64 aparatos, divididos en diversas áreas y que, tras su clasificación, catalogación y limpieza, fueron expuestos e incluso, muchos de ellos, puestos en marcha diariamente.

El objetivo básico de este artículo, es el de aportar un buen número de datos de diversa índole que ayuden a calibrar la verdadera importancia y las posibilidades de este instrumental. En los siguientes apartados trataremos de responder a esta interrogante para, finalmente, mostrar con un ejemplo su utilidad como recurso didáctico de primer orden.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Debemos de plantearnos cuáles son las posibilidades que ofrece el instrumental científico antiguo de Física. ¿Para qué pueden servir, o qué utilidad tienen estos aparatos? Podemos responder a esta pregunta argumentando tres cosas:

1.º) Estos aparatos ayudan a familiarizarse con los Principios de la Física, pero desde una perspectiva histórica y no pedagógica, que es la seguida habitualmente en cualquier curso de Física y por la mayoría de los libros de Física de cualquier nivel. Este es un punto más importante de lo que

parece: al considerar el marco histórico no sólo aparece la figura del creador del aparato, con todas las condiciones sociales, culturales y geográficas que lo rodean, sino también la visión particular del universo físico de la época. Este salto en el tiempo se advierte de manera clara al consultar algunas de las obras antiguas (1, 2, 3) que han servido de base para la catalogación de los aparatos. Así, por ejemplo, en el año 1900 en que fue editado el «Curso Elemental de Física Moderna» (2) aún se desconocía la estructura atómica de la materia, que tanto influye en nuestra concepción de la electricidad. Como sabemos, habría que esperar hasta 1908 en que E. Rutherford y H. Geiger la inician al bombardear con partículas α un pan de oro de unas cuantas diezmilésimas de espesor; de ahí que, en esta obra, tras reconocer que se desconoce su naturaleza, se plantean las tres hipótesis vigentes en esos años:

i) Hipótesis de los dos fluidos: que considera a la electricidad como compuesta por dos fluidos, uno vítreo (positivo) y otro resinoso (negativo), cuya combinación da lugar al estado neutro (Teoría de B. Franklin).

ii) Hipótesis del éter: el éter en movimiento a lo largo de los conductores constituiría la corriente eléctrica, siendo el éter condensado la electricidad positiva y el éter enrarecido la negativa.

iii) Hipótesis de las ondulaciones: La electricidad sería un movimiento vibratorio y ondulatorio del éter (teoría apoyada por H. Hertz y J.C. Maxwell).

Evidentemente, cualquier descripción de un aparato concreto conlleva la utilización de la teoría dominante o afín al autor, lo que conduce a la posibilidad de acceder al conocimiento de toda esta red de teorías antiguas a través de los aparatos antiguos.

A modo de ejemplo, y retomando las tres hipótesis anteriores sobre la naturaleza de la electricidad, puede ser aleccionador incluir un extracto del libro *Manual de Física y Nociones de Química* (1), en donde se describe un condensador de placas (de láminas de vidrio) que, por cierto, forma parte de nuestra colección de antigüedades:

«El fluido libre que se dirige sobre el platillo colector A, descompone por influencia el natural del platillo B, atrae el de nombre contrario hacia la cara que toca al vidrio y repele a la tierra el de igual nombre».

Aquí es evidente la hipótesis que se utiliza.

Esta línea que presentamos es la defendida por algunos famosos historiadores e investigadores de la ciencia como V. Zoubov (4), que afirma:

«creo en la imposibilidad de dar un análisis de las ideas científicas y de su evolución sin tener en cuenta el medio histórico».

Así mismo, N. Bourbaki (5) indica la conveniencia, al analizar un campo científico dado:

«de mostrar tan claramente como sea posible, las ideas que fueron directrices y como tales se desarrollaron e influyeron entre sí».

Finalmente, e incidiendo en este punto, R. Taton (6) indica lo siguiente:

«un estudio de este género permite valorar adecuadamente la profunda significación de ciertas líneas de investigación mal comprendidas en su momento, pero que de hecho prefiguraban orientaciones que ulteriormente se revelaron muy fecundas».

2.º) Aparte de ésto, del conocimiento de las ideas físicas bien encuadradas a través de los aparatos, es evidente que el estudio del instrumental científico antiguo invita a la investigación de sus creadores, como personajes científicos y como individuos.

Sobre la importancia relativa de este punto se ha escrito mucho. Encontramos quizás el desafortunado precedente de las biografías elaboradas en el siglo XIX que, aunque reposando a menudo sobre una documentación bastante importante, estaban concebidas sin ningún sentido crítico e inspiradas por un culto excesivo al «héroe» (6). Como precedente más antiguo, cabe mencionar en la antigua Grecia los trabajos de Eudemo y los Doxógrafos, que consideraban que lo esencial no es la persona sino el descubrimiento o el problema (4).

Actualmente, la importancia de las biografías científicas en el campo de la Historia de las Ciencias puede quedar bien resumida con palabras del propio R. Taton (6):

«Ciertamente, como todos los métodos de análisis histórico, el último de los mencionados, el de la biografía científica, tiene limitaciones propias y no es el más adecuado para el estudio de todos los problemas. Sin embargo, siendo cada descubrimiento o cada innovación científica, al menos en su detalle, la obra de individuos particulares, es a través de éstos que intervienen los diversos elementos que la condicionan, sean psicológicos, internos a la ciencia en cuestión, o externos a ella. La biografía cien-

tífica aparece de esta manera como la mejor vía para estudiar el proceso de creación y para analizar las influencias respectivas entre sus diferentes elementos».

Sin embargo, si nuestro esfuerzo se centra en conocer a hombres de ciencia (físicos en nuestro caso) a través de los aparatos que crearon y que les sirvieron de base para nuevos descubrimientos, hemos de reconocer que estamos privilegiando al físico experimental frente al teórico. No hallaremos en este estudio a figuras de la importancia de A. Einstein, A.M. Ampère o R.J.M. Clausius. Ante esto nada se puede decir, sino que nuestras pretensiones no son las de cubrir exhaustivamente el vasto universo de la Física y sus creadores, sino el de realizar un análisis metódico pero limitado al material disponible. De lo que no cabe duda es de que cada aparato antiguo abre una puerta y nos invita al conocimiento de su creador. Nosotros resaltaremos, como no podía ser de otra forma, su faceta científica, aportando cuantos datos sean necesarios para comprender las motivaciones o líneas de investigación que lo llevaron a la creación de ese aparato y acompañando otros para esbozar su perfil científico.

3.º) Es importante señalar que los aparatos antiguos de Física sirven para mostrar «in situ» los Principios de la Física. Una labor seria de estudio, recuperación y reconstrucción de los aparatos ya ha demostrado que puede llegar a hacerlos funcionar. Y las posibilidades de este punto son evidentes: sirven como herramienta pedagógica para comprender cualitativa y cuantitativamente Leyes y Principios de cierta dificultad teórica. Es cierto que hoy día disponemos de modernas prácticas de laboratorio con las que tratamos de formar a los futuros Físicos e Ingenieros, pero estamos hablando en algunos casos de las copias o imitaciones de los «originales» que sirvieron para extender los límites del conocimiento y sus aplicaciones (hemisferios de Magdeburgo, máquina neumática, pila de columna, jarras de Leyden, experiencia de Oersted, etc). Y no sólo esto, no es descabellado afirmar que las prácticas modernas de Física, sobre todo en el caso de las destinadas a estudiantes de Ingeniería, tienen como principal objetivo adiestrar a los estudiantes en la medida de longitudes, tiempos, masas, etc.; de esta manera, se suele dar preferencia al proceso de medida y tratamiento posterior de datos experimentales. En contrapartida, muchos de los aparatos antiguos de que disponemos muestran cualitativamente un Principio de la Física, por lo que centran nuestra atención en él y sólo en él; así, podríamos mencionar la demostración hidráulica de la absorción térmica del cuerpo negro, el elec-

trómetro de panes de oro (presencia de cargas de igual signo que se repelen), anillo de S'Gravesande (dilatación de sólidos), aparato de Faraday (Ley de Faraday), verificador en vidrio del Principio de Pascal, etc. En cuanto a los cuantitativos, deja de ser una incógnita para nosotros los Principios o mecanismos que conllevan una medida: así, mientras es difícil explicar con pocas palabras el funcionamiento interno de un polímetro, es muy sencillo e interesante analizar la mecánica interna de un galvanómetro de Nobili o uno de Deprez D'Arsonval.

Finalmente, hay que señalar dentro de este punto, una de las posibilidades que últimamente se están explorando y que ofrece más alicientes: la utilización conjunta de material antiguo y moderno que, en algunos casos, puede transformar el carácter cualitativo de un aparato en cuantitativo. Así, la utilización de la Rueda de Barlow junto con una fuente de tensión, un polímetro y un contador de impulsos, ha permitido verificar la fórmula física que expresa la fuerza ejercida por un campo magnético sobre una corriente, objetivo para el cual no fue creado. Este trabajo, debe considerarse, tanto en cuanto a su dificultad como en cuanto a su interés, como un trabajo de investigación dentro del campo de la Pedagogía de la Física y, de hecho, se encuentra en vías de publicación.

Del análisis de los objetivos generales a cubrir en el proceso de estudio, restauración y puesta en marcha de este instrumental científico antiguo de Física, podemos derivar una metodología de trabajo, que será la que llevaremos a cabo en el siguiente epígrafe, a modo de ejemplo, con uno de los aparatos. El método de trabajo incluiría:

– Descripción, si se tiene información, de la Casa Fabricante, fecha de fabricación y adquisición.

– Una vez hecho esto, establecer de manera clara el Principio Físico que ejemplifica, describiendo su funcionamiento para que resulte comprensible para alguien versado en las Ciencias Físicas.

– Si se trata de una copia o imitación de un original famoso o aparato patentado, indicar la fecha de creación del original y situarlo junto a la Ley o Principio teórico en su contexto histórico. En este caso, aclarar si el autor u otro científico lo utilizó para llevar a cabo alguna medida importante o famosa. Discutir los posibles cambios de concepción de la Ley o Principio que ejemplifica.

– Esbozo del creador del aparato: estudio de las motivaciones que le indujeron a su construcción; análisis de su formación científica, su concepción de la Física, sus contactos con otros científicos que influyeron en él, su faceta humana.

5. ESTUDIO DEL INSTRUMENTAL CIENTÍFICO ANTIGUO. UN EJEMPLO ILUSTRATIVO

Al final de este epígrafe presentamos, divididos en varias secciones, el listado de los aparatos antiguos de Física que ya han sido identificados y clasificados. Queremos, no obstante, aclarar que aún restan algunos (que bien pudieran llegar a la veintena) cuyo nombre y función se desconocen y son objeto de estudio.

En cualquier caso, presentamos a continuación el análisis de uno de ellos siguiendo la metodología y los procedimientos descritos anteriormente:

EJEMPLIFICACIÓN DEL ACHATAMIENTO DE LA TIERRA (FUERZA CENTRÍFUGA)

Este aparato, de autor desconocido, muestra de manera simple el achatamiento de la Tierra por los polos debido a la acción de la fuerza centrífuga. Se conservan dos modelos en nuestro departamento, uno sin ninguna placa o reseña identificativa, muy pesado (construido en plomo) y otro, construido en madera, que presenta una placa de la casa fabricante en la que puede leerse: «Material instructivo moderno. J. Esteva Marata. Ronda Universidad, 37. Barcelona». Ambos gozan de gran antigüedad; en concreto, el segundo de ellos podría haber sido fabricado en los años 40 ó 50.

Aunque presentamos una fotografía de uno de los modelos en las páginas finales, hemos creído de interés incluir una descripción detallada del aparato, recogiendo las frases del profesor D. Manuel Fernández de Figares (1):

«Consta de dos láminas flexibles de acero, cruzadas en ángulo recto, a la manera de dos anchos meridianos terrestres; en la parte superior dejan una superficie anular por donde pasa el eje y a lo largo del cual corren mientras dura la rotación que se les imprime. Puesto el aparato en movimiento, por medio de un manubrio, y transmitiéndolo por una cuerda sin fin, la forma esférica de las cintas desaparece, reemplazándola otra bastante parecida a la de la Tierra por su aplanamiento».

La física que explica este fenómeno, en el caso de la Tierra, es simple: como sabemos, la Tierra goza de un movimiento de rotación alrededor del eje vertical que une los polos. Este movimiento de rotación se verifica con una velocidad angular constante $\omega = 1 \text{ rev}/24\text{h}$. El movimiento de giro trae consigo la aparición de una aceleración centrífuga, en cada punto de la tierra, de módulo:

$$a_c = \omega^2 R$$

siendo R el radio de la circunferencia trazada por ese punto en su movimiento. La dirección de esa aceleración es la de la recta que une el punto con el centro de la circunferencia, y el sentido alejándose de la Tierra. Como sabemos, la velocidad angular ω es la misma para todos los puntos de la Tierra (un día dura 24 horas en cualquier punto de la Tierra), mientras que el valor de R es variable. Esto implica que la fuerza centrífuga es mayor en el ecuador y disminuye al alejarnos de él; esta situación es la que tratamos de visualizar en la figura 1, donde también aparecen las latitudes α_1 y α_2 de dos puntos de la superficie de la Tierra, así como los vectores normales n_1 y n_2 a la superficie de la Tierra en esos puntos, con vistas a futuras reflexiones.

Se comprenderá que este valor variable de la aceleración centrífuga (y, por tanto, de la fuerza centrífuga) provocó, en los tiempos primitivos de nuestro planeta un achatamiento de su superficie, cuando debido al calor se hallaba todavía en un estado pastoso.

Una vez entendido esto, es necesario apuntar que tanto la fuerza centrífuga como el achatamiento de la Tierra tienen su influencia en el valor del peso en un punto dado de la superficie de la Tierra. Efectivamente: el peso resulta de la gravedad propiamente dicha y de la acción en sentido opuesto de la componente radial de la fuerza centrífuga. Esto provoca la disminución del campo gravitatorio efectivo al acercarnos al ecuador, lo que podemos expresar como:

$$g_{\text{efec}} = g_{\text{grav}} - a_{c,\text{radial}} \quad (2)$$

donde, evidentemente $a_{c,\text{radial}} = a_c \cdot \cos(\alpha)$. Obsérvese en la figura 1 cómo al acercarnos a los polos disminuye a_c pero también su componente radial (el valor que nos interesa, $a_{c,\text{radial}}$) al aumentar el valor de la latitud α . Obviamente, el valor de $a_{c,\text{radial}}$ es 0 en los polos y toma su valor máximo en el ecuador. Este valor podemos calcularlo, recordando que $\omega = 1 \text{ rev}/24\text{h} = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$ y que el radio de la Tierra (valor medio) vale 6.370 Km., lo

que nos da un valor de la aceleración centrífuga en el ecuador (que en este caso coincide con $a_{c,radial}$) de 0.033 m/s^2 . Como vemos, este valor afecta a la tercera cifra significativa del valor promedio de g (9.81 m/s^2) y se trata de una influencia pequeña pero mensurable.

Por otro lado, el achatamiento de la Tierra influye en el valor de g_{grav} y, por lo tanto, en el de g_{efec} . lo que se comprenderá al analizar la Ley de la Gravitación Universal, según la cual:

$$g_{grav} = G \frac{M_T}{R_T^2} \quad (3)$$

donde $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$ es la constante de la Gravitación Universal, $M_T = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ es la masa de la Tierra y R_T es la distancia del punto de la superficie considerado al centro de la Tierra (si no se considerara el achatamiento sería simplemente el radio de la Tierra).

Evidentemente, al no ser nuestro planeta una esfera perfecta, las variaciones de la distancia de un punto dado de la superficie al centro de la Tierra, se manifiestan en una variación de g_{grav} . Debido al achatamiento de la Tierra (analícese la influencia de R_T en la ecuación (3)) nos encontramos con que el valor de g_{grav} disminuye conforme nos acercamos al ecuador, esto es, un comportamiento cualitativo similar al provocado por la fuerza centrífuga. Podemos estimar de que orden puede llegar a ser esta variación en g_{grav} debido a la forma de la Tierra, teniendo en cuenta que el achatamiento de la Tierra tiene un valor de $1/297$ y evaluando la siguiente expresión:

$$\Delta g_{grav} = G \frac{M_T}{R_T^2} - G \frac{M_T}{\left(R_T + \frac{1}{297} R_T\right)^2} \quad (4)$$

que toma un valor de 0.065 m/s^2 , lo que nos indica que es del mismo orden de magnitud que la alteración en el valor de g_{efec} provocado por la fuerza centrífuga.

Una vez comprendida la teoría, podemos pasar al análisis histórico del problema, pues aunque nuestro sencillo aparato es de paternidad desconocida, no lo es ni mucho menos la historia que aclara cómo se descubrió el achatamiento de la Tierra, lo que nos pondrá en contacto con dos físicos de importancia capital.

El primero de ellos es el inglés Sir Isaac Newton (1642-1727), la «Gran Vaca Sagrada de la Física», como se le suele denominar, pues está considerado como el mayor físico de todos los tiempos. La obra principal de New-

ton es su *Philosophiae naturalis principia Mathematica*, que consta de tres partes. En la primera se definen los conceptos de masa, cantidad de movimiento, inercia y fuerza, muchos de los cuales conservan hoy día su significado original. A partir de ahí formula las tres leyes básicas que fundamentan la Mecánica, de las cuales sólo la tercera es genuina de Newton. Este hecho es reconocido por el propio autor, que atribuye la primera ley a Galileo y la segunda a Kepler, lo que no ha impedido que el conjunto de las tres leyes hayan pasado a la historia con el nombre de «Leyes de Newton». En la tercera parte los «Principia», Newton aborda el problema de la Gravitación Universal. La hazaña de Newton consistió en darse cuenta de que una y la misma fuerza, la gravedad, es responsable tanto de la caída de una piedra como del movimiento de los cuerpos celestes, idea que según reza la leyenda, tuvo el genial físico al ver caer una manzana de un árbol. Para establecer la dependencia de la fuerza de la gravedad con la distancia al centro de la Tierra, Newton decidió comparar (siguiendo una simple deducción matemática que puede encontrarse en la referencia (7)) la caída de una piedra (o una manzana) sobre la superficie terrestre con el movimiento de la Luna, que puede ser considerado como una caída sin fin. De esta forma determinó el valor de la gravedad en la luna (0.27 cm/s^2), lo que junto con los datos conocidos de la distancia Tierra- Luna, del radio de la Tierra y el valor de la gravedad en la superficie de la Tierra (981 cm/s^2), le permitió llegar a la conclusión de que las fuerzas de la gravedad terrestre decrecen con el inverso del cuadrado al centro de la Tierra. Generalizando este descubrimiento a todos los cuerpos materiales del Universo, Newton formuló la ley de la gravitación universal (expresada matemáticamente según la fórmula (3)), según la cual:

«Todo cuerpo material atrae a otro con una fuerza directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos».

Mediante la aplicación de esta ley al movimiento de los planetas en torno al Sol, derivó matemáticamente las tres leyes de Kepler. Pero también le sirvió la aplicación de esta ley para tratar el problema de la forma de la Tierra. En aquellos tiempos se creía que la Tierra tenía forma de melón, siendo la distancia entre los polos mayor que el diámetro ecuatorial. Combinando la atracción recíproca de las partículas con la fuerza centrífuga (ver referencia (8)), Newton comprendió que la Tierra no tenía forma esférica; sus cálculos teóricos le indicaban que tenía la forma de un elipsoide de revolu-

ción con un achatamiento de $1/230$. De manera colateral, este resultado le permitía comprender y explicar el fenómeno de la precesión de los equinoccios, conocido desde los tiempos de Plutarco.

Pero este resultado, así como la ley (de la gravitación universal) que le servía de herramienta para su deducción, no fueron admitidos inmediatamente. Como en otros muchos problemas de la física de su tiempo, Newton tuvo un antagonista, y en este caso se trató del holandés natural de La Haya, Cristian Huygens (1629-1695). Aunque este científico es más conocido por su teoría de la luz expuesta en su libro *Traité de la Lumière*, también se ocupó del problema del peso y, por ende, del de la forma de la Tierra. Para ser rigurosos (ver referencia (9)) habría que hablar primeramente de su libro *Hologorium Oscilatorium*, en el que, perfeccionando los estudios galileanos sobre las oscilaciones del péndulo, se ocupó del péndulo físico y matemático, además de inventar y presentar el volante estabilizador de las oscilaciones en los relojes de péndulo. Como fruto de este trabajo y de su profundo conocimiento del tema, se propuso establecer una unidad de longitud que sirviera en todos los países y que fuera un patrón aceptable para la comunidad científica. Para ello pensó en la longitud del péndulo simple que bate segundos (es decir, un péndulo, cuyo período de oscilación vale dos segundos). Pero hubo de desistir al conocer que la longitud de ese péndulo dependía del lugar de la Tierra donde se realizara la experiencia, lo que implicaba que el valor de la gravedad (g_{efec} según nuestra notación) también dependía de ello. Por otro lado, la sola consideración de la fuerza centrífuga, perfectamente caracterizada en aquellos tiempos, no servía para explicar los resultados obtenidos.

Así las cosas, Huygens se encuentra con los «Principia» de Newton, que lo convencen de la validez de las leyes de Kepler, de las que dudaba. Sin embargo, su doctrina mecanicista no es de su agrado. Así las cosas, y en relación al problema que nos ocupa, Huygens sí cree en la forma achatada de nuestro planeta, lo que pudo comprobar (de manera semejante a como lo muestra el aparato que conservamos) dando un rápido giro alrededor de su eje a una esferita de arcilla blanda.

Huygens escribe su propuesta alternativa a la mecánica de Newton en su *Discurso sobre la Causa del Peso*, donde, según algunos autores (8), se percibe una cierta frustración al

«no haber sabido adelantarse a Newton por no haber osado extrapolar el peso hasta la Luna y el Sol, cosa que hubiera sido posible con las leyes cuantitativas de la vis (fuerza) centrífuga».

En esta obra, rechaza la atracción recíproca entre las partículas (teoría que jamás alcanzaría validez) y trata el problema de la forma de la Tierra llegando al resultado de que debe de tratarse de un elipsoide achatado cuyo achatamiento vale $1/578$ (en vez de $1/297$ que aceptamos hoy).

Para zanjar la polémica, fue necesario que el matemático francés Maupertius se desplazara a Laponia para medir con la mayor precisión posible la longitud de un grado de meridiano en aquellas latitudes, comprobando que las deducciones de Newton eran las correctas. Sobre esta expedición escribió Voltaire:

«Vosotros confirmásteis en lugares llenos de incomodidad lo que Newton supo sin salir de su casa».

Una historia apasionante, como hemos tenido ocasión de comprobar.

Esto es sólo un ejemplo del trabajo que se puede desarrollar con este instrumental científico antiguo de física, un trabajo con proyección pedagógica y que también supone un campo de investigación dentro de la «Historia de la Física Experimental». Con este trabajo pretendemos despertar el interés del tema y dar a conocer esta colección de joyas científicas del pasado.

Finalmente, presentamos un listado de los aparatos de Física antiguos clasificados según las distintas ramas de la Física, mientras que al final incluimos algunas fotografías que hemos seleccionado, junto con algunos comentarios aclaratorios.

LISTADO DE APARATOS ANTIGUOS DE FÍSICA

Mecánica

- 1) Principio del diferencial mecánico.
- 2) Transmisión por tornillo sin fin.
- 3) Principio de la prensa hidráulica.
- 4) Principio de multiplicación por rueda dentada.
- 5) Principio de la articulación mecánica tipo Cardano.
- 6) Principio de multiplicación y desmultiplicación por correa trapecoidal.

- 7) Molinete de reacción.
- 8) Tribómetro.
- 9) Fuerzas centrípeta y centrífuga (achatación de la Tierra).
- 10) Balanza analítica.
- 11) Sistemas de poleas.

Fluidos

- 1) Aparato de Haldat.
- 2) Barómetro.
- 3) Manómetro de calibraciones en bronce.
- 4) Hemisferios de Magdeburgo.
- 5) Manómetro de extremo cerrado.
- 6) Gravímetro de Nicholson.
- 7) Verificador en vidrio del Principio de Pascal.
- 8) Manómetro de Bennert.
- 9) Paradoja hidrostática.
- 10) Evidencia de la presión atmosférica.
- 11) Bomba aspirante.

Acústica

- 1) Estudio de la propagación del sonido.
- 2) Sonómetro de dos hilos.
- 3) Juego de diapasones.
- 4) Tubo de Kundt.
- 5) Generador de ondas sonoras estacionarias.

Termodinámica

- 1) Discriminador de calor específico.
- 2) Dilatómetro (estudio de dilatación de sólidos).
- 3) Dilatómetro (estudio de dilatación de líquidos).
- 4) Demostración hidráulica de la absorción térmica del cuerpo negro.
- 5) Higrómetro de Daniell.
- 6) Anillo de S'Gravesande.

- 7) Psierómetro.
- 8) Termóscopo diferencial de Leslie.
- 9) Pila termoeléctrica.
- 10) Termómetro de gas a volumen constante.
- 11) Experimento de Seebeck.

Electromagnetismo

- 1) Electrómetro.
- 2) Máquina magnetoeléctrica.
- 3) Condensador.
- 4) Reómetro multiplicador.
- 5) Efectos mecánicos de la electricidad.
- 6) Pila de columna.
- 7) Pila de bicromato de potasa.
- 8) Jarras de Leyden.
- 9) Bobina de Ruhmkorf.
- 10) Pila de Wollaston.
- 11) Distribución de la electricidad en cuerpos conductores.
- 12) Telégrafo de cuadrante (manipulador).
- 13) Telégrafo de cuadrante (receptor).
- 14) Telégrafo de Morse (manipulador).
- 15) Telégrafo de Morse (receptor).
- 16) Galvanómetro de Deprez D'Arsonval.
- 17) Galvanómetro de torsión.
- 18) Visualización de líneas de fuerza magnéticas.
- 19) Ejemplificación de la Ley de Faraday.
- 20) Vidrio fulminante.
- 21) Reostato de conmutador circular.
- 22) Rueda de Barlow.
- 23) Experiencia de Oersted.
- 24) Galvanómetro de Borbouze.
- 25) Lámparas en derivación (experimento de transformación).
- 26) Aparato de Faraday.

- 27) Máquina magneto-eléctrica de carrete de Siemens.
- 28) Caja de resistencias.
- 29) Puente de Wheatstone.
- 30) Máquina magneto-eléctrica de Wimshurst.
- 31) Galvanómetro de Nobili.

Técnica e Ingeniería

- 1) Bomba de vacío.
- 2) Distribuidor de vapor de Watt.
- 3) Motor de gasolina de cuatro tiempos.
- 4) Motor de gasolina de dos tiempos.
- 5) Motor Diesel.
- 6) Tambor estroboscópico.
- 7) Instalación de vapor.

Óptica

- 1) Espectrogoniómetro.

Física Atómica y Nuclear

- 1) Tubo de Geissler.

Lo que hace un total de 78 aparatos catalogados.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al profesor don Valentín del Olmo la información suministrada sobre la historia de la E.U.P. de Linares, así como el interés mostrado en este trabajo.

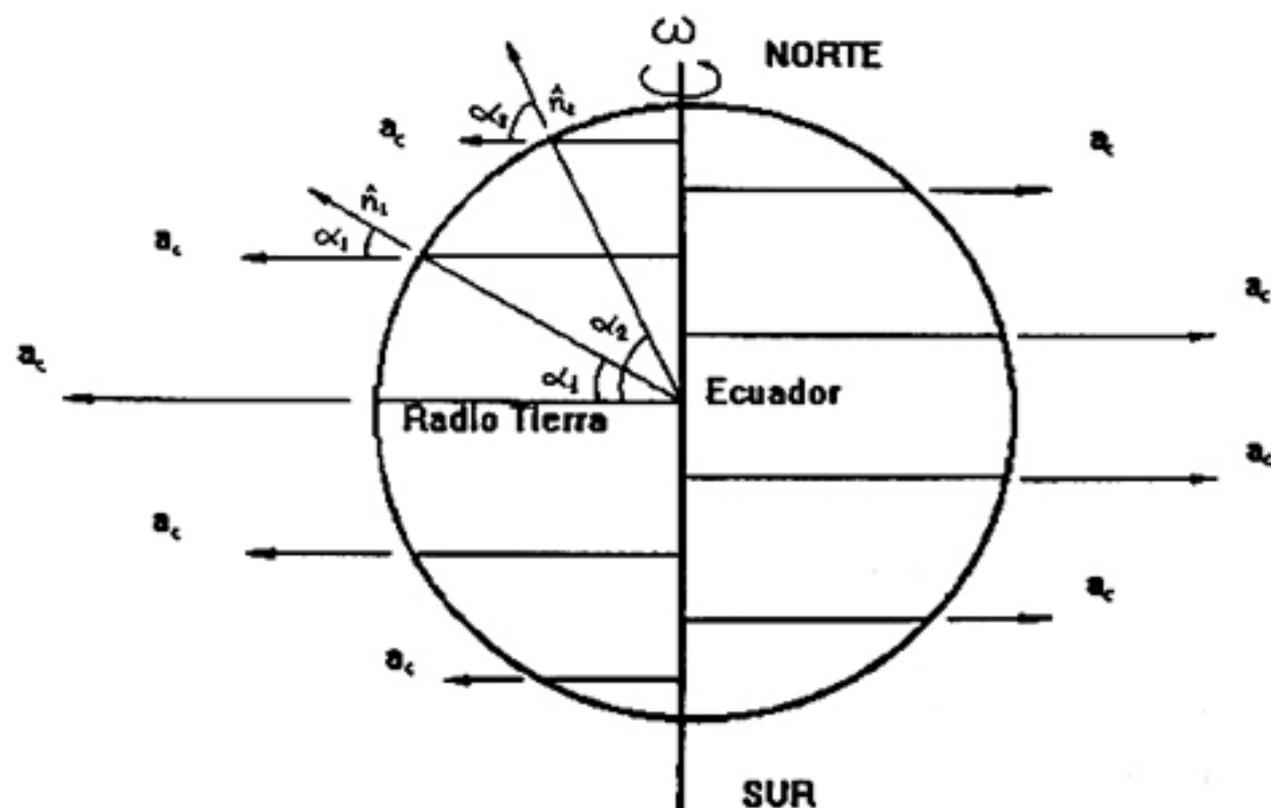
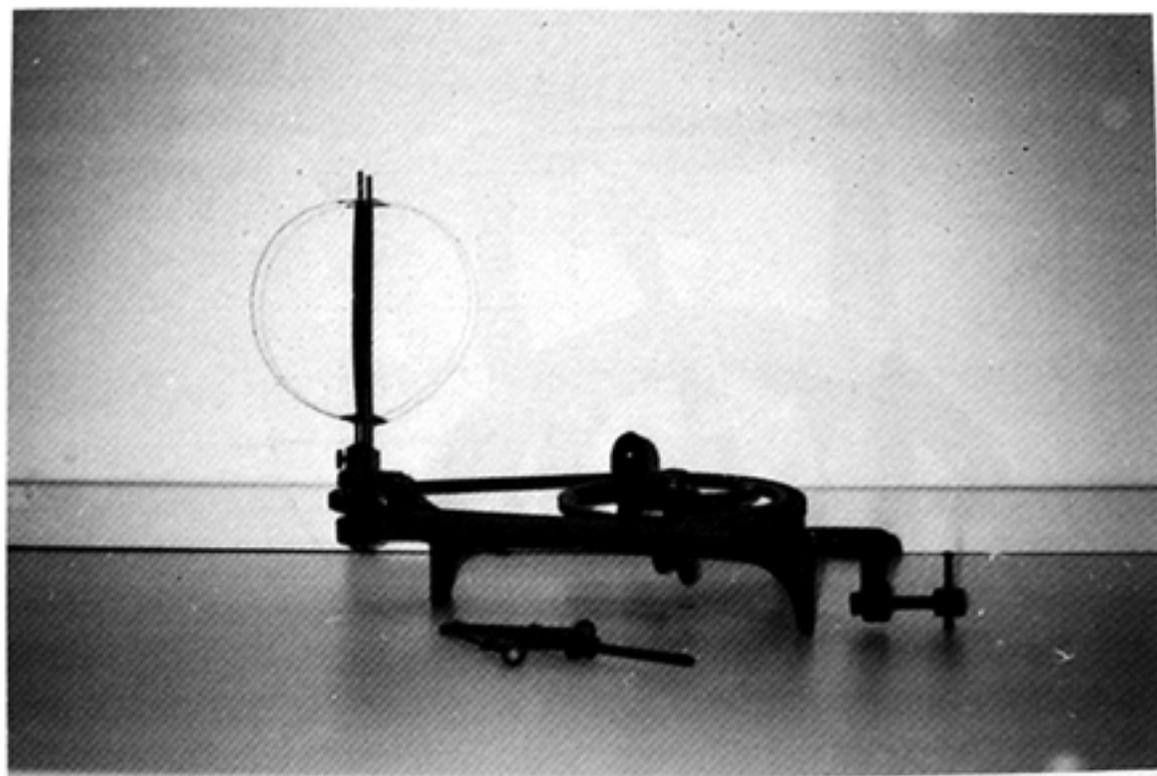


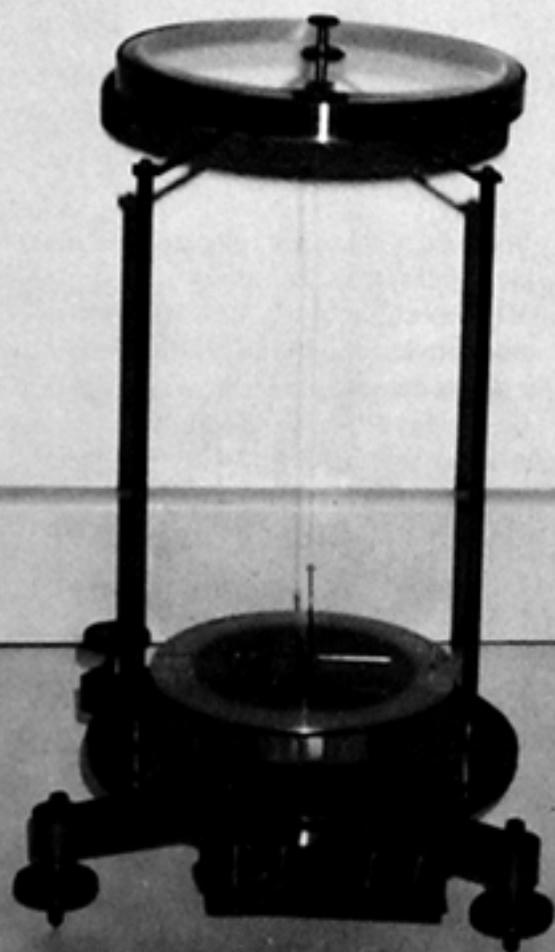
Figura 1.—Esquema que muestra la variación de la fuerza centrífuga con la latitud debido a la variación del radio de la circunferencia de giro. Este efecto explica el achatamiento de la Tierra.



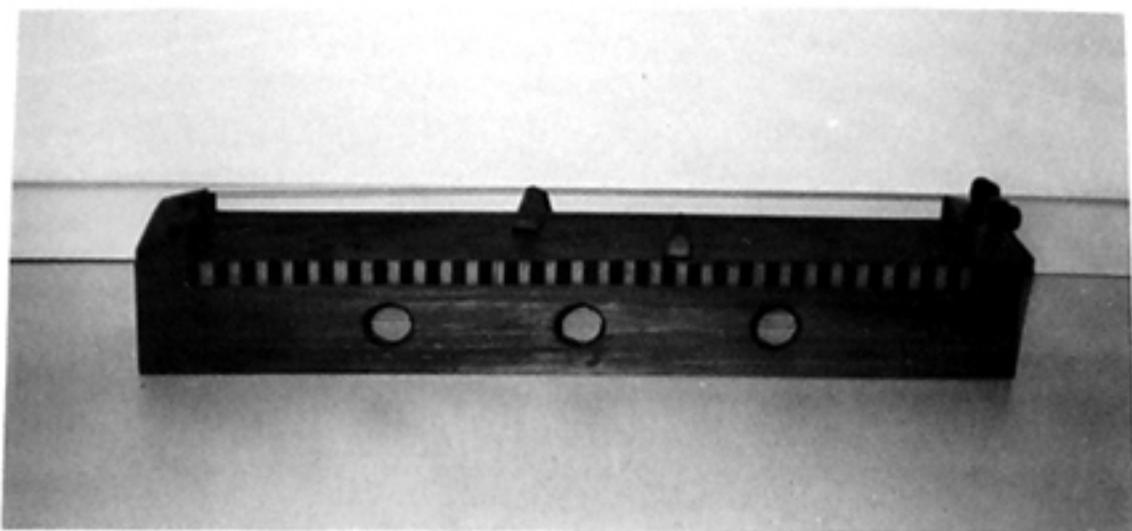
Fotografía 1.—Aparato que ejemplifica el achatamiento de la Tierra. Al hacer girar el manubrio, su movimiento se transmite mediante una cuerda sin fin, con lo que la forma esférica de las cintas flexibles de acero desaparece.



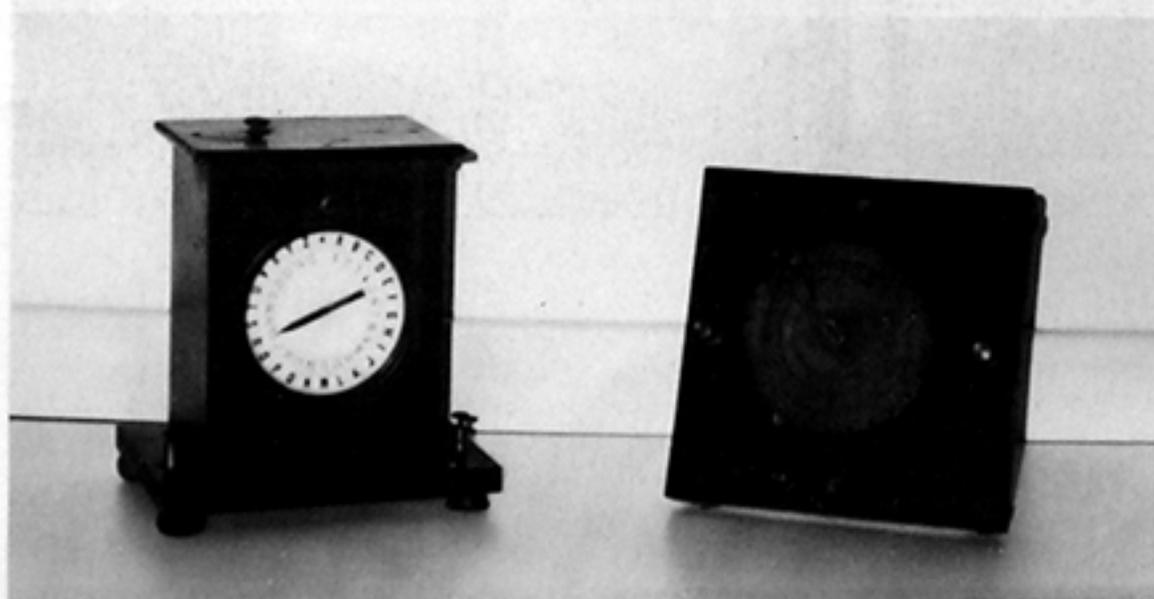
Fotografía 2.—Bomba de vacío. Una de las joyas de la colección. Convierte el movimiento circular de un manubrio en otro lineal que comunica con un cilindro que hace las veces de compresor. La primera bomba de aire para producir el vacío la construyó en el siglo xvii Otto Von Guericke, modelo que desde luego no tenía nada que ver con el que presentamos. Con la ayuda de este invento, Otto Von Guericke desterró definitivamente de la física el concepto aristotélico de «horror al vacío». La bomba de vacío que muestra la fotografía fue construida a principios de siglo o finales del siglo pasado en Alemania.



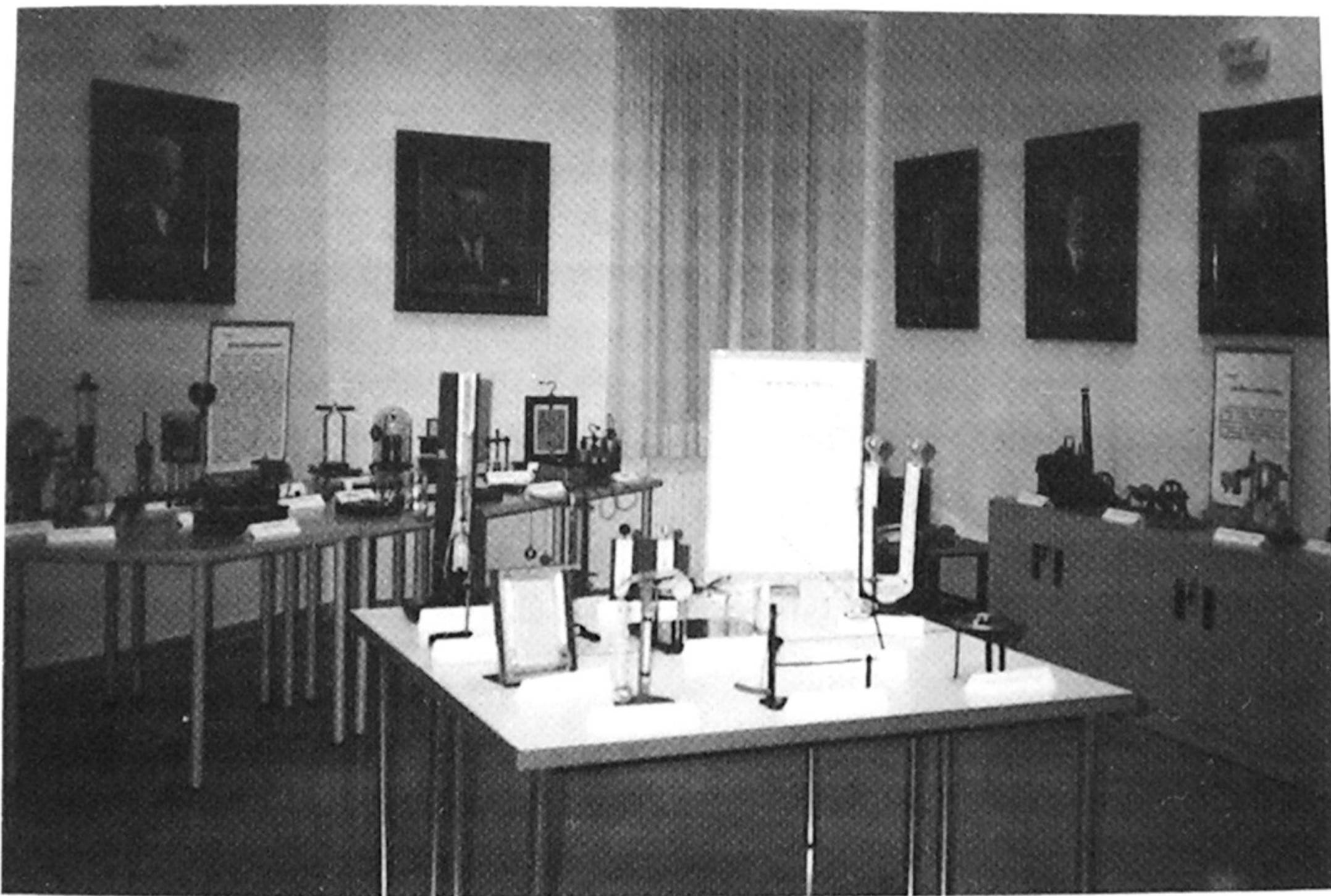
Fotografía 3.—Galvanómetro de Nobili. Copia del original patentado por su creador. Su valor es incalculable. Sirve para medir corrientes muy pequeñas; para ello se emplea hilo delgado y muy largo y agujas estáticas, colocando una de ellas dentro del carrete y la otra, unida a la primera, suspendida sobre un círculo graduado por medio de un hilo de seda. La dirección de la corriente la da el sentido en que gira la aguja según la ley de Ampère. La intensidad se evalúa por el ángulo de desviación, al que ésta es proporcional, mientras no pasa de 30° .



Fotografía 4.—Monocordio. Con él investigó Pitágoras (mediados del siglo VI antes de Cristo) la relación entre las longitudes de las cuerdas en los instrumentos musicales que producen combinaciones armónicas de sonidos. El monocordio consta de una cuerda cuya longitud se puede variar y someter a diferentes tensiones producidas por un peso suspendido en sus extremos o, en nuestro caso, ajustando lo que se quiera una clavija. Manteniendo fija la tensión de la cuerda, Pitágoras comprobó que los pares de sonidos armónicos se producían cuando las longitudes de la cuerda estaban en relaciones numéricas sencillas.



Fotografía 5.—Telégrafo de cuadrante (de Breguet): manipulador y receptor. De gran antigüedad. Fue muy utilizado en las estaciones ferrocarriles; tienen la ventaja, frente al telégrafo Morse, de que no se requiere conocer ningún código para emitir o descifrar un mensaje. Manipulador: Consta de un cuadrante horizontalmente dispuesto sobre una mesa, el cual ofrece dos zonas concéntricas, la más próxima al centro con las 25 letras del alfabeto y una cruz, y la otra zona con los números del 1 al 25 y otra cruz. El borde del cuadrante lleva 26 muescas correspondiente al punto medio de cada signo. Receptor: ofrece un cuadrante como el del manipulador y una aguja, cuyo movimiento lo produce un electroimán de dos carretes en combinación con un mecanismo de relojería.



Fotografía 6.—Panorámica de la «Exposición del Instrumental Científico Antiguo de Física» que, con el patrocinio de la E.U.P de Linares, se llevó a cabo en este centro del 21 de enero al 7 de febrero de 1997. La exposición constó de 64 aparatos, muchos de los cuales fueron puestos en funcionamiento diariamente, explicándose su función. Fue muy concurrida, no solo por los estudiantes y profesores de la escuela, sino por numerosas visitas concertadas que realizaron colegios e institutos de Linares.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) FERNÁNDEZ DE FIGARES, M.: *Manual de Física y Nociones de Química*. Ed. Librería de la Señora Viuda e Hijos de Zamora. Granada, 1873.
- (2) MARCOLAIN SAN JUAN, P.: *Curso Elemental de Física Moderna*. Ed. Tipografía de Emilio Casañal. Zaragoza, 1900.
- (3) GONZÁLEZ MARTÍ, I.: *Tratado de Física General*. Ed. Imprenta de Prudencio Pérez de Velasco. Madrid, 1912.
- (4) ZOUBOV, V.P.: *L'histoire de la science et la biographie des savants*. Ed. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, número especial, vol. VI, 1962, págs. 29-42.
- (5) BOURBAKI, N.: *Eléments d'histoire des mathématiques*, 2.^a ed. Pans, 1969, pág. 7.
- (6) TATON, R.: *Las biografías científicas y su importancia en la historia de las ciencias*. Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1987, págs. 73-85.
- (7) GAMOW, G.: *Biografía de la Física*. Ed. Alianza Editorial, Madrid, 1985.
- (8) TATON, R.: *Historia General de las Ciencias*. Ed. Ediciones Destino, vol. II. Barcelona, 1972.
- (9) PÉREZ, A.: *La Edad Dorada*. Ed. Centro de la Cultura Popular Canaria, vol. I. Tenerife, 1994.

**El presente Boletín del I.E.G. número 166,
se acabó de imprimir en la ciudad
de Jaén, el día 29 de Septiembre
de 1997, festividad de
San Miguel.**