INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
CULTURA Y DEPORTE

53:37
INS

MINISTERIO DE EDUCACIÓN
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DOCUMENTACIÓN Y PUBLICACIONES
Área de Documentación, Biblioteca y Archivo
c/ San Agustín, 5 – 28014 MADRID
Teléfono: 91 – 369 30 26
91 – 774 80 00
Fax 91 429 94 38

FECHA DE DEVOLUCIÓN

17 FEB. 2011
4 MAR. 2011

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE
BIBLIOTECA
01 SEP 2009
ENTRADA
DONATIVO

MA - 31993

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE
BIBLIOTECA

ESTUDIO REALIZADO
POR EL
MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE LA COLECCIÓN HISTÓRICA DE INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
DE MADRID

BIBLIOMEC
093660

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CULTURA Y DEPORTE

DIRECCIÓN GENERAL
DE BELLAS ARTES
Y BIENES CULTURALES

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE MUSEOS ESTATALES

R.170504

Coordinación:
Amparo Sebastián Caudet
Leonor González de la Lastra
Rosa Mª Martín Latorre
Autores:
Ángeles del Egido Rodríguez
Leonor González de la Lastra
Victor Guijarro Mora
Encarnación Hidalgo Cámara
Rosa Mª Martín Latorre
Restauración de Instrumentos Científicos:
Restauradores:
Eleuterio Baeza
Marta Hernández
Mecánicos de Precisión:
José Clemente
José María Villalta
Fotografía:
José Francisco Jiménez
José Latova
Miguel Ángel Otero
Diseño gráfico:
Manuel Martínez Muñiz

Este trabajo, realizado entre los años 1996 y 1999, es fruto de un estudio subvencionado por el Plan Nacional de I+D, Programa Nacional de Estudios Sociales, Económicos y Culturales. Referencia SEC95-1962-E

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE
SECRETARÍA DE ESTADO DE CULTURA

Edita:
© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
Subdirección General de Información y Publicaciones

N.I.PO.: 176-00-002-0
I.S.B.N.: 84-369-3291-9
Depósito Legal: M-46.521-2000

Imprime: **ARTEGRAF, S.A.**

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CULTURA Y DEPORTE

Ministra de Educación, Cultura y Deporte
Pilar del Castillo

Secretario de Estado de Cultura
Luis Alberto de Cuenca y Prado

Director General de Bellas Artes y Bienes Culturales
Joaquín Puig de la Bellacasa Alberola

El interés por el conocimiento del patrimonio histórico científico se ha visto reflejado en la última década en el aumento de publicaciones dedicadas a la difusión de las mejores colecciones de instrumentos científicos y tecnológicos.

Un conjunto importante de estos bienes pertenece a la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense y, en la actualidad, se conserva en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Gracias a la ayuda concedida por el Plan Nacional de I+D, se ha desarrollado un exhaustivo trabajo de catalogación y documentación de esta colección, dirigido por el profesor don Antonio Fernández Rañada y doña Amparo Sebastián, directora del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

El resultado de este trabajo culmina en la publicación que presentamos, fruto del convencimiento de que, en la medida en que todos participemos de una mayor información sobre esta parcela del patrimonio cultural, estaremos contribuyendo a su conservación.

Pilar del Castillo
Ministra de Educación, Cultura y Deporte

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a la Dra. Amparo Sebastián, de quien surgió la idea de la Acción Especial origen de este trabajo, por su personal empeño en la realización de este estudio y su constante apoyo en la realización de este trabajo, sin el cual esta publicación no habría sido posible; junto con ella al Profesor Antonio Fernández Rañada, por la afortunada co-dirección del proyecto origen de este catálogo, al Profesor Francisco Tirado impulsor con ellos de aquel trabajo, a la Dra. Mª Josefa Jiménez por su continuo respaldo, a los Profesores Germán González, Eloisa López, Mª Carmen, Benjamín Seoane, Eusebio Bernabeú, Raúl Vázquez, Cristóbal Fernández, así como a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Físicas que nos brindó su confianza y ayuda, a la Junta Gestora de la Fundación de apoyo al MNCT, al Archivo de la Universidad Complutense y el Archivo General de la Administración por las facilidades ofrecidas en la búsqueda de documentación, a la Profesora Cristina Bordás por su colaboración en la identificación de un complejo instrumento, a los Profesores Manuel Sellés y Carlos Solís del Departamento de Historia de la Ciencia de la Universidad Nacional de Educación a Distancia y al Profesor Antonio Moreno del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid, por sus oportunas y sabias indicaciones, a todos nuestros compañeros del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo incondicional, y en especial a Ángeles del Egido, Ignacio González, Víctor Guijarro y Jesús Sánchez por sus pacientes lecturas y acertadas sugerencias, a Alfredo Baratas, y Encarnación Hidalgo por sus consejos, y a esta última también por su participación en la documentación de las balanzas de precisión, a Pablo Ramos y Juanjo Arce del Departamento de Informática por la ayuda técnica prestada y a Rosa Delgado y Josefa Prados por sus consejos a la hora de tratar la documentación bibliográfica.

A todos ellos les agradecemos su cooperación en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN
Dra. Amparo Sebastián Caudet 11

PRÓLOGO
Dr. Antonio Fernández-Rañada Menéndez de Luarca 15

LA UNIVERSIDAD CENTRAL Y SUS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS: EL ORIGEN Y DESARROLLO DE UNA COLECCIÓN (1837-1945) 17
Leonor González de la Lastra, Rosa Mª Martín Latorre

1. Introducción 20
2. La enseñanza de la física y la investigación en la Universidad: asignaturas experimentales, material científico y laboratorios 23
3. Procedencia del material científico 31
4. Conclusiones 63

ACÚSTICA. LA CONFIGURACIÓN DE UNA NUEVA DISCIPLINA 69
Leonor González de la Lastra

ACÚSTICA 77
Leonor González de la Lastra

MATERIA O MOVIMIENTO: NOTAS SOBRE LA HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DE LA NATURALEZA DEL CALOR 93
Ángeles del Egido Rodríguez

CALOR 102
Rosa Mª Martín Latorre

DE LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS ELÉCTRICAS AL DESCUBRIMIENTO DEL GALVANISMO Y LA PILA VOLTAICA: LA EXPERIMENTACIÓN EN MEDIOS LÍQUIDOS Y GASES ENRARECIDOS 115
Rosa Mª Martín Latorre

ELECTRICIDAD 126
Rosa Mª Martín Latorre

EL DESCUBRIMIENTO DEL ELECTROMAGNETISMO Y EL DESARROLLO DE LA ELECTRODINÁMICA: LAS PRIMERAS APLICACIONES PRÁCTICAS 161
Rosa Mª Martín Latorre

ELECTROMAGNETISMO 171
Rosa Mª Martín Latorre

FÍSICA ATÓMICA. EN TORNO A LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA 195
Leonor González de la Lastra

FÍSICA ATÓMICA 200
Leonor González de la Lastra

UN MODELO DE CIENCIA EXPERIMENTAL: EL MAGNETISMO 207
Rosa Mª Martín Latorre
MAGNETISMO 214
Rosa Mª Martín Latorre

LA MECÁNICA DE FLUIDOS Y LA MATEMATIZACIÓN DE LA MATERIA..... 223
Leonor González de la Lastra
MECÁNICA DE FLUIDOS 230
Leonor González de la Lastra

LA INTRODUCCIÓN DE LA MECÁNICA EXPERIMENTAL NEWTONIANA .. 249
Ángeles del Egido Rodríguez
MECÁNICA DE SÓLIDOS 253
Leonor González de la Lastra

HACIA UNA CIENCIA PREDICTIVA: LA INSTRUMENTACIÓN
METEOROLÓGICA DEL S. XIX 269
Víctor Guijarro Mora
METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA 275
Leonor González de la Lastra

LA INSTRUMENTACIÓN ÓPTICA DEL S. XIX Y EL ACCESO
EXPERIMENTAL A LA MATERIA 283
Víctor Guijarro Mora
ÓPTICA 293
Leonor González de la Lastra

NUEVOS PATRONES. PESAS, METROS Y RELOJES 333
Leonor González de la Lastra, Rosa Mª Martín Latorre
PESAS Y MEDIDAS 340
Leonor González de la Lastra, Encarnación Hidalgo Cámara,
Rosa Mª Martín Latorre

APÉNDICE I 351
APÉNDICE II 355
APÉNDICE III 366
BIBLIOGRAFÍA 389
ÍNDICE ONOMÁSTICO 395
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 398

INTRODUCCIÓN

Dra. Amparo Sebastián Caudet
Directora del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

Cuando hace pocos años supimos que la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense contaba con un conjunto de instrumentos científicos y aparatos demostrativos de gran interés, una chispa vinculada con nuestra preocupación por la salvaguarda del patrimonio se encendió, y se avivó cuando comprobamos que el conjunto era además muy significativo, puesto que la evolución de la mayoría de las distintas especialidades de las ciencias físicas podía ser analizada y comprendida a través de ese conjunto de objetos.

Sin embargo, como sucede en la mayoría de los centros de enseñanza, gran parte de ese material perteneciente a varios departamentos habían dejado hacía ya varios años de tener su función didáctica, dada la tremenda evolución de la ciencia y de la enseñanza en sus distintas especialidades, habiendo pasado muchos de ellos a ser esos objetos que han ido quedando en un rincón, aunque muchos profesores mantuvieran el recuerdo de haberlos utilizado, o de haber aprendido un aspecto interesante de la disciplina con algún profesor apreciado. Pero perdida su función, la evolución de las disciplinas en una facultad viva y activa fue convirtiendo a casi todos estos instrumentos en objetos inservibles, que permanecían guardados en un armario junto a otros que les acompañaban en un triste camino hacia su propia destrucción.

Todos sabemos que los objetos que no se utilizan, y más en una institución tan viva como una facultad, acaban convirtiéndose en los habitantes de "ese almacén" desde el que un día salen hacia un contenedor, cuando algún encargado de mantenimiento recibe la orden de "hacer hueco", y eso sigue sucediendo casi siempre, lamentablemente, sin que ni los expertos, ni los profesionales de los centros interesados por esos instrumentos, a los que vamos a empezar a llamar patrimonio histórico-científico, seamos siquiera consultados. Sin embargo, a pesar de que esa ha sido una triste realidad demasiado frecuente, tengo que decir que precisamente en los últimos cinco años han aumentado considerablemente las consultas, depósitos y donaciones al Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Afortunadamente más de un espíritu culto y sensible pensó en este Museo y en las medidas de protección que ya ejercíamos con otras colecciones históricas y fundamentales para nuestro país, lo que no ha evitado desastres anteriores que lamentablemente aún siguen sucediendo. Para el Museo es un reto conseguir sensibilizar, especialmente a los responsables de colecciones públicas de objetos científicos, para que comiencen a considerar a este patrimonio histórico científico tan fundamental como cualquier otro, y debo reconocer con muchísimo aprecio y respeto que los responsables de la colección de la Facultad de Ciencias Físicas mostraron siempre una sensibilidad muy especial, que el MNCT agradeció, dado que el entendimiento y la preocupación por el futuro de la colección presidieron todas nuestras conversaciones desde el primer momento.

Debo recordar ahora que la vinculación del Museo con esa Facultad de Ciencias Físicas comienza a tener ya una historia que empieza a ser interesante y debe ser recordada, puesto que varios de nuestros colaboradores, los primeros físicos que llegaron al Museo Nacional, salieron de sus aulas, y

algunos fueron además seleccionados para sus primeras becas, vinculadas con los primeros proyectos de investigación del Museo, mediante pruebas de carácter académico que fueron juzgadas por distintos especialistas, entre los que tuvimos el honor de poder contar con el Profesor Don Antonio Fernández-Rañada, siempre interesado por las vinculaciones históricas, culturales y patrimoniales de la ciencia, y encantado en aquel momento de poder conocer más de cerca el importante fondo antiguo del Museo, dada la antigüedad, e incluso la belleza de los materiales, con los que se habían realizado esos instrumentos científicos que provienen de las instituciones españolas desde el siglo XVI.

Algunos de esos jóvenes físicos se unieron así al equipo del Museo hace más de cuatro años y son en la actualidad auténticos profesionales, después de un periodo de formación en el que hemos intentado que aprendieran todo lo que un conservador de un museo de la ciencia debe conocer, así como que se acercaran por múltiples caminos al trabajo y a los planteamientos de los mejores museos del mundo, e incluso pudieran conectar con los mejores especialistas de esas instituciones.

Dos físicas, una de ellas del primer grupo que comenzó a formarse con nosotros, se ocuparon del estudio y catalogación de la colección de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense que el equipo del Museo, bajo mi dirección, ha seguido muy de cerca, desde que el Profesor Fernández-Rañada y yo misma conseguimos una "Acción Especial" del Plan Nacional de I+D para estudiar ese conjunto. Ambos hemos comentado más de una vez que siempre agradeceremos esa ayuda, dado que nos permitió realizar un estudio muy necesario. Era imposible en aquel momento conocer el volumen de la colección, y jamás imaginamos que pudiera alcanzar un número tan elevado cuando se hizo la solicitud de esta ayuda, pero nuestro empeño por estudiarlo hizo que pudiéramos cumplir con nuestro programa de trabajo de estudio y catalogación de los ochocientos sesenta y un objetos.

Este proyecto encajó perfectamente dentro del marco de investigaciones emprendido por el Museo sobre la historia y la función del patrimonio científico y tecnológico, así como con su didáctica y difusión, con los que además de revalorizar nuestras colecciones, se recupera una parte de la historia de la ciencia y la tecnología que tiene en cuenta a los verdaderos testigos de nuestro pasado, a los instrumentos científicos. Esta disciplina tiene ya una gran solera en otros países y en el nuestro ha sido iniciada por el equipo del MNCT con el rigor científico necesario, siguiendo las pautas que los mejores especialistas han ido marcando durante muchos años.

Es incuestionable también el magnífico nivel de algunos de los historiadores españoles de ciencia y tecnología, siempre interesados por la evolución de nuestro trabajo y por el futuro de nuestro Museo y de su patrimonio, y también ellos son siempre una ayuda fundamental y una referencia siempre obligada para todos nosotros. Algunos han estudiado la evolución general de los instrumentos utilizados en matemáticas o navegación, y contamos con publicaciones innovadoras realizadas por ellos.

Faltaba desarrollar sin embargo ese estudio que combina el análisis del objeto, del que se extrae toda la información que en sí mismo nos da, dentro de una disciplina que contempla las metodologías arqueológica y museística, con las que no sólo se compara el objeto con otro similar ya estudiado por otro museo, sino que va más allá, intentando analizar su propia esencia así como los materiales utilizados para su fabricación, su fiabilidad como elemento de laboratorio, o los datos sobre su fabricante, la industria del momento, etc. Esto sólo puede ser iniciado con una catalogación sistemática que realmente en un museo no termina nunca, pues como sucede con todas las disciplinas, nuevos descubrimientos y trabajos de investigación, nuestros o de otros especialistas, nos ayudan a avanzar en estos estudios, en los que los conocimientos científicos e históricos caminan siempre de la mano.

Sabemos que la historia es difícilmente objetiva, pero aquellos historiadores que tenemos en cuenta lo que en arqueología llamamos "cultura material", es decir los objetos y su contexto social, técnico y económico, valoramos esos testigos de nuestro pasado porque muestran toda su verdad. La evolución tecnológica en la fabricación de un objeto, o las posibilidades de una lente son evidencias

claras de lo que se tenía en un momento, o de lo que se era capaz de demostrar o experimentar con un determinado aparato. Igualmente objetivo es lo "anticuado" o "avanzado" de un laboratorio que tenía un objeto que es para nosotros datable por su propia evidencia cultural, o datado con exactitud por una fecha que aparece en el propio aparato, convirtiéndose esa información en un dato objetivo.

Los documentos históricos pueden haber sido escritos con intención de influir en algo o de demostrar algo con determinada intención, como tantas veces se ha podido comprobar. La cultura material sin embargo existe o no, y es lo que es. Nuestra obligación es extraer de ella la máxima información y por supuesto intentar asociar esa información con toda la documentación disponible, cuando podemos contar con ella.

Y en esa línea de trabajo dirigimos el estudio de los ochocientos sesenta y un objetos de la colección de la Facultad de Ciencias Físicas. Teníamos los instrumentos, teníamos los medios para trabajar durante un año y nos habíamos impuesto además la ardua tarea de identificar, inventariar, fotografiar y realizar una pre-catalogación que nos permitiera llegar con posterioridad al primer estudio completo y al catálogo sistemático de todo el conjunto con posterioridad. Además debíamos empezar la restauración de aquellos que estuvieran en peor estado y tuvieran un interés sobresaliente, esto último con los medios del Museo, así como empezar a introducirlos en nuestra exposición, lo cual podíamos hacer especialmente con los restaurados a su llegada al Museo, o con aquellos que se encontraban en unas condiciones aceptables y ayudaban a completar el discurso histórico y científico de esa muestra.

Y nuestra meta se cumplió. Al cabo de un año el trabajo básico estaba realizado y el nuevo propósito era convertirlo en un buen catálogo. El estudio realizado era una base importante para poder avanzar, en un segundo año, en muchas facetas en las que se debía profundizar. Ya que la colección estaba depositada en el Museo, podíamos continuar, ahora con medios propios, con los que también había que avanzar en la restauración de una colección, cuya importancia es una realidad que supera los límites del Museo y de la propia Facultad, por su tremendo significado nacional.

El catálogo siempre supone además la propia seguridad de las piezas, dado que a partir de ahí queda documentada su existencia e importancia, convirtiéndose así en un documento de consulta para cualquier especialista o estudioso del patrimonio científico, además de ser guía para aquellos profesores que antes no contaban con ninguna referencia sobre estos objetos. Como sucede con los objetos de arte, el hecho de estar catalogado y publicado es la máxima garantía de futuro para la colección. Ahora la Facultad de Ciencias Físicas y el Museo Nacional saben en qué consiste ese conjunto y cuál es la importancia de cada uno de sus objetos.

Su realización pasó por facetas muy diversas y, la preocupación del primer año, en el que contamos con la ayuda de la acción especial de I+D, por cumplir con nuestro compromiso y nuestros objetivos estuvo presente cada día cuando, visto el importante número de objetos, algo imposible de calcular en el momento de la solicitud, nos dimos cuenta de la tremenda dificultad de poder realizarlo en un plazo tan corto de tiempo. Había que comenzar por recomponer los elementos aislados que tras una primera aproximación y un primer inventario pudimos ver que pertenecían a un determinado instrumento. Había que identificar, como decía al principio, cada uno de los objetos y su función, siendo en un principio un auténtico rompecabezas, dado que muchos elementos asociables a los objetos aparecían dispersos, faltando a menudo otros elementos fundamentales.

Ese desorden era previsible, dado que en los objetos de un laboratorio que ha perdido su función es muy habitual, cuanto más no había de serlo cuando teníamos ante nosotros lo que había quedado de varios laboratorios manejados por diferentes manos. Afortunadamente, aunque las dos físicas que iban a trabajar con la colección no habían pasado por la experiencia de recibir un gran conjunto de objetos en estas condiciones, el Museo sí, y esto sirvió para afrontar una situación tan compleja.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

Su identificación, primer paso de este proyecto, fue posible en algún caso gracias a la colaboración puntual de alguno de los profesores veteranos, a los que en más de una ocasión tuvimos que consultar, algo que me consta que disfrutaron, al ver nuestro interés, y gracias a que, especialmente durante los últimos ocho años, hemos procurado que lleguen a nuestra biblioteca todas las publicaciones internacionales vinculadas con esta materia. Además, tanto el equipo del Museo, como el formado en él, está muy familiarizado con una importante bibliografía manejada para la propia catalogación sistemática de la colección del Museo, en el que unos tres mil instrumentos científicos han sido estudiados en los últimos seis años. Aún así, nos hemos encontrado con instrumentos de difícil determinación, y aquí, nuevamente, los especialistas de otros museos italianos, ingleses, holandeses, etc., han colaborado cuando se lo hemos pedido, como siempre han hecho con este Museo.

Ahora, a pesar de no contar con las condiciones que desearíamos, para desarrollar algunas facetas de nuestro trabajo con unos medios similares a los de otros grandes centros europeos o americanos de nuestra especialidad, nuestro interés por potenciar el acercamiento a la sociedad de los temas científicos y tecnológicos por medio de la museografía más avanzada es una de nuestras metas principales. Nuestras metas coinciden con la preocupación de las instituciones europeas por la necesidad de fomentar el acercamiento de los ciudadanos a los temas de la ciencia y tecnología se ha convertido en una de sus líneas principales, y animan a muchos sectores, no sólo a los museos, para que trabajemos en algo que realmente para los centros de nuestra especialidad en todo el mundo ha supuesto siempre su tarea fundamental.

La necesidad europea de mejorar y avanzar en la evolución científica y tecnológica en este periodo es una realidad y además parece inaplazable, en mi opinión, que iniciemos lo que podríamos llamar la "alfabetización científica" de distintos sectores de nuestro país en este fin de siglo. Parece lógico plantear que no debíamos vivir este periodo histórico sin entender nuestro pasado, cuando estamos rodeados de tecnología en nuestra vida cotidiana y miramos a la ciencia con esperanza en tantos y tantos aspectos fundamentales para nuestro desarrollo y nuestra supervivencia.

Por ello, esa sensibilización hacia los temas científicos debía comenzar, en un ámbito académico y museológico, por dar a conocer todo lo que nos ha precedido, y dado que para la ciencia y también para la vida el pasado y el futuro siempre están muy próximos, este Museo ha comenzado por desarrollar el estudio del pasado, en un tránsito hacia el momento actual, con esa mirada al futuro que acompaña constantemente a la investigación científica.

En el MNCT siempre hemos querido hablar de pasado, presente y futuro de la ciencia española y de la de nuestro mundo occidental, y por ello trabajamos, esperando poder contar en un periodo breve de tiempo con un espacio en el que poder establecer un foro vivo de ciencia y tecnología para distintos niveles de visitantes y usuarios. Un foro en el que esperamos que los magníficos lazos establecidos con la Facultad de Ciencias Físicas produzcan nuevos frutos que, como este catálogo, esperamos sea útil a muchos.

PRÓLOGO

Profesor D. Antonio Fernández-Rañada Menéndez de Luarca
Catedrático de Física Teórica
Facultad de Ciencias Físicas (UCM)

La ciencia genera historia y, a la vez, tiene historia. Poco podemos entender hoy del mundo sin percatarnos de su cualidad más notable: es evolutivo, no es igual hoy que ayer o que mañana, en cualquiera de las escalas de tamaño, desde el cosmos en su totalidad hasta las bacterias o los virus. Las cosas tiene historia porque están cambiando siempre, desde el tiempo cero en el big bang, cuando apareció la materia, el espacio y el tiempo, pasando por la evolución biológica, hasta el nacimiento del homo sapiens, cuando empezó nuestra propia historia mediante un proceso de evolución cultural, mucho más rápida que la cosmológica o la biológica.

Pues bien, la ciencia, junto con su hoy inseparable compañera la tecnología, es uno de los motores más activos de ese proceso cultural y, sobre todo, es responsable de la aceleración de los cambios. Cuando hizo eclosión en el XVIII la segunda ola de la Revolución Científica, coincidiendo con la Revolución Industrial, la sociedad se puso a cambiar a tal ritmo que en los dos siglos transcurridos ha habido más novedades que en las decenas de miles de años que llevaba nuestra especie sobre la Tierra. Por eso la ciencia hace historia.

Pero también la tiene. Es uno de los miles de procesos entrelazados que constituyen el mundo. Sin tenerlo en cuenta no podemos entenderla, nos resultaría extraño el modo en que han surgido sus ideas sobre el mundo, tan revolucionarias a menudo, o sus aplicaciones, que tanto han cambiado nuestras vidas. Y para ello debemos acercarnos a las sutiles interacciones que ha tenido y tiene con los demás sistemas sociales y las otras formas de la cultura.

La ciencia es, además, una actividad experimental. Su historia se vertebra en torno a instrumentos, esas prótesis que intensifican a nuestros sentidos, permitiéndonos acceder a zonas de la realidad que, sin ellas, estarían envueltas en una densa niebla. ¿Cuántas cosas ignoraríamos de las que ahora nos parecen importantes, si no tuviéramos telescopios y microscopios, manómetros y voltímetros, aparatos de rayos X y resonancias magnéticas o tantos otros sistemas de ver cómo es o cómo se comporta la materia, sea la inerte o la viva? ¿De cuantos medios de vivir mejor o de curar enfermedades tendríamos que prescindir?

Conservar y estudiar instrumentos científicos es por ello algo importante, pues representan el esfuerzo y la ingeniosidad humanas, en su grado más alto, para entender cómo es el mundo. Por desgracia, la sociedad, tan sensible a la pérdida de una costumbre, una receta de cocina o una canción popular, lo es menos a la de estos objetos tan preciosos (en el doble sentido, suelen ser objetos bellos con una belleza entre clásica y funcional).

Los autores de este libro han hecho un trabajo excelente, minucioso y exhaustivo, al estudiar y clasificar la colección de instrumento científicos históricos de la Facultad de Física de la Complutense. Han examinado y descrito más de trescientos objetos, cada uno de los cuales aparece acompañado de su fotografía y la explicación de su funcionamiento y de para qué eran usados en su momento, determinándose además su origen, diseñador y fabricante en una gran parte de los casos.

Preparar tal caudal de información ha necesitado sin duda un enorme esfuerzo muy de agradecer a los autores. Los estudiosos de la historia de la ciencia española tienen aquí un material precioso para su labor. Pero la obra contiene algo más, está ordenada en capítulos temáticos que se inician cada uno con la explicación histórico-conceptual de una disciplina. Son páginas que se leen con gusto –yo he disfrutado haciéndolo– y deben interesar a científicos e incluso a estudiantes de física, pues muestran la gran importancia que tienen la preparación de instrumentos y la relación de las universidades o laboratorios de investigación con las empresas industriales capaces de fabricarlos. O sea el puente necesario entre la ciencia académica y la industrial.

Todo esto es importante porque los españoles no somos suficientemente conscientes aún de las causas y consecuencias de esa singularidad histórica nuestra, de por qué razones una cultura tan rica en arte o en literatura haya dado muchas menos contribuciones notables a la ciencia. De hecho España no entró propiamente en la Modernidad (me refiero a entrar a fondo, no a adoptar de modo cosmético algunas formas) porque no llegó a incorporar la ciencia a su cultura. Hablo aquí de cultura en su sentido más profundo y radical, como el conjunto de ideas, hábitos y actitudes que definen el modo de estar en el mundo de un país. Tras un principio brillante en el siglo XVI, la ciencia española se hundió y volvió a hacerlo al empezar el XIX, llevándose consigo muchas esperanzas sembradas por la Ilustración. Sin duda que de esas lluvias vino buena parte de los lodos de muchos fracasos políticos y económicos, incluyendo dos dictaduras y una guerra civil. No pensemos que la cosa esté arreglada, nuestro gasto en I+D y el número de las personas a ello dedicadas sigue siendo anormalmente bajo: en los dos casos casi del tercio de las cifras correspondientes en Francia, Alemania o Reino Unido. Sin duda nuestra alta tasa de paro tiene mucho que ver con ello. Lo más preocupante es que, a pesar de nuestra entrada en las vías democráticas con la Constitución de 1978, todavía no hemos saldado todas las cuentas con nuestro pasado. Y no podremos hacerlo sin conocerlo bien.

Merece subrayarse otro aspecto del libro: contribuye a recuperar la memoria histórica de la universidad española en el terreno de la ciencia. Parece probable, por ejemplo, que sin el esfuerzo de los autores algunos instrumentos que jugaron un papel importante se hubieran perdido, como por desgracia ya ocurrió con muchos otros. Cuando, en la década de los sesenta de este siglo, se inició un cierto desarrollo científico, la obsesión plenamente justificada por incorporarse a los circuitos internacionales hizo que perdiéramos el hilo conductor con los esfuerzos del pasado. Muy pocos científicos españoles saben de lo que aquí se hacía.

Debemos por eso apoyar, usar y disfrutar de instituciones que, como el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, hacen que los españoles entiendan mejor qué es eso de la ciencia. No hay que verlos sólo como lugares dónde se exhiben objetos, lo que ya está muy bien, sino más aún como centros de autoexploración para estudiar aspectos importantes de nuestra actividad cultural, ahora y en el pasado, en áreas hasta ahora muy descuidadas. Porque si nuestra historia está marcada por gentes que firmaron tratados, pintaron cuadros o escribieron novelas, también lo está por otras que dedicaron su ingenio a la difícil tarea de entender el mundo material, mirándolo a través de los instrumentos científicos.

Las instituciones de gobierno deben apoyar a los museos de la ciencia, ayudándolos a cumplir su misión y tener éxito con la gente. No es difícil conseguirlo, porque son lugares en los que se pueden pasar buenos ratos, excitan la curiosidad y permiten completar la formación de los estudiantes. Sirven, nada menos, para estar a la altura de los tiempos. O sea que son sitios divertidos que hay que tomar muy en serio.

LA UNIVERSIDAD CENTRAL
Y SUS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS.
EL ORIGEN Y DESARROLLO DE UNA COLECCIÓN
(1837-1945)

ABREVIATURAS

A. G. A.: Archivo General de la Administración

Dm.: Diámetro

F. C.: Facultad de Ciencias

I. L. E.: Institución Libre de Enseñanza

J. A. E.: Junta de Ampliación de Estudios

J. E. O.L.: Japan Electron Optics Laboratory

L.: Leybold

M. K.: Max Kohl

M.N.C.T.: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

Nº inv.: Número de inventario

R. F.: Richard Frères

R. K.: Rudolph Koenig

R. O.: Real Orden

S. I. P.: Société des Instruments de Précision

U. C.: Universidad Central

U. C. M.: Universidad Complutense de Madrid

LA UNIVERSIDAD CENTRAL Y SUS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS. EL ORIGEN Y DESARROLLO DE UNA COLECCIÓN (1837-1945)

Leonor González de la Lastra
Rosa Mª Martín Latorre

La enseñanza de la Física ha ido acompañada desde el último tercio del siglo XVII de instrumentos científicos destinados a ilustrar y facilitar la comprensión de los aspectos teóricos, instrumentos que todavía hoy se siguen adquiriendo en las Facultades y que algún día también pasarán a ser estudiados por generaciones venideras. Sobre este tipo de objetos, los instrumentos científicos destinados a la enseñanza, y en contadas ocasiones a la investigación, vamos a hablar en este trabajo.

En concreto, la colección objeto de este estudio es la depositada en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de Madrid por la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid. Consta de ochocientos sesenta y un instrumentos, aunque sólo mostramos una selección de trescientos noventa y nueve, que son los más destacados y representativos y en general anteriores a 1945.

La idea de la publicación de esta obra, animada por la escasez de trabajos de este tipo en español, tiene su origen en una Acción Especial subvencionada por el Plan Nacional de I+D, culminada hace ya dos años, y cuya finalidad era tan sólo la de inventariar y precatalogar el conjunto de instrumentos científicos de la mencionada Facultad. Aquel proyecto, terminado con éxito, ha tenido su continuación en la publicación de los resultados del mismo.

La colección cuyo estudio llevamos a cabo en este catálogo está dotada de un gran valor histórico por varias razones: una de ellas es su propio valor material; otra es que supone un testimonio vivo de nuestra historia, pues nos proporciona información acerca de nuestro pasado, de aspectos concretos de la enseñanza de la ciencia en España; una tercera y, si cabe, la más importante, es que gran parte de su valor reside en que es una colección coherente y continua, si bien no podemos decir que sea completa. Es coherente porque tiene un sentido histórico, está asociada a una institución educativa y el papel de cada uno de los instrumentos está justificado; es continua porque a través de ella podemos observar la evolución de la enseñanza desde la fundación de los estudios superiores de Física hasta casi mediados de este siglo; no es completa porque, inevitablemente, el paso de los

años y el hecho de que su fin fuera el uso cotidiano en manos de personas muy diversas la han ido deteriorando y menguando. Y esto es precisamente lo que da sentido a uno de nuestros objetivos: reconstruir, en la medida en que el material de archivo nos lo ha permitido, el pasado de esta colección, su historia y su papel en la enseñanza a lo largo del tiempo.

Esta publicación no es, o al menos no tenemos intención de que sea, únicamente un catálogo de objetos, sino una pequeña aportación al conocimiento de la historia de la física en España. Y decimos pequeña aportación porque esta obra no pretende ofrecer un riguroso estudio sobre la enseñanza de la física en España, tema que, por otra parte, ya ha sido objeto de varios trabajos; nos hemos limitado por tanto a, fundamentalmente, intentar realizar una contextualización de los instrumentos que permita al lector comprender el papel de la colección, tema que, por otra parte, tiene pocos, aunque buenos, estudiosos.

Para tal fin hemos dividido esta obra en dos grandes apartados: el primero, dedicado a un estudio histórico de la colección, que sirve de introducción al catálogo, y el segundo, el catálogo propiamente dicho, dividido en capítulos de acuerdo con las diferentes ramas de la física introducidos por unas líneas históricas acerca de cada una; en el catálogo cada pieza presenta, junto a la descripción histórico-técnica, una fotografía, en ocasiones un grabado explicativo, el número de inventario adjudicado en el M.N.C.T., la datación, dimensiones, materiales e inscripción del fabricante cuando la posee. Adjuntamos al final una serie de apéndices en que ofrecemos información adicional que hemos preferido separar de la introducción para no abrumar al lector. En ellos se muestran inventarios encontrados, los catálogos de instrumentos que la Instrucción Pública recomendaba adquirir, así como un inventario completo de la colección, pues, como hemos dicho al principio, los instrumentos presentados constituyen sólo una selección de las piezas más interesantes. En el índice de personas, que incluye inventores, fabricantes y personajes españoles, tanto políticos como profesores, relevantes para la enseñanza de la física, hemos procurado proporcionar información completa acerca de los nombres y fechas de nacimiento y muerte, lo cual no siempre ha sido posible, especialmente en el caso de los fabricantes. La bibliografía incluye manuales de física de los siglos XVIII, XIX y XX, muy útiles en muchas ocasiones para identificar instrumentos y para conocer la explicación contemporánea del instrumento, catálogos de fabricantes, fundamentales además para datar los objetos, y obras modernas relacionadas con los instrumentos científicos, tanto catálogos de instituciones con colecciones similares como estudios sobre instrumentos o temas concretos.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del s. XIX en Europa alcanzaron la madurez distintas ramas de la ciencia contemporánea. En España sin embargo, la guerra de la Independencia supuso el colapso del desarrollo de la ciencia que había tenido lugar en el último cuarto del siglo XVIII y el consecuente retraso con respecto a otros países europeos.

La incorporación de España al movimiento científico que estaba produciéndose en el resto de Europa tuvo lugar más tarde, a partir del reinado de Isabel II, y en diversas etapas, fundamentalmente entre 1850 y 1880[1].

La primera mitad fue un periodo de grandes movimientos ideológicos que en materia de instrucción pública, la que aquí se tratará, afectaron negativamente a la implantación y consolidación de un sistema de educación moderno y europeo, retrasando enormemente la incorporación de España a las políticas científicas practicadas por los países vecinos, en especial Francia, Gran Bretaña y Alemania. No obstante, una de las características más notables de todos los gobiernos que durante este siglo accedieron al poder, independientemente de su ideología (liberales, moderados, progresistas o conservadores), fue la prosecución de un objetivo común: la idea de centralización y estandarización de la enseñanza, idea heredada de los reformistas ilustrados que desde la llegada de Carlos III a España habían mostrado interés en la promoción de las ciencias y las técnicas, y que surgió a partir de la intención de controlar las fuerzas intelectuales que pudiesen hacer peligrar o disputar el dominio político.

El intento de creación de una Universidad Central[2] en Madrid en 1820 (recordemos que en la capital no había universidad propiamente dicha) a partir del traslado de la de Alcalá de Henares[3], la única que estará dotada de todas las especialidades, es un buen ejemplo de esta política. Es a la vez un buen ejemplo, y la principal víctima, de las repercusiones de la inestabilidad política en la instrucción pública, pues se cerró tres años después, en 1823, año en que finalizó el trienio liberal y volvió a reinar Fernando VII, continuando el curso siguiente nuevamente en Alcalá de Henares.

En efecto, la falta de continuidad en los gobiernos convirtió aquellos deseos de centralización y uniformización en una sucesión de leyes, reglamentos o planes de estudios, rechazados, inicialmente aprobados y no llevados a la práctica, o abortados al poco tiempo de su implantación.

Con la mayoría de edad de Isabel II en 1834 comienza una etapa de gobierno moderado que, a excepción del trienio progresista de 1854-1856, se extenderá hasta prácticamente la Revolución de 1868. En esta época empiezan a darse los primeros pasos hacia una verdadera reforma de la enseñanza: en 1836, por Real Orden del 29 de Octubre, se traslada definitivamente a Madrid la Universidad de Alcalá, primero al Seminario de Nobles y luego a las Salesas Nuevas, hasta que el 10 de mayo de 1842 toma el edificio de Noviciado (en el que no obstante no se impartirán clases hasta el año de 1855 debido a las necesarias reformas llevadas a cabo) compartiendo edificio con un centro de segunda enseñanza, y comprendiendo además, entre otros centros el Museo de Ciencias Naturales (gabinete de Historia Natural y Jardín Botánico) y el Observatorio Astronómico[4].

Al margen de pequeños cambios preparados por Rivas, Quintana y Espartero, no es hasta 1845 cuando tiene lugar la primera gran reforma. Se trata del nuevo plan de estudios para la enseñanza secundaria y superior propuesto por el jefe de la sección de instrucción pública, Antonio Gil de Zárate, y aprobado por el ministro de la Gobernación que le da nombre, Pedro José Pidal. Se trata del conocido como Plan Pidal.

[1] Para una visión general de la ciencia en España en el siglo XIX véase, por ejemplo, Juan Vernet, *Historia de la ciencia española*, Madrid: Instituto de España, 1975, especialmente pp. 212-230 y 243-247. Para la situación concreta de la enseñanza de la física en esa época, véase Moreno, A., *Una Ciencia en Cuarentena*, Madrid: CSIC, 1988. Para un estudio detallado de la situación de 1875 a 1885 véase Ángela del Valle López, *La Universidad Central y su Distrito en el primer decenio de la Restauración Borbónica*, Madrid: Consejo de Universidades, Secretaría General, 1990, 2 Tomos.

[2] El nombre de "Universidad Central" no lo recibirá hasta 1850.

[3] La Universidad de Alcalá de Henares fue fundada en 1508 por el Cardenal Cisneros. Un estudio profundo acerca del traslado y las circunstancias que le rodearon puede verse en Lahuerta, Mª Teresa, *Liberales y Universitarios. La Universidad de Alcalá en el traslado a Madrid (1820-1837)*, Alcalá de Henares: Fundación Colegio del Rey, 1986.

[4] Datos obtenidos de la *Guía de Forasteros* de 1877 y de la *Memoria-Anuario estadístico de la Universidad Central*, curso 1878-79, p. 32. El plan de Estudios del 25 de Septiembre de 1845 incorporó a la Universidad el antiguo Colegio de San Carlos, el colegio de Farmacia de San Fernando, los Estudios de San Isidro, el Gabinete de Historia Natural, el Jardín Botánico y el Observatorio Astronómico.

Este plan incluye reformas en la universidad como, por ejemplo, la reducción a diez de las universidades españolas (Barcelona, Granada, Madrid, Oviedo, Salamanca, Santiago, Sevilla, Valencia, Valladolid y Zaragoza), la centralización en Madrid de los estudios de doctorado[5], la creación de la Dirección General de Instrucción Pública, y el establecimiento como asignaturas, en la licenciatura en ciencias, de matemáticas, griego, química general, mineralogía, botánica y zoología, y, en el doctorado, de griego, cálculos sublimes, geología, astronomía, mecánica e historia de las ciencias.

Tras recibir oficialmente el nombre de Universidad Central en 1850 y una serie de planes sin demasiada trascendencia, el plan Pidal ve su continuidad y puesta en práctica en la ley Moyano[6] de 1857, con la que tendrán lugar sin duda los cambios más significativos. Para el tema que nos ocupa destaca el hecho de que los estudios de ciencias, que hasta entonces se cursaban en la Facultad de Filosofía y Letras[7], se constituyen en una Facultad independiente: La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, subdividida en tres secciones: Ciencias físico-matemáticas, Ciencias químicas y Ciencias naturales. A esta Universidad pertenecían también, como dijimos, el Museo de Historia Natural y el Observatorio Astronómico[8], tres centros con edificios independientes física y administrativamente, que reunidos formarán la Facultad de Ciencias propiamente dicha[9].

Este hecho, que significó el empuje definitivo en la enseñanza de estas ciencias, reflejaba la influencia de una de las ideas clave de la ilustración: el carácter utilitario con el que se concebía la ciencia, pues su promoción tenía la intención de repercutir directamente en el futuro de la industria española. Este carácter, sin embargo, tenía sus inconvenientes. A finales del siglo XIX en Francia tuvo lugar una decadencia formativa y cultural caracterizada por el abandono de la tarea científica. Si bien no podemos culpar de esta decadencia a la preocupación por aplicar y hacer útiles los descubrimientos científicos, tampoco se puede negar que este espíritu tuvo su influencia. A diferencia de lo que sucedía en Francia, en Alemania el Estado apoyaba a las Universidades y promovía la ciencia pura y la investigación por sí misma. A principios del último tercio del s. XIX España seguía todavía bajo una cierta influencia de Francia en algunos aspectos, como por ejemplo la mala situación de los laboratorios y el predominio de la ciencia teórica, aunque, a diferencia de este país, aquí no existía interés por la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. Empieza a notarse poco a poco la influencia alemana fundamentalmente a través de los pensionados, especialmente de Julián Sanz del Río.

Todos los aspectos que acabamos de mencionar van a tener una influencia muy directa y decisiva en el número y características de los instrumentos que se emplearán en la enseñanza. Trataremos por tanto en varios apartados esta relación. En primer lugar, analizaremos las características de la organización de la Universidad que hacen necesaria la existencia de instrumentos científicos, tanto destinados a la enseñanza como a la investigación y hablaremos de los lugares en que se utilizaban tales instrumentos. En segundo lugar, veremos cuales son las vías de que se sirve el Estado para proveer a la Universidad de esos instrumentos: el traslado desde otros centros cuando la compra no es posible, o la adquisición cuando es posible; en este segundo caso consideraremos a qué países se recurre para ello.

5 La Universidad de Madrid será la única "completa", es decir, dotada de estudios de doctorado, hasta 1928.

6 *Boletín Oficial del Ministerio de Fomento,* 1 octubre 1857, tomo XXIV, año VI, nº 301, pp. 5-26 y *Boletín Oficial del Ministerio de Fomento,* 8 octubre 1857, tomo XXIV, año VI, nº 302, pp. 49-67.

7 Recordemos que la enseñanza en España estaba dividida en facultades menores y mayores. Para acceder a las segundas (Teología, Medicina, Cánones y Leyes) era imprescindible cursar estudios en las primeras, entre las que estaba comprendida la de Filosofía. De este modo la física sólo era un medio para acceder a otros estudios.

8 El Observatorio dejó de depender de la Universidad por Real Decreto de 5 de Diciembre de 1851, cuando el antiguo Director de Instrucción Pública, Antonio Gil de Zárate, fue nombrado Comisario Regio del mismo.

9 *Boletín Oficial del Ministerio de Fomento,* 1 octubre 1857, tomo XXIV, año VI, nº 301, pp. 22-23.

2. LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA INVESTIGACIÓN EN LA UNIVERSIDAD: ASIGNATURAS EXPERIMENTALES, MATERIAL CIENTÍFICO Y LABORATORIOS

Mencionábamos al principio que desde finales del siglo XVII se vienen empleando instrumentos científicos como complemento importante en la enseñanza de la física. Evidentemente, la presencia de este tipo de objetos en una enseñanza más o menos institucionalizada, como es el caso de la que estamos tratando, depende directamente, por un lado, de la presencia en los programas de asignaturas que exijan o contemplen en sus temarios la realización de prácticas, pues, al fin y al cabo, el uso de los instrumentos tenía como fin complementar una formación teórica. Por otro, depende de que el Estado o el organismo competente sea capaz de afrontar los gastos que supone suministrar a un centro el material suficiente para que todos sus alumnos puedan acceder a él.

Por tanto, para justificar y comprender la mayor o menor necesidad y existencia de instrumentos científicos en el periodo histórico que estamos estudiando, analizaremos las asignaturas directamente experimentales o que incluyeran prácticas experimentales, así como las modificaciones en los planes de estudios que pudieran llevar a una mayor, o menor, necesidad de material científico. Este último aspecto nos servirá además como objeto de análisis a la hora de ver la influencia de aspectos políticos en la adquisición de instrumentos.

Los aspectos económicos, fuerza mayor que condiciona el cumplimiento de los programas, serán analizados en el apartado siguiente, destinado a estudiar la "procedencia del material científico".

2.1 Presencia de asignaturas experimentales

Como hemos visto, hasta la fundación en 1857 de una Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, la física se estudiaba en la Facultad menor de Filosofía, en la cual la disciplina de física experimental fue establecida como asignatura independiente en 1838, un año después de su traslado a Madrid. Era ésta pues la única asignatura que requería, y requirió hasta 1857, el uso de instrumentos.

Es cierto que en 1845 el Plan Pidal llevó a cabo una reforma que supuso un gran avance en lo que a la enseñanza de las ciencias concierne, sin embargo, y aún estando presente en él la formación experimental teóricamente (se contemplaba la enseñanza de física experimental) y prácticamente (disponían de instrumentos adecuados, aunque quizá no suficientes), no parece que este aspecto de la formación tuviese la presencia que era de desear. Así lo manifiesta, por ejemplo, Menéndez Pelayo:

> "Olvidadas las ciencias experimentales, aprendíase física sin ver una máquina ni un aparato, o más bien no se aprendía de modo alguno, porque los estudiantes solían cortar por lo sano, no presentándose en la universidad sino el día de la matrícula y el del examen"[10].

10 Menéndez Pelayo, *Heterodoxos*, Madrid: 1956, vol. 2, p. 1000, citado en Vernet, *op. cit.*, p. 216.

Esta situación se mantuvo más allá de lo que hubiese sido de desear. Durante décadas se realizaron numerosos intentos por conseguir que se impartiesen realmente las asignaturas experimentales, hecho que al parecer no se consiguió hasta finales del siglo XIX.

En 1857, la ley Moyano supone un primer intento por prestar más atención, al menos teóricamente, a la enseñanza práctica de las ciencias. Como vimos, con esta ley se funda una auténtica Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en la cual se contemplan específicamente asignaturas puramente prácticas; sin embargo, no parece que esto sea suficiente. Si bien se insiste en la importancia de este tipo de asignaturas la realidad es muy diferente, pues la situación económica impide que se cumplan los programas. Pues bien, a partir de la mencionada ley la organización de la enseñanza de la física y las materias comprendidas en cada ciclo eran las siguientes[11]:

Bachillerato en ciencias[12]

Complemento de álgebra, geometría y trigonometría rectilínea y esférica.
Geometría analítica de dos y tres dimensiones
Geografía (cursada en la facultad de Filosofía y Letras)
Ampliación de física esperimental
Química General
Zoología, Botánica, y mineralogía con nociones de geología

Licenciatura en ciencias físicas

Tratado de los fluidos imponderables
Química inorgánica
Química orgánica
Esperimentos y operaciones (los alumnos se ejercitarán diariamente, durante estos estudios en la experimentación y operaciones de laboratorio).

Doctorado en ciencias físicas

Análisis químico
Trabajos prácticos (continuarán ejercitándose en el laboratorio)

Como vemos, en los tres ciclos existen asignaturas, como la física experimental o los "Trabajos prácticos", que, o bien requieren instrumentos para su desarrollo, o bien son directamente prácticas. Sin embargo, no parece que las prácticas complementarias de las asignaturas teóricas se llevasen a cabo. Buena prueba de ello es que en 1859 se aprueba una ley[13] que establece la obligatoriedad de compaginar la teoría y la práctica, ley que, como era de esperar, no se cumple debidamente. En 1880 un Real Decreto[14] vuelve a recordar, sin éxito, la obligatoriedad de las asignaturas prácticas.

La razón del fracaso de todos estos intentos está en que, como decíamos al principio, el establecimiento de decretos y leyes relacionadas con este tipo de enseñanza no implicaba su cumplimiento, pues el capítulo económico tenía un peso determinante, es decir, el material contenido en los gabinetes que debía ser

11 El Plan de estudios para la Facultad de Ciencias fue promulgado el 7 de septiembre de 1858. Las asignaturas se han obtenido de la *Colección Legislativa de España*, 1º semestre de 1860, tomo 83, Madrid, 1860, pp. 214-215.

12 Mostramos también los estudios de bachillerato porque eran necesarios para el acceso a la Universidad y además pertenecían a ella los centros en que se impartían.

13 Artículos 111 al 114 del Reglamento de la Universidad del Reino. *Compilación Legislativa de Instrucción Pública*, tomo IV, pp. 28-29.

14 Real Decreto de 13 de Agosto de 1880, citado en A. del Valle, *op. cit.*, T. I, p. 688.

utilizado para llevar a cabo las prácticas de física no era suficiente para satisfacer las necesidades de los profesores y los alumnos, y las inversiones en material tampoco eran suficientes para resolver este problema.

Esta situación no cambiaría al parecer hasta 1885, como veremos más adelante. Prueba de ello es que en la memoria de este curso, el 1884-85, empieza a incluirse en el capítulo de gastos el concepto de material científico[15].

Continuando con los aspectos teóricos, el programa establecido en 1857, si bien no permanece sin variaciones a lo largo de todo el período que estamos estudiando, éstas no son importantes para el objetivo que nos interesa, pues sí se mantiene la presencia de asignaturas que requieren la realización de prácticas experimentales.

Podemos comprobarlo comparándolo, por ejemplo, con el programa de estudios establecido por el Plan García Alix de 1900 (recordemos que con este plan se divide la Facultad de Ciencias en tres: Exactas, Físicas y Naturales), para la Facultad de Ciencias, sección de Ciencias Físicas:

LICENCIATURA

1º AÑO

Análisis matemático, primer curso
Geometría métrica
Química general

2º AÑO

Análisis matemático, segundo curso
Geometría analítica
Física general

3º AÑO

Elementos de cálculo infinitesimal
Cosmografía y física del globo
Acústica y óptica

4º AÑO

Mecánica racional
Termodinámica
Electricidad y magnetismo

DOCTORADO

Astronomía física
Meteorología
Física matemática primer curso
Física matemática segundo curso[16]

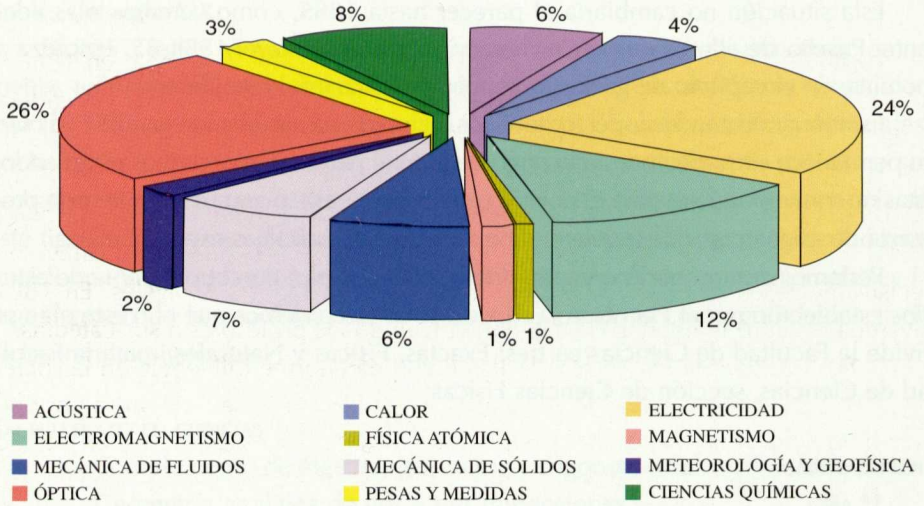
En efecto, si bien las asignaturas van sufriendo variaciones a lo largo de ambos siglos, la presencia de la formación experimental en las Facultades de Ciencias permanecerá como una constante, lo cual justifica la necesidad de instrumentos científicos destinados a la enseñanza.

Para finalizar mostraremos mediante un gráfico la distribución de los instrumentos según las distintas disciplinas de la física que, si bien no puede ser tomado

15 *Ibid.*, T. I, p. 688 (Presupuesto de material ordinario, curso de 1884-85. Legajo B 44. Documentos de fecha 12 de marzo de 1884) y p. 709.

16 Moreno, *Una ciencia en cuarentena, op. cit.*, p. 399.

1.- Distribución temática del conjunto de la colección



como una referencia completa porque se ha elaborado a partir de los instrumentos de la colección que actualmente se conservan, consideramos puede ser bastante ilustrativo para comprender la importancia de determinadas asignaturas, como la electricidad y el electromagnetismo o la óptica, fundamentalmente en el siglo XIX.

2.2 La investigación en la Universidad

Si analizamos las circulares y Reales Decretos relativos a los instrumentos que han de adquirirse para ser utilizados en las instituciones de enseñanza del país y, en concreto, en la Universidad, veremos que se recomienda la adquisición de instrumentos de calidad válidos, no sólo para la enseñanza, sino también para la investigación[17]. No obstante, esta última no está tan presente como se pretende, al menos en la segunda mitad del siglo XIX y las primeras décadas del XX.

La concepción en cierto modo utilitarista de la ciencia que hemos afirmado impulsaba la enseñanza de las ciencias, tenía a la vez una consecuencia negativa para ellas, pues, influidos por esta concepción, la mayoría de los profesores renunciaban a la investigación. A esta circunstancia se sumaba la falta de medios y, si bien éste no es un obstáculo determinante (en torno al año 1860 empiezan a realizarse trabajos experimentales movidos por el esfuerzo personal de unos pocos, sin el apoyo de la Administración, que dan lugar a contribuciones poco significativas y de escasa originalidad[18]), es evidente que el cambio de rumbo debía surgir a partir de una iniciativa política, es decir, existían otros factores, a parte de los económicos y la falta de motivación, que resultaban ser determinantes para la situación de la investigación en España.

Desde su creación, la Universidad fue una institución autónoma e independiente, situación que la presión del estado fue deteriorando durante el siglo XVIII y parte del XIX. Este cambio provocó una polémica entre dos tendencias políticas,

17 Por ejemplo en la circular de 15 de septiembre de 1846, firmada por Gil de Zárate, que veremos más adelante, en el apartado de procedencia del material (ver nota nº 58).

18 Un ejemplo de esta situación, así como de la falta de interés por la investigación, puede verse en el hecho de que entre los años 1851 y 1898 sólo se leyeran 8 tesis doctorales directamente relacionadas con temas de física, y algunas de ellas tratando temas históricos o desfasados con respecto a la investigación llevada a cabo en otros países, *Ibid.*, pp. 533-535. Además, puede verse en la *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central*, el número de nuevos licenciados, por ejemplo, entre los años 1858-70, una media de 3 ó 4.

tradicionales y progresistas[19], que concebían la independencia universitaria de forma completamente diferente. Para los primeros consistía en autogobierno, para los segundos, con matices, en libertad de cátedra dentro de una Universidad dependiente del estado.

La libertad de cátedra fue establecida en la universidad española en 1868 y suprimida en 1875 por Manuel de Orovio, entonces Ministro de Fomento (cartera de la que dependía entonces la Instrucción Pública), hecho este último que provocó no sólo la protesta sino también la separación de varios profesores de sus cátedras, entre los que destaca Giner de los Ríos[20]. Fue él quien, un año después, en 1876, creó la Institución Libre de Enseñanza (ILE), cuyas iniciativas influyeron decisivamente en la renovación de la enseñanza en todos sus niveles. En 1881 Alvareda restauró la libertad de cátedra, volviendo los profesores a sus cátedras.

El espíritu de esta institución (la ILE) tuvo una enorme influencia en la sociedad y en los profesores universitarios, algunos de los cuales se esforzaron por cultivar la experimentación. Entre sus iniciativas destacan la creación de un Museo Pedagógico en 1882 (dependiente de la Dirección General de Instrucción Pública) la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE) en 1907[21] (dependiente del Ministerio pero independiente de la Universidad) y el Laboratorio de Investigaciones Físicas, que en 1932, tras la donación por parte de la Fundación Rockefeller de un nuevo edificio, recibió el nombre de Instituto Nacional de Física y Química. Cabe destacar también la importancia de la junta (JAE) para la difusión en España del "modelo alemán".

La función última de este Instituto era la formación de promociones de científicos, formación que se iniciaba con pensiones en el extranjero, para que más tarde dichas promociones, ocupando cátedras en las universidades españolas, difundieran por toda España el método experimental como medio de trabajo para la Física y la Química. Pero menos de un tercio de ellos habían obtenido una cátedra en 1936 o después de 1939, lo cual constituye un evidente despilfarro. Por otra parte, si bien es cierto que esta función de formación era más propia de la Universidad, razón por la cual algunos profesores no veían con buenos ojos el hecho de que el estado mantuviese instituciones de investigación académica sin tener atendidas las necesidades mínimas de la Universidad, no es menos cierto que la Universidad española del siglo XIX y primer tercio del XX andaba escasa de profesores entregados a la investigación científica. Las causas de este segundo hecho (formación desfasada, escasa dedicación o la existencia de alternativas mejor retribuídas) llevan a la conclusión de que haber puesto en manos de la propia Universidad la responsabilidad de la renovación y mejora de la situación hubiera sido un fracaso. Por algún punto había que atajar la irresoluble situación de la Universidad (no se investiga por falta de medios y viceversa); pues bien, esta ruptura se llevó a cabo separando la investigación del mundo académico.

Otra institución de gran interés para la investigación fue la Sociedad Española de Física y Química, creada en 1903 por iniciativa privada (entre sus miembros fundadores figura un físico profesor de la Facultad de Ciencias: Ignacio González Martí) y que alcanzó el título de Real. En sus Anales se recogió hasta 1936 prácticamente toda la producción española en Física y Química[22].

19 Ver Mariano Yela, "La educación y la pedagogía", en J. M. Jover Zamora (dir.), *Historia de España Menéndez Pidal*, Tomo XXXIX, *La edad de plata de la Cultura española (1898-1936)*, vol. II, *Letras. Ciencia. Arte. Sociedades y Cultura*, Madrid: Espasa Calpe, 1994, parte II, cap. III, pp. 287-307 y especialmente pp. 297-301.

20 En ausencia de otra fuente de acceso al desarrollo de otros países europeos, la forma en que España recibía tal influencia a mediados del siglo XIX era a través de los pensionados. Un ejemplo de esta influencia eran los pensionados en Alemania, país que, como hemos mencionado, valoraba a la ciencia por sí misma. Giner de los Ríos era un hombre liberal y humanista identificado con el espíritu renovador que importó de Alemania Julián Sanz del Río.

21 Para esta institución véase Sánchez Ron, J. M. (coord.), *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1988, 2 vols.

22 Para este tema véase Valera Candel, M., *La producción española en Física a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1903-1937*, tesis doctoral leída en la Universidad de Murcia, 1981, 3 vols.

Podemos concluir que los esfuerzos fueron fructíferos a partir de la segunda década del siglo XX, pues encontramos científicos significativos que llegaron a trascender nuestras fronteras y a alcanzar contribuciones originales, creando escuela[23]. Entre aquellos que tuvieron algún tipo de relación con la Universidad destacan, por ejemplo: Blas Cabrera y Felipe (1878-1945), catedrático de electricidad que estudió las propiedades dia y para-magnéticas de la materia, entre cuyos colaboradores y discípulos destacan Arturo Duperier y Salvador Velayos; Julio Palacios Martínez (1881-1970), que, tras obtener la cátedra de Termología en 1916, realizó trabajos, entre otros temas, sobre el frío y física del estado sólido, y entre cuyos discípulos figuran Luis Brú y Armando Durán; Miguel Catalán (1894-1957) que fue a Madrid a doctorarse en 1915 y destacó en física atómica por la identificación y definición de los multipletes; o Martínez Risco, discípulo de Blas Cabrera y que fue catedrático de Óptica y Acústica.

Por tanto, aunque en las circulares se mencionara que los instrumentos estaban destinados a la investigación, en España no hubo tal hasta prácticamente principios del siglo XX, viéndose este proceso colapsado o al menos obstaculizado por la guerra civil, que provocó el exilio de muchos intelectuales y científicos.

2.3 Enseñanza de disciplinas experimentales: los laboratorios de la Facultad de Ciencias.

Hemos visto que el uso de los instrumentos estaba justificado en la enseñanza experimental por una serie de asignaturas que necesitaban un complemento práctico o que eran prácticas de por sí, pero, ¿dónde se llevaba a cabo esta enseñanza? Planteamos esta cuestión por una razón muy sencilla: la Universidad no disfrutó durante la segunda mitad del siglo XIX y parte del XX de un edificio propio, único y fijo donde impartir las enseñanzas.

Como mencionamos en la introducción, cuando la Universidad se trasladó a Madrid en 1836 pasó por varios edificios antes de ocupar el de Noviciado en 1842 (que tras una reforma sería "inaugurado" con gran pompa en 1855). Pero ni siquiera entonces disponía de un único edificio en que se centralizasen e impartiesen todas las materias. Durante la segunda mitad del siglo XIX eran varios los centros que prestaban aulas a la Universidad, como se puede ver en la siguiente cita de la *Memoria del estado de la enseñanza en la Universidad Central, curso 1858-59*: "En la actualidad las cátedras, laboratorios y gabinetes se hallan diseminados en los edificios de Noviciado del Instituto de San Isidro, sirviendo para las enseñanzas elementales y para las superiores".

Algunas clases por tanto se impartían en el Instituto, entonces Reales Estudios, de San Isidro, incluso después de que el curso 1855 se inaugurase en el nuevo edificio de Noviciado; otras, y en concreto las cátedras de Física, Ampliación de Química y Prácticas correspondientes a la Facultad de Ciencias, empezarán a impartirse, a partir del 12 de marzo de 1868, en el piso bajo del entonces Ministerio de Fomento, ocupado por el Conservatorio de Artes[24]. Un año después, en el curso de 1869-70 tanto la asignatura de Astronomía, perteneciente al doctorado, como la

23 Para más información acerca de estos grupos, véase Angel Vian Ortuño, "La Física y la Química", en J. M. Jover Zamora (dir.), *Historia de España Menéndez Pidal*, Tomo XXXIX, *La edad de plata de la Cultura española (1898-1936), op. cit.*, parte II, cap. V, pp. 429-472 y especialmente 450-456.

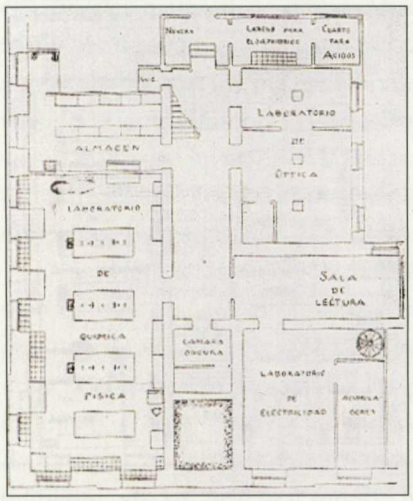
24 A.G.A., Educación y Ciencia. Asuntos Generales. Facultad de Ciencias, legajo 5980.

Ampliación de Física, perteneciente al Bachillerato, se impartían en el Conservatorio de Artes.

Esta situación se mantuvo hasta que en la década de 1940 se finalizaron las obras de la Ciudad Universitaria, momento en que la Facultad de Ciencias contaría con un edificio propio, que no ocuparía hasta 1945. En éste estaba proyectado, en la fachada posterior, un pabellón donde se agruparán "las cátedras principales alrededor de un Museo de aparatos de Cátedras"[25] para que fuese utilizado fácilmente por todas ellas. La primera Facultad en trasladarse a estos nuevos edificios sería la de Filosofía y Letras, que lo haría en el curso de 1932-33.

Esta situación de dispersión, que veremos tendrá importantes consecuencias para los instrumentos, también tuvo sus repercusiones en aquellas aulas destinadas exclusivamente a la enseñanza experimental: los laboratorios, cuya situación, a juzgar por los comentarios de los profesores, dejaba mucho que desear, al igual que la mayoría de las instalaciones de la Universidad Central (a excepción de Farmacia) durante gran parte de la segunda mitad del siglo XIX[26].

Desde mediados del siglo XIX y hasta principios del XX[27], los laboratorios de Física de la Facultad de Ciencias se hallaban instalados en el jardín de la Universidad. Constaban de cuatro departamentos, dos de ellos destinados a los laboratorios de Física general, Termología, Electricidad y Magnetismo, Acústica y Óptica, y los otros dos al Taller de Mecánica de la Facultad y a la cámara oscura para fotografía.



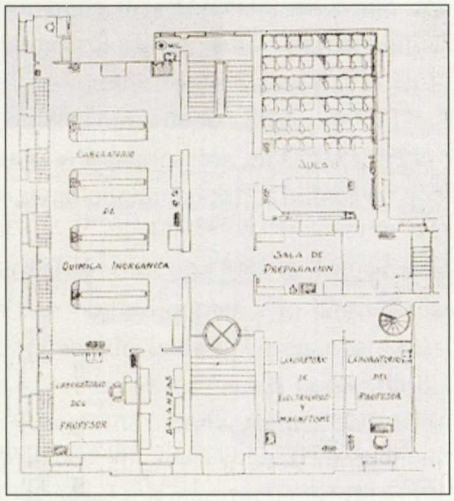


Fig. 1. Planta baja de los laboratorios de la Facultad de Ciencias
A la derecha
Fig. 2. Planta principal del laboratorio de la Facultad de CC

El estado de estos laboratorios era bastante malo: por un lado, el espacio que ocupaban era demasiado pequeño; por otro, las malas condiciones del edificio hacían que fuera imposible conseguir las condiciones necesarias tanto de firmeza y estabilidad (las vigas de gran longitud eran responsables de vibraciones muy marcadas) como de aislamiento térmico (el exceso de ventanas y el escaso espesor de los muros provocaban que las oscilaciones termométricas fueran muy grandes en todas las épocas del año).

25 *Anuario del Curso 1932-33 y Guía para el Curso 1933-34*, Madrid, 1933, p. 315.

26 Fernández de los Ríos, A., *Guía de Madrid*, Madrid, 1876, p. 511 y sigs.

27 Sobre la situación de los laboratorios de Física de la Facultad de Ciencias en 1913 puede verse "Laboratorios y Cátedra de Física de la Facultad de Ciencias", Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso (4º 1913. Madrid), *Reseña de los principales establecimientos científicos y laboratorios de investigación de Madrid: IV congreso, 15-20 junio 1913*: Imprenta de Eduardo Arias, 1913?, pp. 155-160.

Por su parte, el laboratorio de Química se hallaba situado en "las habitaciones particulares del Doctor Velasco - en el Museo Antropológico del paseo de Atocha"[28], lugar que le fue asignado en torno a 1900, fecha en que se derribó el edificio en que estuvo situado anteriormente, en los sótanos del antiguo Ministerio de Fomento de la calle de Atocha de Madrid.

De esta situación se venían quejando los profesores desde mediados del siglo anterior, tal y cómo describe Enrique Moles en el artículo publicado en el *Boletín de la Universidad de Madrid* en 1929, dedicado a los laboratorios de que disponía la Facultad de Ciencias en esa época, lo que le convierte en una interesante referencia para conocer el estado de los mismos en torno a 1930.

En la década de 1920 se inicia el gran proyecto de crear una Ciudad Universitaria, pero la situación de los laboratorios de Ciencias en esa época era tan insostenible que los profesores de la sección de Ciencias Físicas y Químicas no pudieron esperar a la finalización de ésta, y solicitaron la instalación en el viejo edificio de la Universidad de nuevos laboratorios que además pusieran fin a la dispersión de locales en que se impartían tanto las enseñanzas prácticas como teóricas. Los nuevos locales destinados a los laboratorios de la Facultad de Ciencias se construyeron en el solar de lo que fue palacio del Marqués de Bendaña, en el nº 49 de la calle de San Bernardo, esquina a la calle de los Reyes, y fueron terminados en 1927. En la planta baja se alojaron aquéllos laboratorios que requerían un piso más

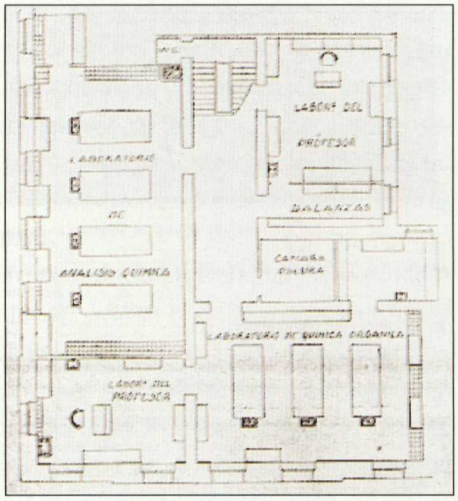


Fig. 3. Planta primera del laboratorio de la Facultad de CC

firme y una temperatura más estable: los laboratorios de Química-Física, Óptica, Electricidad y la Sala de Lectura, así como un laboratorio para trabajos al aire libre; en la principal, un aula, los laboratorios de Química Inorgánica, de Electricidad y Magnetismo y los de los profesores Enrique Moles y Blas Cabrera; y en la planta primera, los laboratorios de Química Analítica, Orgánica, y los de los profesores Del Campo y Bermejo.

Reproducimos los planos de las tres plantas que poseía el edificio[29], en las que además se hallaban distribuidos todos los servicios necesarios para la enseñanza y la investigación: gas, agua, corriente eléctrica continua, alterna y trifásica, galvanómetros de escala transparente, un proyector de cuerpos opacos y

28 Moles, E., "Los nuevos laboratorios de la Facultad de Ciencias", *Boletín de la Universidad de Madrid*, 1929, tomo I, pp. 153-170, p. 155.

29 En algunos de estos planos no aparecen algunas salas porque son locales que se agregaron con posterioridad, *Ibid.*, p. 157.

transparentes, una bomba de aceite de alto vacío, un cuarto de balanzas, cámaras oscuras, etc.

En 1927 Alfonso XIII firma el Decreto de creación de la Ciudad Universitaria, proyecto que surgió a partir de la idea, concebida ya en 1911, de mejorar las condiciones docentes de la Universidad Central. Con este proyecto, con el que se crea el Patronato de la Ciudad Universitaria (que prosigue en la actualidad), se conseguirá no sólo la unificación de las enseñanzas de cada Facultad en un sólo edificio, sino la dignificación material y enriquecimiento de laboratorios y bibliotecas.

Hasta aquí hemos estado viendo el mal estado de los lugares en que se empleaban los instrumentos destinados a la enseñanza práctica de la física hasta principios del siglo XX. Lamentablemente, este no era el único problema; la difícil situación de la Universidad en esta época se reflejaba también a la hora de conseguir el material científico necesario para llevar a cabo la docencia experimental, y estos son los aspectos que vamos a tratar a continuación.

3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL CIENTÍFICO

En este apartado vamos a estudiar la procedencia del material científico empleado en la enseñanza, y supuestamente en la investigación, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central entre las décadas de 1830 y 1940. A partir del estudio del material de archivo y de la bibliografía de referencia, así como del material científico que la Facultad de Ciencias Físicas conserva hoy en día, hemos comprobado que las tres principales fuentes de suministro de material a la Universidad Central fueron los traslados desde otros centros dependientes de la Universidad, las adquisiciones a firmas extranjeras, y la fabricación en España, incluyendo los talleres de la propia Facultad. Estos serán por tanto los tres puntos en que dividamos este apartado.

Las referencias mencionadas nos permiten hacernos una idea de los escasos medios con los que profesores y alumnos han podido contar a lo largo de la práctica totalidad del s. XIX para ejercer de forma adecuada la enseñanza de las ciencias físicas, en el caso de los primeros, o recibir la formación necesaria de las mismas, en el caso de los segundos. Los numerosos inconvenientes derivados de la falta de estabilidad política durante el diecinueve español, fundamentalmente en su primera mitad, minaron las posibilidades de consolidar un moderno sistema de organización y administración para la instrucción pública del país, cuyo reflejo más inmediato en las aulas fue la falta de un profesorado especializado y de una política coherente para la adquisición del material de laboratorio, que en ocasiones llegó a significar el abandono de la práctica experimental en los mismos.

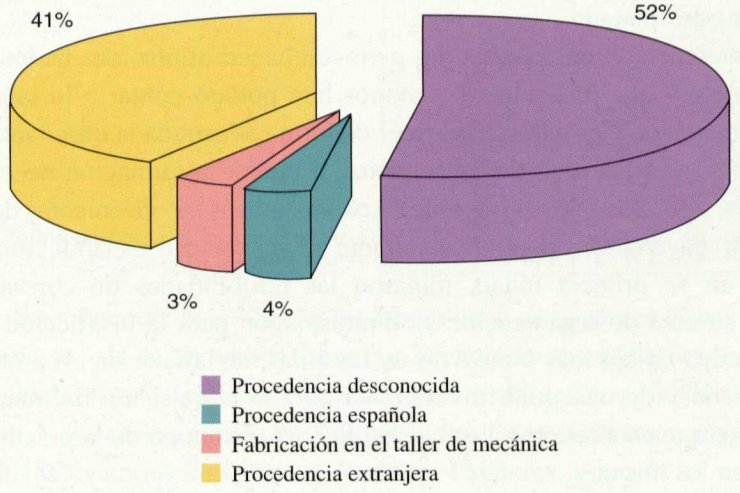
La colección de instrumentos destinados a la docencia en la antigua Facultad de Ciencias de la Universidad Central (a nuestro modo de entender la enseñanza parte importante en el aprendizaje y consolidación de los conocimientos teóricos) procede de fuentes muy diversas que van desde complicados traslados y cesiones de otras instituciones de renombre, como el actual Instituto San Isidro, el Instituto

de Noviciado o el Real Instituto Industrial, a la compra de material en el extranjero (lo más habitual), pasando por la fabricación propia, lamentablemente de escasa presencia y que tenía lugar en el Taller de Mecánica, departamento facultativo del que nos ocuparemos en el último apartado.

Lógicamente, realizar un estudio sobre piezas de procedencia tan variada entraña ciertas dificultades a priori, fundamentalmente relativas al orden de la exposición. Es por ello que hemos elegido dividir el estudio en tres grandes apartados, que a nuestro juicio parecen razonablemente claros, utilizando un criterio cronológico en cada uno de ellos, criterio que consideramos el más comprensible.

A la vista de la distribución global sobre la procedencia de las piezas que nos ofrece el gráfico 2, es fácil entender la importancia de la compra en el extranjero del material científico empleado para la docencia y la investigación en la Facultad de Ciencias. Con un 41% de piezas firmadas por casas foráneas frente al 7% de fabricación nacional podemos hacernos una idea de cual ha sido la situación generalizada de la instrucción pública a lo largo del siglo XIX y primeras décadas del XX. Una dependencia tan grande de la industria extranjera sólo puede explicarse a partir de una industria propia pobre o insuficiente que coincide con la escasa demanda, justificada en parte por la falta de recursos económicos, hecho que se refleja en las innumerables cartas de los profesores que una y otra vez solicitaban vehementemente a la administración del Estado presupuestos suficientes que les permitiera comprar el material científico para dotar a sus maltrechos laboratorios de lo imprescindible para la correcta enseñanza de las ciencias.

2.- Procedencia de las piezas

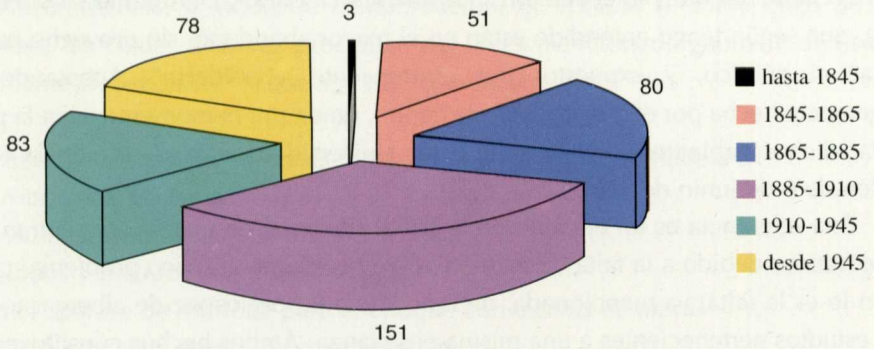


Aproximadamente la mitad de las piezas cuya procedencia desconocemos, porque no presentan firma o sello alguno ni van acompañadas de ningún documento que permita su identificación, podríamos considerarlas de procedencia francesa, basándonos en que estos instrumentos se corresponden con los que apa-

recen en inventarios de compras realizadas en casas francesas conocidas y en que, en cualquier caso, la gran parte de las adquisiciones se realizaron en Francia hasta finales del siglo XIX.

El análisis de los datos que hemos podido reunir sobre el conjunto total de la colección nos ofrece marcados periodos temporales, los representados en el gráfico nº 3, que parecen tener relación directa con la adquisición de determinados grupos de instrumentos. Esta división temporal en la que se agrupan las piezas de la colección será el punto común de estudio en los apartados dedicados al análisis de los fabricantes extranjeros y españoles.

3.- Distribución de las piezas de procedencia desconocida según su antigüedad



3.1 Traslado de instrumentos desde otros centros

Las dificultades que hemos observado en la adquisición del material científico por parte de la Universidad surgen, principalmente, por la ausencia de un edificio en el que estuviesen centralizadas las enseñanzas de ciencias, que sumado a la escasez de recursos económicos, tuvo una influencia muy directa en las características de la colección que nos ocupa y se refleja directamente en la variedad de procedencia de los instrumentos.

En 1837 tiene lugar la fundación en Madrid de la Facultad de Filosofía, y con ella el inicio de los estudios superiores de física, los cuales se cursaban en dicha facultad. Desde ese momento los profesores encargados de las asignaturas experimentales correspondientes a tales estudios comienzan a solicitar el material necesario para llevarlas a cabo. En principio podríamos pensar que en estas fechas debió comenzar la adquisición de material científico, pero la realidad fue muy distinta. Prueba de ello es que en esta colección nos encontramos con algún instrumento del siglo XVIII, es decir, anterior a la fecha de creación de tal Facultad. La razón de esta presencia es la dificultad, fundamentalmente económica, que suponía proveer a la Facultad de un material propio; este hecho hizo que en varias ocasiones se recurriera para ello a "pedir prestados" instrumentos a otras instituciones, aunque no siempre se solicitaran los de la época adecuada. Este hecho explica también la variada procedencia de los instrumentos que constituyen esta colección, lo cual dificulta el trabajo de identificarlos con inventarios concretos.

La universidad y el Instituto de San Isidro

Cuando se funda en Madrid la Facultad de Filosofía en 1837 se establece además la física experimental como asignatura de enseñanza superior, requiriéndose para ella la existencia de instrumentos científicos. Debido a la escasez de recursos económicos necesarios para la adquisición de tales instrumentos, y aprovechando el control[30] que la Universidad Central tenía sobre los otros centros educativos de nivel inferior, se acuerda solicitar[31] al director de los Reales Estudios de San Isidro que "preste" por unos días algunos de sus instrumentos al catedrático de física de la Universidad. Aquél se opone, alegando, entre otras razones, la necesidad que tiene de ellos el profesor de dichos Estudios, y que la facultad puede surtirse por otros medios, por ejemplo acudir a Su Majestad, "o a quien corresponda, pidiendo los Gabinetes que pertenecieron a los Infantes D. Carlos, D. Antonio y D. Sebastian, que según tengo entendido están en el mayor abandono, sin provecho particular ni público, y expuestos por consiguiente a perderse". Aceptando la sugerencia hecha por el director de este centro, quien por el momento evita la pérdida, dichos gabinetes se destinarán a tal Universidad de acuerdo con la Real orden de 6 de junio de 1838[32].

Esta referencia es un ejemplo de la difícil situación en que se encuentran los catedráticos debido a la falta de material. Pero no es éste el único problema; también lo es la falta, ya mencionada, de un edificio propio capaz de albergar todos los estudios pertenecientes a una misma enseñanza. Ambos hechos constituyen la razón de que, cuando en 1845 se funda la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (y hasta 1850), con sede en Noviciado, las cátedras de Física y Química se impartan en los locales de los antiguos Reales Estudios, en aquel momento ya Instituto de San Isidro. Esto motivó que, durante aquel periodo en el que compartieron edificio, no se supiera con certeza qué instrumentos constituían cada gabinete. Esta situación quedó resuelta en 1850 cuando el Gobierno aclaró que sólo pertenecían a la Facultad aquellos instrumentos de Física que se guardaban en el edificio del Noviciado.

Pero los problemas que hemos visto en relación con la dotación de material científico a la Universidad no sólo estuvieron presentes en los primeros años de su fundación. En 1857, mediante una nueva disposición de la Universidad de Madrid se pide el traslado[33] a la Facultad de Filosofía de 19 instrumentos, algunos de ellos del siglo XVIII, pertenecientes al gabinete de San Isidro, que, según Mariano Santisteban son los siguientes:

Aparato de las varillas y cordones para las fuerzas concurrentes y paralelas (F. F.)[34]
Pirámide con secciones, para el centro de gravedad (S. I.)
Columna de 'sGravesande
Dos sistemas de poleas montados en el mismo pie
Tres sistemas de poleas de latón con sus correspondientes pesos del mismo metal, uno con la relación de1:32, otro con la de 1:27, y otro en la de 1:3, dispuestos para armarlos en la columna de 'sGravesande
Torno chino

30 Esta función de control aparece muy bien caracterizada en la obra de Ángela del Valle López, *op. cit.*, tomo I, pp. 455-57.

31 A.G.A. Legajo 6903, 11 diciembre 1837.

32 Citada en Santisteban, M., *Breve Historia de los Gabinetes de Física y Química del Instituto de San Isidro de Madrid*, Madrid, 1875, p. 132, documento nº 8.

33 Citado en *Ibid*, pp. 52-54 y documento nº 7, pp. 130-131.

34 Las indicaciones entre paréntesis significan que el tipo de instrumento señalado se encuentra actualmente en la colección del Instituto de San Isidro (S. I) o en la de la Facultad de Físicas (F. F.) (depositadas ambas en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología), lo cual, si bien no significa que sea exactamente aquél que se prestó, puede servir de orientación.

Aparato para el equilibrio de la cuña (F. F)
Aparato para el equilibrio de las cuerdas
Aparato de fuerzas centrales de 'sGravesande
Cicloide de caoba
Aparato de 'sGravesande para el choque de los cuerpos
Fuelle armónico (S. I.)
Poliprisma formado por seis vidrios de diferente facultad refringente (S. I., F. F.)
Polemoscopio dorado
Sextante de reflexión
Brújula de navegación (S. I.)

En principio, dicho traslado no será definitivo, sino provisional y, a cambio de estos instrumentos, a modo de compensación, el Instituto recibiría otros de la Facultad, los cuales a su vez procedían del antes mencionado gabinete de física del Infante D. Sebastián[35] y que son los siguientes:

Aparato de fuerzas centrales fijado en una columna de madera
Montantes de latón
Varilla con esferas de marfil
Tubos y matraces para los líquidos
Un aparato de Mariotte para el choque con esferas de marfil
Otro con siete esferas de marfil para idem.

Estos instrumentos, sin embargo, no permanecen mucho tiempo en el gabinete de San Isidro, pues tres años después, en 1860, la Dirección General de Instrucción Pública solicita al Instituto de San Isidro la devolución de tales instrumentos[36], que, por Orden de la mencionada Dirección con fecha del 11 de enero, han de ser devueltos al Rey[37].

Por el contrario, la devolución de los instrumentos que San Isidro "prestó" a la Universidad Central, no tuvo lugar tan rápidamente. Con fecha de 7 de octubre de 1869, y debido a que se estaba decidiendo a quién pertenecía uno de los gabinetes de física de la Universidad situado en el Instituto de Noviciado, el profesor de Física del Instituto de San Isidro recordó sus derechos sobre algunos instrumentos en posesión de la Universidad y solicitó su devolución[38]. Volvió a hacerlo el 10 de julio y el 4 de diciembre de 1871[39]. Por fin, en 1872 se acordó la devolución de los instrumentos al gabinete de Física de San Isidro, donde se recibieron el 1 de mayo[40].

La Universidad y el Instituto de Noviciado

Pero, como acabamos de mencionar al final del apartado anterior, no fue San Isidro el único centro que tuvo problemas con la Facultad en cuanto a la propiedad de los instrumentos. El hecho de que la Universidad compartiera edificio con el Instituto de Noviciado hizo que también con él tuviera problemas en cuanto a la pertenencia del material.

35 Santisteban menciona la recepción de estos instrumentos a cambio de los cedidos a la Universidad en *Ibid.*, p. 55 y habla de ello con más detalle en la p. 61 y en el documento nº 8 (pp. 132-133). En el mencionado documento aparece la lista de tales instrumentos. El Infante D. Sebastián es Sebastián Mª Gabriel de Borbón (1821-1875), hermano de Fernando VII.

36 Citado en las páginas mencionadas en la nota anterior.

37 No sabemos si estos instrumentos u otros pasaron de nuevo a instituciones públicas, pues en el A.G.A., legajo 5980, hay un documento del negociado de Instrucción Pública, dirigido al Presidente de conservación, intendencia y administración de los bienes que constituyen el Patrimonio de la Corona, con fecha del 30 de octubre de 1868, en el que se considera la posibilidad de que: «Siendo muy conveniente que las máquinas y demás efectos que constituyen los gabinetes de Física y Química existentes en el patrimonio que fue de la corona, se destinen a la enseñanza en la Universidad e Institutos de Madrid, para que puedan ser útiles a la Nación» se nombre una comisión facultativa.

38 Citado en M. Santisteban, *op. cit.*, p. 105 y documento nº 11 (pp. 135-137).

39 Ver *Ibid.*, p. 107 y documento 12, pp. 137-139. En este documento se señala que en una nota del rectorado figuran solamente 11 instrumentos cuando en realidad se trasladaron 19.

40 Según Santisteban (*Ibid.*, p. 108), este dato figura en el resumen del estado del Instituto de San Isidro durante el curso de 1871 a 1872 (p. 6) publicado por la Dirección.

Así se refleja en varios documentos que hemos encontrado en el Archivo General de la Administración[41]. El primero de ellos es la memoria acerca del estado del Instituto de Noviciado del año 1862. En la parte relativa a los gabinetes se menciona que el Gabinete del Instituto es el mismo de la Facultad de Ciencias, y que, puesto que la mayoría de los que en ese año existen se han adquirido en la época en que ambos, el del Instituto y el de la Facultad estaban bajo una misma dependencia, convendría que se designaran cuáles corresponden a cada centro, para que "en el dia que se lleve a cabo la proyectada separación el Instituto no quede desprovisto por completo de instrumentos de Física". La intención de Instrucción Pública es repartir este material entre los dos centros y enviar lo que sobre a otros que lo necesiten.

El Instituto de segunda enseñanza pretende que el material de la Universidad Central permanezca en su centro, pues «La Facultad de Ciencias se hizo cargo del rico material científico que perteneció al Real Instituto Industrial» y además está utilizando los instrumentos del Conservatorio de Artes. Por su parte, el rector de la Universidad no está por la labor: en una carta firmada el 31 de octubre de 1882 por el Rector Francisco de la Riba, dirigida al Director General de Instrucción Pública, explica que ha hecho llegar la Real Orden del 20 de junio[42], relativa a las condiciones del Gabinete de Física del Instituto del Cardenal Cisneros (antes de Noviciado) y por la que se dictan las disposiciones para su separación del de la Facultad de Ciencias, tanto al Decano de la Facultad de Ciencias como al Director del Instituto. Reproduce la respuesta del Decano, quien, después de hablar con el catedrático de la respectiva asignatura, manifiesta: primero, que la gran mayoría de los instrumentos pertenece sin duda a la Facultad de Ciencias; segundo, que si bien la Facultad está empleando los instrumentos del Conservatorio de Artes, no le pertenecen, pues se trata de una concesión que cesará cuando se estime conveniente o se produzca el traslado de la Facultad; tercero, que, por tanto, si tales instrumentos pasan al Instituto, la Facultad quedará sin medios, siendo éstos aún más necesarios cuando se establezcan, tal y como establece el Real decreto de 13 de agosto de 1880, las nuevas cátedras de Física, momento en que se necesitarán no sólo estos instrumentos, sino también los del mencionado Conservatorio; y cuarto, que no existen instrumentos duplicados, salvo alguno cuyo estado le hace inútil para la enseñanza. Alegando estas razones, y recordando la respuesta negativa a la cesión de los instrumentos al Instituto dada en el informe emitido por la Facultad en 1869, ruega se deje sin efecto la disposición de 2 de junio.

Finalmente, el material no permanecerá en el Instituto, tal y como se afirma en una carta enviada como respuesta, firmada por Francisco de la Riba el 31 de octubre de 1882: El gabinete pertenece a la Universidad Central.

El Real Instituto Industrial y la Universidad Central

Otra fuente de suministro de instrumentos a la Facultad de Ciencias, diferente de la compra en España o en el extranjero y del traslado desde las instituciones

41 A.G.A., legajos 6904 y 6902, respectivamente, reg. 69.

42 En el A.G.A., legajo 6902 (reg. 69) encontramos una nota, firmada por López Navalon en esa fecha que dice: "A juicio del Neg.do procede resolver: 1º Que el Catedrático de Física de la facultad escoja en primer lugar del material de la misma y de la estanteria lo que estime mas aprovechable; 2º Que de lo restante elija el profesor del Instituto lo que crea mas adecuado a la enseñanza del mismo; 3º Que del resto se forme inventario que se remitirá a este Centro, quedando el material hasta nueva orden en el local de la Universidad Central, a disposición de la D. gral que podra destinarlo a otros establecimientos; 4º Que la traslación del gabinete de la facultad del material elegido por el mismo se haga bajo la Dirección del Profesor de la clase de ampliación y de otro comun de la facultad y el Instituto"

que acabamos de mencionar, fueron las cesiones a ésta de material desde otros centros que se cerraban o reformaban, como fue el caso del Instituto Industrial.

El Real Instituto Industrial de Madrid[43] fue creado en 1850 con carácter de Escuela Industrial superior a partir del Conservatorio de Artes, al que sustituyó y del que heredó tanto el material como los profesores. A su vez, el Conservatorio de Artes tuvo como precedente histórico al Real Gabinete de Máquinas[44], fundado en 1788 y clausurado en 1824, del que tomó parte del equipo técnico y el material.

El Real Gabinete de Máquinas se creó en Madrid con el objeto de ofrecer estudios de ingeniería y disponer de una colección de láminas y maquetas de máquinas que sirvieran de modelo para las obras públicas y la industria. Para tal fin se enviaron pensionados españoles a Francia, cuya vuelta, así como el traslado de los modelos allí realizados, tuvo lugar en 1791, acelerado por el estallido de la Revolución Francesa. Tal Gabinete se constituyó en esa fecha, instalado en el palacio del Buen Retiro, siendo primer director Agustín de Bethencourt. En 1802 se instaló en el mismo edificio la Escuela de Caminos y Canales, pasando el Gabinete a convertirse en una dependencia de dicha Escuela. Cuando ésta se cerró debido a los acontecimientos de mayo de 1808, el material se depositó temporalmente, hasta septiembre de ese mismo año, en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Volvió a clausurarse la Escuela meses después al ser ocupado Madrid por los franceses, trasladándose el material a los sótanos del palacio de Buenavista. Al finalizar la guerra en 1813 pasó a depender de la Real Sociedad Económica Matritense, depositándose los objetos en su local de la calle del Turco (actualmente del Marqués de Cubas).

El Conservatorio de Artes[45] se fundó en Madrid en Agosto de 1824 como una escuela de peritaje industrial, destinada a la formación de artesanos. Situado inicialmente en el Almacén de Cristales (más adelante Laboratorio de Química), en la calle del Turco, sufrió numerosas reformas a lo largo de los años de su existencia. Como mencionamos anteriormente, heredó tanto parte del equipo técnico como del material del Real Gabinete de Máquinas; no obstante este material no permaneció en el Conservatorio mucho tiempo, pues, cuando en 1834 se creó de nuevo la Escuela de Caminos y Canales, ésta solicitó el material procedente del Real Gabinete, decidiéndose que la partición era la mejor solución. Pero esta decisión no se llevó a cabo hasta más adelante, en virtud de la R. O. de 8 de octubre de 1846. Así pues, en 1847, al trasladarse el Conservatorio a la planta baja del antiguo convento de la Trinidad, en la calle de Atocha, los objetos pertenecientes al antiguo Gabinete se repartieron: los planos y modelos de máquinas industriales se quedaron en el Conservatorio y los modelos de máquinas hidráulicas pasaron a la Escuela de Caminos[46].

En Octubre de 1850, con los medios humanos y materiales de que disponía el Conservatorio se instituye el Real Instituto Industrial, destinado a la formación de ingenieros. Se crearon la enseñanza elemental, de Ampliación, Superior y Normal de Industria, y en 1857 fue declarada enseñanza superior. Contaba este centro con cuatro dependencias: la Escuela Industrial, la Escuela de Comercio y el Conservatorio de Artes.

43 Acerca de esta institución puede verse J. M. Cano Pavón, " El Real Instituto Industrial de Madrid (1850-1867): Medios humanos y Materiales", *Llull*, vol. 21, 1998, pp. 33-62.

44 Sobre esta institución véase Rumeu de Armas, A., *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro*, Madrid: Castalia y Fundación Juanelo Turriano, 1990. En el cap. VIII trata de la sustitución del Gabinete de Máquinas por el Conservatorio de Artes.

45 Datos obtenidos de Universidad Central, *Memoria Estadística del Curso de 1881 a 1882* y *Anuario de 1882 a 1883* y del artículo de J. M. Cano Pavón, *op. cit.*

46 Como indica Rumeu de Armas, *op. cit.*, p. 80.

Cuando se cerró este centro en 1867 debido a la escasez de alumnos, se llevó a cabo un detallado inventario del material[47]. En él figuran unos 600 objetos procedentes del gabinete de física, además de los que se conservaban en el Museo Industrial del Real Instituto. Pero si bien algunos de los profesores se dispersaron, pasando unos a la Universidad Central, permaneciendo otros en el Conservatorio de Artes, el Conservatorio siguió funcionando como Escuela de Artes y Oficios en el mismo local que ocupara antes el Instituto, sirviendo además algunas de las aulas, a partir del día 12 de marzo de 1868[48], como local para impartir las cátedras de Física, Ampliación de Química y Prácticas correspondientes a la Facultad de Ciencias. El Conservatorio de Artes, por tanto, sobrevivió, convirtiéndose en 1871 en una verdadera Escuela de Artes y Oficios. Cinco años después se aumentaron las secciones y se le dotó de nuevos materiales y edificios.

La Universidad Central se hizo cargo de los instrumentos del extinguido Instituto Industrial y en 1882 utilizaba los del Conservatorio de Artes[49]. Esto significa que, cuando al cierre del Real Instituto Industrial la Facultad de Ciencias hereda su material, no está heredando sólo material de esta institución, sino de otra mucho más antigua: el Real Gabinete de Máquinas.

Hasta el momento no hemos encontrado ningún inventario de los instrumentos que desde el Real Instituto Industrial fueron trasladados a la Universidad de Madrid, pero en la colección procedente de la Facultad de Ciencias Físicas, aunque no se halla presente ninguna de las maquetas que constituyeron el Museo Industrial de este Real Gabinete[50], sí hay un objeto que podría (no podemos asegurarlo con certeza) servir de muestra de este traslado y cuya presencia en la colección de la Facultad de Ciencias Físicas puede ser de otro modo difícil de explicar. Se trata de una piedra imán montada (nº inv. 95/31/205) firmada por Meurand[51] en París en 1775. Como decíamos, en la obra *Descripción de las Máquinas del Real Gabinete*[52] aparece publicado el Catálogo del Real Gabinete de Máquinas, en el que se describen los objetos que éste poseía; en él no aparece mencionada tal piedra imán, aunque sí aparece un nivel de agua firmado por el mismo autor[53]. Además, al final de este catálogo, aparece una nota en que se aclara que "Hai algunos modelos mas q.e se han hecho ultimamente, que exîsten aun en París"[54], entre los cuales podría estar incluido este instrumento.

No obstante, el Real Gabinete de Máquinas fue fundado en 1788, y el traslado de las máquinas y otros objetos desde París tuvo lugar en 1791. Estas fechas son posteriores a la de fabricación de esta Piedra Imán, 1775, aunque no sería difícil que se hubiera adquirido 10 o 15 años después.

3.2 La adquisición de instrumentos científicos en el extranjero

Otro medio empleado por la Universidad Central para proveerse de los instrumentos necesarios para impartir las asignaturas experimentales era su adquisición, que unas veces, las menos, tenía lugar en España y otras, las más, en el extranjero. Un aspecto determinante a la hora de llevar a cabo estas compras es la política científica del país en cada periodo histórico, y es por esta razón por lo que

47 A.G.A. legajo EC6092, mencionado por J. M. Cano Pavón (*op. cit.*, nota 52, p. 58).

48 A.G.A., legajo 5980.

49 En un documento firmado en 1882 (A.G.A., legajo 6902) se menciona que «La Facultad de Ciencias se hizo cargo del rico material científico que perteneció al Real Instituto Industrial» y además está utilizando los instrumentos del Conservatorio de Artes, aunque no se especifica en qué fecha sucedió lo primero.

50 El catálogo de esta colección de modelos aparece recogido en Fernández Pérez, J. y González Tascón, I., *Descripción de las Máquinas del Real Gabinete*, Madrid: Doce Calles, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 1991, pp. 165-224 (según la publicación de Juan López de Peñalver, Madrid: 1794) y también en Rumeu de Armas, *op. cit.*, pp. 85-164 (facsímil del catálogo conservado en la Biblioteca del Palacio Real).

51 Se pueden encontrar referencias a este fabricante de instrumentos en Daumas, M., *Scientific Instruments of the 17th and 18th Centuries and their Makers*, Londres: Portman Books, 1989, pp. 100, 282 y 337 (nota 337). Según este autor, no se trataba de uno de los fabricantes de mayor importancia de la época. Se conservan instrumentos suyos en Utrecht, Leiden, Mensing y en el Conservatoire National des Arts et Métiers de París.

52 Fernández Pérez, J. y González Tascón, I., *citado en nota nº 50.*

53 *Ibid.*, p. 224 (catálogo), nº 229.

54 Rumeu de Armas, *op. cit.*, p. 164.

en este apartado, además de analizar la adquisición de instrumentos en España y en el extranjero, hemos incluido un punto dedicado a analizar la evolución de la política de adquisición de instrumentos.

Ya hemos mencionado con anterioridad que el criterio de exposición elegido para este apartado vendría dado por los periodos temporales en los que se agrupan las diferentes piezas y que es el ofrecido por la datación realizada a las mismas en el proceso de su catalogación. Comprobaremos que dichos periodos están definidos por fechas que se corresponden con determinados hechos puntuales acontecidos en el ámbito de la Instrucción Pública a lo largo del siglo XIX y primeras décadas del XX, y que explican de forma adecuada la no arbitrariedad de dicha agrupación temporal.

Como entonces se señaló, son seis los intervalos temporales de estudio y que comprenden: piezas cuya antigüedad es anterior al año 1845; las que se sitúan entre 1845 y 1865 (este periodo lo subdividiremos en otros dos); 1865 y 1885, 1885 y 1910; 1910 y 1945, y finalmente, las posteriores a 1945.

La política de compras: de los primeros intentos a la creación del Patronato

Hasta 1845

El primero de los periodos definidos para el análisis tiene como año de referencia 1845, que ha pasado a la historia, en cuanto a materia de Instrucción Pública se refiere, como el año en el que se hace realidad el Plan Pidal, uno esos proyectos reformistas, en este caso moderado, que, como vimos, tenía como fin modernizar y alcanzar los niveles europeos en temas de educación, ideal que se vio reflejado en parte con la aprobación al año siguiente de una Real Orden con fecha del 28 de octubre, de la que hablaremos más adelante y en cuyo texto se hacía referencia a la adquisición de instrumentos científicos para la docencia en las Universidades del país. Esta disposición marcó un precedente histórico en lo que a la política de compras de material científico para la enseñanza y la investigación se refiere, aunque lamentablemente ni se cumplió como hubiese sido de esperar, ni tuvo su continuidad en el tiempo, pues para alcanzar una situación más o menos regularizada habría que esperar hasta el año 1911, año en el que fuera creado por Real Decreto del 7 de marzo el Instituto de Material Científico[55], o, para una situación completamente estable (o al menos independiente), hasta 1927, año en el que por Real Decreto se crearía el Patronato de la Ciudad Universitaria[56]. Si hemos de buscar una explicación a esta falta de recursos propios tan acuciante, sin duda la encontraremos en la historia de la Instrucción Pública del país y de forma particular en la propia historia de esta Universidad.

De las necesidades en materia de educación en la primera mitad del s. XIX, y en concreto de la falta de material científico para la enseñanza, se lamenta Javier de Quinto, editor del *Boletín Oficial de Instrucción Pública,* en un interesante bosquejo crítico sobre el problema del estado de la instrucción pública del país desde el advenimiento de Isabel II al trono, artículo que aparece en el primer núme-

55 El Instituto de Material Científico nace con el objeto de unificar las compras de material científico destinadas a los centros estatales docentes y de investigación, entre ellos las universidades. De este modo se ordenaban las órdenes de compra y se realizaban en una sola partida, facilitando el control del Estado sobre estas actividades. El Instituto recibía las solicitudes de material, las estudiaba y se encargaba de reparaciones y permutas del material. Para el estudio del Instituto Leonardo Torres Quevedo como continuador del de Material Científico, véase Ana Romero, "Dos políticas de instrumental científico: el Instituto del Material Científico y el Torres Quevedo", en *Arbor,* 160, nº 631-632 (julio-agosto 1998), pp. 359-386.

56 El cometido de este Patronato era conseguir que la Universidad de Madrid dispusiera de unas instalaciones propias, con una ubicación fija y adecuada, por fin segregada de institutos y demás centros o instituciones.

ro del mencionado boletín, con fecha de 28 de febrero de 1841. En él analiza sucintamente las disposiciones legislativas de la Instrucción Pública en España que, en el caso de la enseñanza de la filosofía, únicos estudios en los que era posible adquirir unos conocimiento básicos de física, se hallaba falto de un profesorado especializado en cada una de las ramas que ésta comprendía (lógica, matemáticas, física escolástica, metafísica y ética), así como de las "máquinas, instrumentos y aparatos para la demostración material y positiva de los fenómenos cuya explicación se proponía."[57].

Hasta ese momento el material científico con el que se nutrían las cátedras de física experimental no se hallaba regulado en forma alguna por el Estado, por lo que los gabinetes de física se abastecían, por decirlo de alguna manera, como podían (recordemos, en el caso de la Universidad de Madrid, Universidad Central a partir de 1850, que los ya mencionados traslados, cesiones o donaciones de otras instituciones eran medios habituales de adquirir el material científico necesario).

Las consecuencias de los hechos mencionados se reflejan en el hecho de que el número de piezas pertenecientes a este primer periodo es, como era de esperar, escasa: apenas quince instrumentos. Cabe además señalar que éstos son en su mayoría de procedencia francesa, país que, como veremos fue el principal suministrador de instrumentos científicos, y no sólo a España, durante casi todo el siglo XIX.

Del Plan Pidal a la ley Moyano (1845 - 1857)

Este periodo es uno de los de mayor relevancia para el desarrollo de la instrucción pública en la España del s. XIX y en particular para la enseñanza de las ciencias físicas: no en vano tiene lugar en 1857 la conocida reforma de Claudio Moyano por la que se crea definitivamente una Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Comienza con una esperanzadora Circular[58] que hace realidad, al menos sobre el papel, la urgente necesidad de abastecer con material científico los institutos de segunda enseñanza. Fechada el 15 de septiembre de 1846, y firmada por Gil de Zárate, hace público a los Presidentes de las Juntas inspectoras de los institutos de segunda enseñanza el deseo del gobierno de que estos sean abastecidos con los instrumentos precisos para la enseñanza de las ciencias físicas y naturales, en especial, por requerir estas disciplinas no sólo de explicaciones teóricas sino además de demostraciones prácticas. En la misma carta Gil de Zárate insta también a los profesores encargados de la enseñanza, a que utilicen tales instrumentos para la realización de sus propias investigaciones y trabajos científicos, y es importante resaltar este hecho pues, al margen de lo que entraña como deseo de mejora social, implicaría, como veremos, la adquisición de determinados aparatos de mayor calidad:

"Además, los profesores de dichas ciencias no deben limitarse a la mera enseñanza; no cumplirían sólo así con su importante encargo; es preciso que animados de un noble amor patrio o impulsados del ansia de saber y de ilustrarse se dediquen a útiles trabajos y aspiren a que su nombre suene

57 *Boletín Oficial de Instrucción Pública,* 18 febrero 1841, tomo I, nº 1, p. 25.

58 "previniendo que los institutos se provean de los instrumentos necesarios para la esplicación de las ciencias físicas y naturales", *Boletín Oficial de Instrucción Pública,* 15 octubre 1846, tomo IX, segunda serie, año 6º, nº 19, pp. 545-557.

entre los que procuran adelantos a ésta parte de los conocimientos humanos. Así recobrará España el puesto que antes tenía entre las naciones ilustradas, y así prosperará entre nosotros la industria que dichas ciencias vivifican y engrandecen."[59]

La circular adjunta, además, dos catálogos[60] modelo de los aparatos que deben contener un gabinete de física y un laboratorio de química con los precios de cada objeto y una nota de los útiles de química que pueden adquirirse en España.

En lo que a material científico para la enseñanza en la universidad se refiere, esta circular es igualmente transcendente pues poco tiempo después de su publicación se aprobaría por Real Orden[61] de 28 de octubre de 1846 hacer extensiva la disposición anterior a todas las universidades del reino, dictando las siguientes reglas al respecto:

"1.º Se procederá inmediatamente a la adquisición de los instrumentos y aparatos que son necesarios para completar los gabinetes de física y química de las facultades de filosofía, medicina y farmacia en las universidades del reino, con arreglo a los catálogos y presupuestos formados por la comisión nombrada al efecto, y cuyo valor importa 621 ó 28 rs.

2.º Los aparatos que conforme a los mismos catálogos pueden construirse en el reino, se adquirirán por medio de contratas que hará la expresada comisión a quien S.M. da este encargo; satisfecha como está del celo y acierto con que ha desempeñado hasta ahora su cometido.

3.º Los instrumentos y demás objetos que solo puedan adquirirse en país extranjero, lo serán igualmente por medio de contratas hechas con uno o más de los principales constructores, según parezca más conveniente, procurándose sacar todas las ventajas posibles, ya en los precios presupuestados por la comisión, ya en la bondad de los aparatos, que como destinados no solamente a las explicaciones en la cátedra, sino también a los experimentos y trabajos que han de hacer los profesores para los adelantos de las ciencias, deben ser de primera calidad y tomados a prueba.

4.º Siendo preciso para verificar estas contratas con la mayor ventaja posible que se traslade a París un comisionado de toda confianza, S.M. da este encargo al director general de instrucción pública don Antonio Gil de Zárate, el cual deberá al propio tiempo visitar los establecimientos de enseñanza de aquella capital, pudiendo, si lo estima conveniente, hacer lo mismo con los de Bélgica y Holanda, para aplicar a los del reino las mejoras que observe y de que éstos sean susceptibles.

5.º El mismo director, para desempeñar con todo conocimiento su encargo, podrá llevar en su compañía a uno de los profesores de la universidad de Madrid como comisionado facultativo.

59 *Ibid.*, p. 546.

60 En el Apéndice I, puede verse la transcripción del catálogo modelo referido en la circular para los aparatos que debe contener un laboratorio de física.

61 "Real órden mandando se adquieran instrumentos y aparatos de física y química para proveer á las universidades." Esta R. O. fue firmada por Pidal y estaba dirigida al Presidente de la Junta Centralizadora de los fondos de instrucción pública. Véase, *Boletín Oficial de Instrucción Pública*, 15 noviembre 1846, tomo IX, segunda serie, año 6º, nº 21, pp. 605-607.

6.º Los gastos de viaje y demás que ocasione esta comisión le serán abonados al director de los fondos de instrucción pública con cargo al artículo de extraordinarios.

7.º Para pago de los instrumentos se destinan de 20 a 30,000 rs. mensuales hasta el completo pago de las adquisiciones que se hagan; a cuyo efecto se incluirá para lo sucesivo la cantidad correspondiente en el presupuesto general que haya de presentarse a las cortes, cargándose las que entre entretanto se inviertan en este objeto al artículo de extraordinarios.

8.º Las contratas y demás estipulaciones que se hagan, así por el director como por la comisión de aparatos, deberán someterse a la aprobación de S.M."[62]

Nos ha parecido interesante la transcripción completa de la R. O. pues por primera vez una disposición oficial del gobierno hace real la necesidad de adquirir material científico preciso para enseñanza y investigación, marcando de alguna forma un punto de referencia en la normalización de semejantes intenciones en la Instrucción Pública del país.

Como dictaminara la R. O. anterior, el comisionado encargado de la contratación de instrumentos, aparatos y demás útiles propios de los gabinetes de física y química de las universidades fue D. Antonio Gil de Zárate, quién viajó a París en compañía del catedrático de física de la Universidad de Madrid D. Juan Chávarri. El informe detallado del viaje y los resultados del mismo son descritos en una comunicación[63] firmada por Gil de Zárate el 14 de febrero de 1847 y dirigida al Excmo. Sr. Ministro de Comercio, Instrucción y Obras Públicas.

Merece la pena resumir el contenido del informe pues nos ofrece una buena cantidad de datos relativos a la forma y manera de contratación así como los criterios de selección de los fabricantes. En este sentido, comienza el documento refiriéndose al buen estado de los fondos de la Instrucción Pública en ese momento, situación que permitía librar la suma total del presupuesto de compra -Gil de Zárate dispuso de un crédito de 160.000 francos en la casa del Sr. Aguirrebengoa, banquero del gobierno español en París- en lugar de cubrir el importe con cantidades mensuales como se disponía en la Real Orden del 28 de octubre. Este hecho facilitaba la compra pues, al darse la posibilidad de realizar los pagos al contado en lugar de hacerlo a plazos, se podían obtener mejores condiciones en el precio, además de posibilitar la contratación de varios fabricantes a la vez. No obstante, y si bien en casos concretos se recurrió a firmas determinadas, la gran cantidad de aparatos requeridos hizo que en general se optara por tratar con un reducido número de constructores.

Los comisionados contaron con la colaboración de D. Mateo Orfila, decano de la Facultad de Medicina en París, quien les informó a su llegada a París de aquellos fabricantes que ofrecían mayor seguridad y confianza en la construcción de aparatos científicos. Se eligió a *Pixii* y *Deleuil*, para los instrumentos de física, *Lizé*

62 *Ibid.*, pp. 606-607.

63 "Real órden por la cual se manifiesta al señor director general de instrucción pública que S.M., ha visto con agrado el buen éxito de la comision que llevó al estrangero para adquirir máquinas y útiles necesarios en las universidades", *Boletín Oficial de Instrucción Pública*, 15 marzo 1847, tomo X, segunda serie, año 7º, nº 5, pp. 130-136.

y *Clech* para la cristalería y porcelana, y por último, a los hermanos *Rousseau* para productos químicos.

Con las casas elegidas se establecieron dos condiciones de compra, en función de la magnitud del pedido realizado y el premio por comisión, que fueron: una rebaja parcial en el valor de cada instrumento y una deducción de un porcentaje en la suma total de los mismos, porcentaje que aparece detallado en el informe. De este modo, la mayor parte de los aparatos fueron rebajados respecto al precio presupuestado por catálogo, sin que esto repercutiese en una pérdida de calidad, y sólo unos pocos, aquellos que en principio se adquirían con la intención de un uso menos docente y más científico, sufrieron menor descuento con el objeto de conseguirlos de mayor precisión.

El valor de los instrumentos presupuestados inicialmente ascendía a 144.345 fr. y 12 céntimos y había sido reducido a 116.597 fr. y 10 céntimos, por lo que el ahorro final alcanzó prácticamente la quinta parte de lo presupuestado. Con el sobrante del crédito abierto en París, 45.000 fr., se adquirieron útiles para la enseñanza no incluidos en las listas y presupuestos iniciales pero que habían sido indicados por los profesores como indispensables: instrumental de química necesario en Farmacia, instrumentos de matemáticas para la Universidad de Madrid, una pequeña partida de minerales solicitada por el profesor D. Donato García imprescindibles para completar las colecciones de mineralogía que formaba con los sobrantes del gabinete de Madrid y, finalmente, una colección Tibert para el estudio de la medicina, formada por más de 200 modelos de cartón-piedra que representan enfermedades cutáneas y sifilíticas, básica para los gabinetes de patología.

Gil de Zárate concluye su informe haciendo notar que con un total de 600.000 reales, suma a la que ascienden las compras y el transporte de los objetos, realizado éste último por la casa española Veyter Alcain, se habrán dotado al completo los gabinetes de física y laboratorios de química de las universidades.

Como hemos visto en el informe, la Real Orden del 28 de octubre se puso en práctica con excelentes resultados. A tenor del presupuesto de que se disponía, 160.000 francos franceses, y el coste de los aparatos que figuran en el catálogo modelo de la Circular del 15 de septiembre, según el cual era posible adquirir un total de 153 aparatos por tan sólo 9.531 francos, en el caso del gabinete de física experimental se debió comprar una gran cantidad de instrumentos para proveer los institutos de segunda enseñanza y las distintas universidades del país (recordemos que por aquel entonces, vigente el Plan Pidal, eran diez).

No sabemos con seguridad ni cuándo ni qué instrumentos fueron a parar a la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, aunque suponemos que algunos de ellos podrían ser los que recibió la Universidad en los años de 1856 y 1857, según describe en los Anuarios de los Cursos 1856-57 y 1857-58 el Ayudante a cargo del gabinete de Física de la Universidad Central, Mariano de Rementería. Las razones son, por un lado, que, en el caso de los recibidos en 1857, el fabricante, Deleuil, coincide con el seleccionado por la comisión.

Por otra parte, no encontramos referencias anteriores porque el primer Anuario, en el que por cierto no se hace alusión a ninguna compra, se publicó en 1855, año en que se impartió el primer curso en el nuevo edificio de Noviciado. Antes

de esa fecha recordamos que las clases se impartían en varios edificios, entre ellos San Isidro, con la consecuente confusión en cuanto a la pertenencia de los instrumentos, aspecto que ya hemos visto en el apartado anterior.

Mariano de Rementería menciona, refiriéndose al gabinete de física de la Universidad, sección de Ciencias, que, en el curso 1856-57[64]

"Este gabinete ha recibido en el intermedio del curso una reforma importante. Trasladado á una localidad más espaciosa, ventilada y abundante de luz que la que ocupaba, se ha recompuesto y pintado de nuevo la estantería que contiene los objetos y las máquinas necesarias para la enseñanza elemental de Física, y en ella se encuentran colocados, según los tratados de la ciencia, con la debida separación.

Además de haberse compuesto varios instrumentos se han adquirido algunos nuevos, entre ellos dos telégrafos eléctricos del sistema Breguet, con sus pilas de corriente constante.

Son notables por su construcción, entre los demás aparatos, una hermosa máquina eléctrica de grandes dimensiones; otra hydro-eléctrica; una máquina de Atwood para el descenso de los graves; la cámara oscura de Chevalier; una pila de Becquerell; el aparato de Melloni para el estudio del calor, y el de Biot para la polarización rotatoria".

En el curso siguiente[65], se menciona:

"Este gabinete, á cargo del Ayudante Mariano de Rementería, se ha enriquecido con los aparatos espresados a continuación:

Gran máquina de fuerzas centrales, según S'Gravesand, con todos los accesorios correspondientes, construida en Madrid por D. Celedonio Rostriaga en 1797.

Gran aparato del choque, según el mismo autor, y construido por el mismo artista.

Diversos aparatos para la demostracion de la composicion de fuerzas concurrentes ó paralelas, construidos por el mismo artista, y según el citado S'Gravesand.

Diferentes aparatos construidos recientemente en París por Mr. Deleuil, á saber:

Una balanza de precision con todos sus accesorios.
Aparato de Mr. Morin para el descenso de los graves.
Péndulo de Kater.
Aparato de ruedas dentadas de Mr. Savart para la acústica.
Pirómetro de Borda.
Aparato para la determinación de la dilatación real de los líquidos, segun Dulong y Petit.
Higrómetro, según Regnault.

64 *Anuario de la Universidad Central Curso 1856-57*, Madrid: Imprenta Nacional, noviembre 1856, p. 189.

65 Este listado aparece publicado en el *Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1857 a 1858*, Madrid: imprenta de J. M. Ducazcal, diciembre de 1857, pp. 158-159.

Modelo completo de una máquina locomotora.
Helióstato de Silberman.
Microscopio de gas con todos sus accesorios.
Aparato para verificar lo perteneciente á las interferencias del fluido luminoso.
Pila eléctrica de Faraday.
Otra id. de Munch.
Aparato de inducción, según Matteucci.
Aparato para producir y regularizar la luz eléctrica.
Gran aparato de Ampere con todo lo correspondiente para el estudio de la accion de las corrientes eléctricas entre sí y con los imanes.
Modelo de un telégrafo eléctrico; sistema de Morse.
Aparato de Rhumkorff.
Aparato electro-motor de Froment.
Gran aparato de Faraday para el dia-magnetismo.
Aparato electro-magnético de Duchenne."

En este listado no se especifica si la recepción de los instrumentos es el resultado de un traslado desde otro centro o de compras realizadas, pero sabemos, gracias a las descripciones de Mariano Santisteban, mencionadas en el apartado dedicado a traslados, que al menos los incluidos en las tres primeras descripciones son algunos de los que el Instituto de San Isidro se vio obligado a "prestar" a la Universidad de Madrid en 1857. El resto de los instrumentos suponemos que fueron el fruto de adquisiciones destinadas a la mencionada Facultad.

Para hacernos una idea de la magnitud de la colección de instrumentos de física en posesión de la Facultad en esa época podemos servirnos de un inventario de 1856[66], realizado probablemente una vez trasladado el gabinete al nuevo edificio de Noviciado y destinado no sólo a mostrar los instrumentos existentes, sino también los que el gabinete necesitaba. En él se hace referencia a 244 instrumentos existentes y a 118 que faltan y deberían ser adquiridos para completar el gabinete. Algunos de estos últimos, por cierto, vemos que se adquirieron en los años siguientes, pues figuran, aunque en escaso número, entre los que acabamos de mencionar.

Por tanto, en opinión de los profesores encargados de las asignaturas experimentales, un total de 362 instrumentos podría ser un número apropiado de aparatos para impartir la enseñanza de la clase de Ampliación de Física en la Facultad de Filosofía, que se hallaba dividida en las secciones de Mecánica de sólidos, Mecánica de fluidos, Acciones moleculares y Acústica, Calórico, Fluido luminoso, Fluido magnético, y Electricidad y Electromagnetismo.

Sin embargo, conociendo el número de instrumentos presentes en el mencionado gabinete, que recordamos era compartido por la Universidad Central y el Instituto del Noviciado[67], y considerando además el nada despreciable número de alumnos matriculados en el curso de 1855/56[68] en la Facultad de Filosofía y en el Instituto de Noviciado, 607 y 1234, respectivamente, podemos concluir que éste no era suficiente para satisfacer las necesidades experimentales de los estudiantes,

66 Este inventario, firmado por Mariano de Rementería con el visto bueno del catedrático de física Manuel Rico y Sínobas, ha sido transcrito íntegramente en el Apéndice II. En él se indican, además, los números de inventario adjudicados en el M.N.C.T. a aquellos aparatos de la colección actual de la Facultad de Ciencias Físicas que por su antigüedad pueden corresponderse a los que aparecen en el inventario de 1856.

67 También este hecho se menciona en el propio encabezamiento del mencionado catálogo, transcrito en el Apéndice II: *Gabinete de física experimental de la Universidad Central destinado a la enseñanza de las clases de física de Ampliación de la facultad de Filosofía y de física y nociones de Química propia del Instituto del Noviciado.*

68 Una completa evolución de los alumnos matriculados en los cursos 1845-1857 en las diferentes Facultades de la Universidad Central así como en los Institutos del San Isidro y Noviciado, puede verse en el catálogo de la exposición: *La universidad en Madrid. Presencias y aportes en los siglos XIX y XX,* Madrid: 1992, pp. 74-77.

tal y como se reflejaba en las continuas quejas de los profesores, hecho que se agrava si tenemos en cuenta que se trataba de la Universidad Central, el único centro donde podían cursarse estudios de tercer grado.

De la ley Moyano a 1865

La situación debía ser realmente difícil, y la necesidad de material imperiosa, pues dos años después el Reglamento de las Universidades aprobado el 22 de mayo de 1859 disponía, en sus artículos 112 y 113 (capítulo IV, sobre los medios de la instrucción), la necesidad de que cada universidad fuera dotada del material científico necesario para la correcta enseñanza en las diferentes facultades, y que la forma en la que éste debía ser adquirido fuera dictaminado por los reglamentos específicos de cada Facultad:

> "Art. 112. Habrá también en cada Universidad los gabinetes, laboratorios, colecciones, aparatos y cuanto sea necesario para la enseñanza de las Facultades que en ella se expliquen."
>
> Art. 113. En los Reglamentos especiales de las facultades de Ciencias, Medicina y Farmacia, se dictarán reglas convenientes para la adquisición, conservación y aumento de los medios materiales de enseñanza de las mismas."[69]

En mayor o menor medida este Reglamento fue llevado a la práctica en lo que a la Universidad Central se refiere, pues un año después, en 1860, se observan dos hechos que reflejan el interés por mejorar la situación de la enseñanza práctica, porque ambos suponen la mejora de los gabinetes. Por un lado, durante el año de 1860[70]:

> *"Los Gabinetes de la Facultad de Ciencias correspondientes á las asignaturas de Física, Química, Historia natural y Geodesia se han enriquecido con las colecciones adquiridas por compra y con algunos objetos que han regalado D. Fernando de Madrazo, D. Laureano Pérez Arcas, D. Pedro Gonzalez de Velasco, D. Francisco de Paula Martinez y D. Francisco Caballero y Barba".*

y por otro:

> *"por Real órden de 21 de Diciembre de 1860 se ha destinado además la suma de 49,023 rs. 60 céntimos para la adquisición de los aparatos de Física mas indispensables en la enseñanza de esta asignatura".*

No obstante, la Universidad tardaría 3 años en recibir esta segunda partida de material, tal y como se ve reflejado en las *Memorias* de los cursos siguientes a la aceptación del presupuesto y seguiría abasteciéndose a partir de los fondos destinados a material ordinario. La Real Orden se confirmaría el 21 de julio de 1862[71] y se vería cumplida un año después.

69 *Boletín Oficial del Ministerio de Fomento*, 23 junio 1859, tomo XXX, año VIII, nº 391, p. 503.

70 *Memoria del estado de la enseñanza en la Universidad Central, curso de 1859-60 y Anuario de la Universidad Central, curso 1860-61*, Madrid, 1860, p. 14.

71 "R.O. disponiendo la adquisición de instrumentos y colecciones científicas para el Gabinete de Física de la Universidad Central y dictando reglas al efecto". La Real Orden está firmada por Vega de Amijo y dirigida al Sr. Rector de la universidad Central. Véase, *Colección de Reales Órdenes y Órdenes Ministeriales relativos a Instrucción Pública*, Tomo I, 1839-1884, pp. 186-187 (A.G.A.)

En efecto, en el curso 1861-62[72] aún no se habían recibido los instrumentos, aunque "en los Gabinetes y Laboratorios se han hecho, con los fondos del material ordinario, algunas reformas y se han adquirido varios objetos y aparatos".

En el curso siguiente, 1862-63[73]:

"En los Gabinetes y Laboratorios se han hecho, con los fondos del material ordinario, algunas reformas y se han adquirido varios objetos y aparatos, elaborándose en la clase de Química cierto número de productos.

El Gabinete de Física se halla próximo á recibir la colección de aparatos construidos en el extranjero, en virtud de la Real órden de 21 de Diciembre de 1860, que concedió la cantidad de 49,023 rs. con 60 cénts. á que ascendió el presupuesto del coste de los efectos que dicho Gabinete necesita con mayor urgencia para las esplicaciones de la asignatura.

Aprovechando una ocasión favorable se ha aumentado este Gabinete con 36 aparatos, entre los que se cuentan una máquina neumática de Pixii platina de 19 pulgadas y cuerpos de bomba de cristal, una máquina eléctrica pequeña disco de 15 pulgadas, un modelo de para-rayos, un higrómetro de Saussure, una pila de Volta de 30 pares, dos imanes naturales montados, un buen barómetro de Gay-Lussac con su estuche y tubo de repuesto; dos banquillos aisladores, campanas de cristal para la neumática, sistemas de poleas y otros varios aparatos accesorios para el estudio de la luz y de la electricidad adquiridos con la consignacion ordinaria de gastos del material".

Finalmente, un año después, durante el curso 1863-64[74],

"El gabinete de Física ha recibido 84 aparatos construidos por Deleuil adquiridos con el crédito estraordinario de 49,023 rs. vn., destinado á este objeto por el Gobierno de S. M.

Además ha adquirido con la consignacion ordinaria del material los tres aparatos siguientes:

Montura para el disco de Newton

Psycrhómetro de August.

Disco de 44 c/m para máquina eléctrica.

Para el naciente Gabinete Geodésico se han adquirido de ocasión, pero en buen estado de servicio, y con la consignacion ordinaria

Un modelo de anteojo meridiano de Troughton.

Un Grafómetro-cuadrante de Canivet.

Un Teodolito de Simons"

Con estas adquisiciones es de suponer que el Gabinete de la Universidad Central llegó a contar por aquel entonces con los medios requeridos por sus profesores. No obstante, las quejas de éstos siempre se producían, sumándose al problema de la escasez de material el hecho de que éste debía ser compartido con un Instituto de Segunda enseñanza, hecho que, como hemos visto, se produjo a lo largo de todo el siglo XIX y las primeras décadas del XX.

72 Véase *Memoria del estado de la enseñanza en la Universidad Central, curso de 1860-61 y Anuario de la Universidad Central, curso 1861-62*, Madrid, 1861, p. 11.

73 Véase *Memoria del estado de la enseñanza en la Universidad Central, curso de 1861-62 y Anuario de la Universidad Central, curso 1862-63*, Madrid, 1862, pp. 11-12.

74 Véase *Memoria del estado de la enseñanza en la Universidad Central, curso de 1862-63 y Anuario de la Universidad Central, curso 1863-64*, Madrid, 1863, p. 12.

Al igual que ocurriera en 1846, los instrumentos que debían ser comprados según la mencionada R.O. del 21 de julio de 1862 fueron adquiridos en París, siendo realizados los pedidos por una comisión nombrada a tal efecto y formada por los catedráticos D. Venancio González Valledor y D. Juan Chávarri; este último, recordemos, había sido uno de los comisionados en el viaje organizado por Gil de Zárate en 1846, y conocía por tanto a la perfección a los fabricantes que mejor podrían ajustarse a las necesidades del Gabinete de Física al que iban a ser destinados los instrumentos.

1865-1885

En los aproximadamente veinte años siguientes a estas adquisiciones lo único que se observa son las quejas continuas de los profesores. En torno a 1880, la situación de todas las Facultades en general dejaba mucho que desear[75] y la de Ciencias no era una excepción. La pobreza y escasez del material hacía imposible que se impartiesen las asignaturas prácticas, obligatorias desde el Real Decreto de 13 de agosto de 1880[76], hecho que se denunciaba de forma continua desde el Rectorado sin que se diese ninguna solución. Esta situación alcanzó su momento crítico cuando en 1885 Gonzalo Quintero, entonces catedrático de la asignatura de Ampliación de Física, se negó a dar ninguna clase, ni teórica ni práctica, hasta no disponer del material adecuado. No sólo solicitaba material científico, pedía además un edificio, ayudantes y una organización de los contenidos que contemplase su aplicación práctica. Su insistencia, afortunadamente, obtuvo interesantes frutos: consiguió que el Ministerio afrontase el fuerte presupuesto necesario para adquirir, nuevamente en el extranjero (la fabricación española no le ofrecía garantías), el material adecuado[77]. De este modo, en 1885 se recibió una nueva remesa de material[78].

Por tanto, las buenas intenciones señaladas en cuanto a la dotación de material científico para la enseñanza de la física en la Universidad Central fueron difícilmente llevadas a la práctica, pues, a excepción de la compra realizada en 1885, habremos de esperar hasta la segunda década del siglo XX, para encontrar nuevas partidas presupuestarias. Ante esta triste situación no es difícil imaginarse las dificultades que los profesionales de la docencia encontraron para ejercer su labor, situación que se reflejaba una y otra vez en la continua solicitud de material.

1885-1910

A principios de siglo tiene lugar un hecho de gran importancia para la Instrucción Pública del país. Se trata de la creación en 1900 de un Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes[79] independiente de otras carteras (no olvidemos que la administración relativa a la educación en España había formado parte de Ministerios tan variados como el de Fomento, Gracia y Justicia, Gobernación o Comercio y Agricultura), lo que habría de dar nuevos aires a la organización de la enseñanza en el país.

La centralización de todos los aspectos de la Instrucción en una sola cartera independiente influyó en la existencia de mayores partidas presupuestarias desti-

75 Buen ejemplo de la triste situación de la enseñanza en España en esa época son las referencias que encontramos en la obra de Macías Picavea, R., *Apuntes y estudio sobre la Instrucción Pública en España y sus reformas*, Valladolid: Imprenta y Librería Gaviria, 1882, citada en A. del Valle, *op. cit.*, p. 690.

76 *Ibid.*, T. I, p. 688.

77 Archivo U.C.M., Legajo D 309. Material de la Facultad de Ciencias. Documentos de 5 de julio y 21 de noviembre de 1885. Citado en A. del Valle López, *op. cit.*, tomo I, p. 679.

78 Citado en *Ibid.*, T. I, pp. 679 y 688.

79 Por Real Decreto del 18 de abril de 1900, el Ministerio de Fomento, cartera en la que por aquel entonces estaba incluida la Instrucción Pública, queda dividido en dos ministerios distintos: el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes con Antonio García Alix (1852-1911) al frente y el Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas.

Año	Real Orden	Dotación económica
1906	Real Orden de 8 de junio[80] "Aprobando la distribución entre las Universidades del Reino del crédito de 200.000 pesetas"	La Facultad de Ciencias Físicas recibe 8.500 pesetas sobre un total de 89.300 pesetas destinadas a Madrid. "
1907	Real Orden de 24 de enero[81] "Aprobando distribución de crédito para la adquisición de material de experimentación en Universidades"	Se destinan 200.000 pesetas para material científico de experimentación con destino a las cátedras de Facultad que así lo requieran.
1908	Real Orden de 11 de junio[82] "Distribuyendo el crédito de 200.000 pesetas consignado en el presupuesto vigente para material científico de experimentación en las Cátedras de facultades que por su naturaleza lo requiera"	La Facultad de Ciencias Físicas recibe 8.500 pesetas sobre un total de 83.000 pesetas para Madrid.
1909	Real Orden de 12 de mayo[83] "Reparto del crédito consignado en el presupuesto para material científico de las Universidades"	Se distribuye un crédito de 200.000 pesetas. La Facultad de Ciencias Físicas recibe 9.000 pesetas sobre un total de 83.000 pesetas para Madrid.

nadas a la compra de material de experimentación, cuyos contenidos resumimos en la presente tabla, y en la normalización de la política de compras en 1911, con la creación del Instituto de Material Científico.

1911 - 1945, del Instituto de Material Científico a la Facultad de Ciencias

Como mencionábamos anteriormente, esta situación de carestía de material se mantuvo hasta la década de 1910.

En 1911 encontramos nuevas referencias a adquisiciones de material, fecha en que, como hemos mencionado, tiene lugar la fundación del Instituto de Material Científico. A partir de este momento y "conforme a las Instrucciones de la Real orden del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, fecha de 13 de Octubre de 1910"[84], tienen lugar adquisiciones de forma regular durante los tres cursos siguientes, adquisiciones que aparecen reflejadas en las Memorias de los cursos 1910-11, 1911-12 y 1912-13 y que reproducimos a continuación:

80 *Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1906*, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1907, pp. 158-160.

81 *Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1907*, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1908, p. 130.

82 *Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1908*, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1909, pp. 237-239.

83 *Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1909*, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1910, pp. 64-65.

84 Esta Real Orden, que aparece mencionada en las *Memorias del curso* en que se hace referencia a las adquisiciones de material, aparece publicada en la *Colección Legislativa de Instrucción Pública. Año de 1910*, (Madrid: Imprenta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, 1910, pp. 406-407). En ella se dictan las normas que han de seguirse para el inventariado y catalogación del material científico existente en los centros docentes.

CURSO 1910-1911. "FACULTAD DE CIENCIAS"[85]

CLASE Y NOMBRE DEL OBJETO	PRECIOS Y GASTOS en su adquisición	
	Pesetas.	Cts.
Sección de Físicas.		
Física General.		
A la Viuda de Aramburo: 1. Un aparato para fenómenos de congelación; precio, 33 ptas.- 2. Un aparato para máximo de densidad del agua; precio, 18 ptas.- Un aparato para la circulación del agua; precio 13,50 ptas.- Un aparato para la temperatura crítica; precio, 12,75 ptas.- Un aparato de rotación; precio, 81 pesetas.- Un aparato para la teoría de las máquinas magneto y dinamo-eléctricas; precio, 135 ptas.- Un modelo de caja de distribución; precio, 90 ptas.- Seis microscopios Leitz, montura G.H. combinación; precio, 1.215 ptas.- Un prisma de cuarzo-sal-gema, para espectógrafo; precio 300 ptas.- Un objetivo de cuarzo-sal-gema para colimador de espectógrafo; precio 110 ptas.- Un objetivo de cuarzo-sal-gema para cámara espectrográfica; precio 361,75 ptas.	2.370	"
Electricidad y Magnetismo.		
A la Viuda de Aramburo, por los aparatos siguientes: Un aparato de P. Curie & Chenesveau para medir el coeficiente de imantación; precio, 570 ptas.- Dos cajas de resistencias de Otto Wolff; precio, 780 ptas.- Dos voltímetros de precisión: precio, 480 ptas.- Dos amperímetros de precisión; precio, 500 ptas.	2.330	"
Cátedra de Termología		
A la Viuda de Aramburo, por los aparatos y el material de vidrio siguientes: Un termómetro de mínima de Casella; precio 48 ptas.- Un termómetro normal de Casella; precio, 65 ptas.- Un psicrómetro centígrado de Casella; precio, 70 pesetas.- Un esferómetro gran modelo á la milésima de mm. de la Société Génovoise; precio, 190 ptas.- Un aparato para determinar el equivalente mecánico del calor, según Callendar, de "The Cambridge Scientific instrument"; precio, 480 ptas.- Un aparato completo para liquidar gases en pequeñas cantidades, modelo de la casa Gallemkamps y accesorios para el mismo; precio, 520 ptas.—Un soporte completo para transmisión de movimientos y para agitadores; precio, 206 ptas.- Cuatro termómetros á 0,1 de grado; precio, 92 ptas.- Material de vidrio variado; precio, 129 ptas.	1.800	"
Acústica y Óptica.		
A la Viuda de Aramburo, por los instrumentos y aparatos siguientes: Accesorios de polarización a. b. c. e.; precio, 691 ptas.- Prisma de Rutherford; precio, 70 pesetas.- Prisma de Hallwachs; precio 145 ptas.- Compensador de Soleil; precio, 166,40 ptas.- Cuarzo de dos rotaciones, con montura; precio, 33 ptas.- Prisma de Nicol; precio, 54,60 ptas.- Tubo de observación; precio, 11 ptas.- Dos prismas birrefringentes; precio, 136 ptas.- Dos cristales cruzados, con montura; precio, 15 ptas.- Lámpara de Guypse; precio, 13 ptas.- Dos láminas de Guypse, precio, 13 ptas.- Dos láminas de Guypse de 1/4 de ondas; precio, 10 ptas.- Sistema de prisma á visión directa; precio, 97 ptas.- Tabla para los prismas; precio, 22 ptas.- Mechero de Brunsem; precio, 91 ptas.- Cuba de absorción; precio, 6,75 ptas.- Cámara de espectros, Pellin; precio, 505,25 ptas	2.000	"
Suma total de esta Sección	8.500	"

[85] Estracto obtenido de *la Memoria Anuario Estadístico de la Universidad Central*, año 1910-1911, Madrid, 1911, pp. 75-76.

CURSO 1911-1912. "FACULTAD DE CIENCIAS"[86]

CLASE Y NOMBRE DEL OBJETO	PRECIOS Y GASTOS en su adquisición	
	Pesetas.	Cts.
Sección de Físicas.		
Cátedra de Acústica y Óptica.		
1 Sirena doble de Helmholtz, con motor eléctrico y regulador	1.012	50
1 Espectrofotómetro Summer y Brudhon	648	"
3 Diapasones para el aparato Linajours	251	10
Suma y sigue	1.911	60
Suma anterior	1.911	60
1 Echelon Michelson, pequeño modelo, poder resolvente 4.500	324	"
1 Lente de Saundhans para demostrar la refracción del sonido	64	40
Cátedra de Electricidad y Magnetismo.		
1 Condensador	250	"
1 Aparato Nemts, para determinación de constantes dieléctricas	680	"
1 Potenciómetro simplificador	800	"
1 Patrón de flujo inductor	180	"
1 Autoinducción variable	720	"
1 Serie de bobinas de autoinducción	770	"
Cátedra de Física general.		
1 Manómetro de vacío de Gaede	188	"
Conos normales y llaves para vacío	68	"
6 Oculares especiales para dibujo	289	"
6 Micrómetros objetivos	55	"
1 Trompa de mercurio Sprengel	229	"
1 Lámpara de arco de mecurio, con tubo de cuarzo	349	"
1 Tubo de vacío con helio	55	"
1 Idem de íd. con hidrógeno	55	"
1 Idem de íd con llave	55	"
1 Telégrafo Morse completo	610	"
1 Hendidura simétrica con espectrógrafo	522	"
Cátedra de Termología.		
1 Higrómetro registrador Richard	300	"
Accesorios para los aparatos de orioscopia	150	"
1 Un termómetro metastático	50	"
1 Aparato para determinar el calor específico por el método de las mezclas	550	"
1 Aparato para comparar calores específicos y cuerpos para el mismo	150	"
1 Termómetro de precisión	145	"
1 Aparato para densidad de vapores por el método Hoffmann	90	"
1 Aparato para destilar mercurio	260	"
1 Anteojo visor de precisión	350	"
3 Termómetros Baudin, rectificados	80	"
Material de vidrio variado	75	"
Suma total de esta sección	10.375	"

86 *Ibid.*, año 1911-1912, Madrid 1912, pp. 75-76.

CURSO 1912-1913. "FACULTAD DE CIENCIAS"[87]

CLASE Y NOMBRE DEL OBJETO		PRECIOS Y GASTOS en su adquisición Pesetas.	Cts.
Sección de Físicas.			
A Casa Aramburo, por un transformador de corriente continua en corriente alterna		1.500	"
Cátedra de Termología.			
A Casa Aramburo:			
Una balanza de Collot para pesadas rápidas, con cuchillas de ágata	875		
Un calorímetro de Berthelot para calor de vaporización	165		
Un calorímetro de Dulong et Petit para método del enfriamiento	95		
Un calorímetro para líquidos por el método de las mezclas	540		
Accesorios para un termómetro	120		
Una regla de latón dividida en milímetros	80		
Varios termómetros	118		
Material de vidrio	107	2.100	"
Suma y sigue		3.600	"
Suma anterior		3.600	"
Cátedra de Electricidad y Magnetismo.			
A la Casa Aramburo:			
Vasos electrolíticos	300		
Termostatos	150		
Resistencias eléctricas	564		
Aparatos de medidas magnéticas	500	1.514	"
Cátedra de Acústica y Óptica.			
A Casa Aramburo:			
Resalto Rowland cóncavo 0,75X1,12 pulgadas rayadas radio tres pies	429		
Cuarzo destrógiro, tallado perpendicularmente al eje	7,80		
Cuarzo levógiro	7,80		
Idem tallado paralelo al eje	5,85		
Idem de 45º	5,85		
Esferómetro Hilger para lentes de una pulgada de radio	188		
Gonómetro Browuing	263		
Interferómetro de Michelson	822,70	1.730	"
Cátedra de Física General.			
Una dinámo para corriente continua, alterna y trifásica	285		
Motores difásicos y trifásicos sobre pie	300		
Tres galvanómetros	335		
Tres cajas de resistencias	675		
Un micrómetro para medir placas espectrales	1.215	2.810	"
Suma total de esta sección		9.654	"

87 *Ibid.*, año 1912-1913, Madrid 1913, pp. 47-48.

Posteriormente, parece ser que la situación no era tan mala. A partir del curso 1920-21 se aprecia en las *Memorias del Curso* que en la Facultad de Ciencias se destinan cantidades a la adquisición de material científico de forma regular:

En el curso 1920-21, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 28.465 ptas.
En el curso 1921-22, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 28.465 ptas.
En el curso 1922-23, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 25.300 ptas., además de 41.765 de presupuesto extraordinario.
En el curso 1926-27, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 18.975 ptas.
En el curso 1928-29, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 20.201, 67 ptas.
En el curso 1929-30, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 338 ptas., además de 59.746, 51 ptas. para la instalación de laboratorios.
En el curso 1930-31, se destinan, dentro del presupuesto ordinario, 21.500 ptas.

Las compras en el extranjero. Francia: nuestro mayor proveedor. Fabricantes

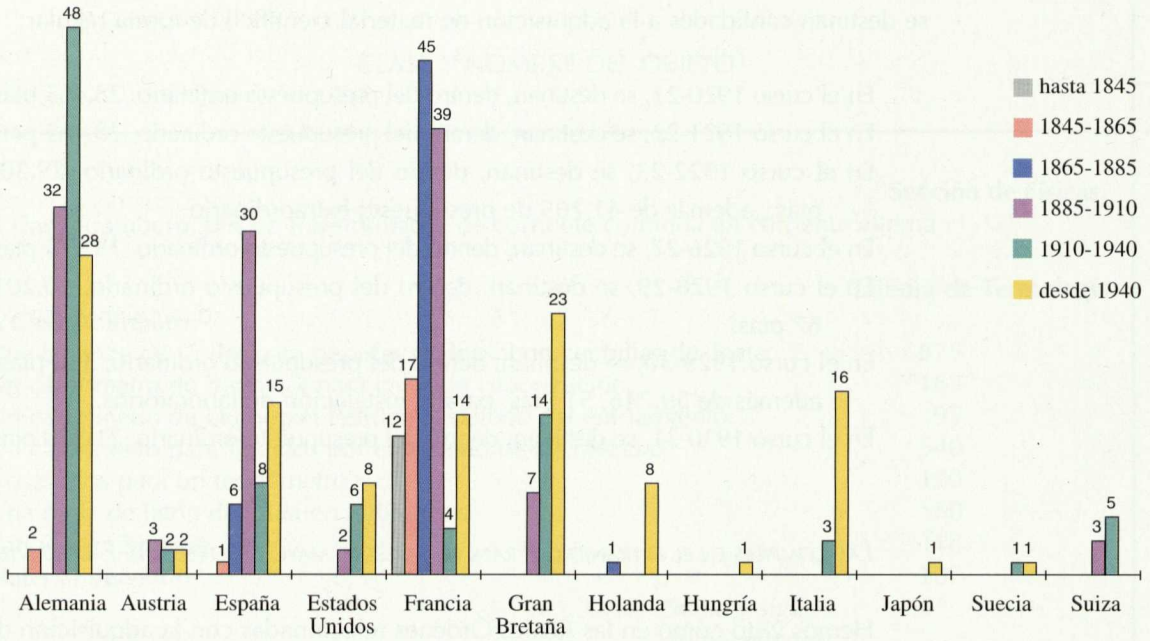
Hemos visto cómo en las Reales Órdenes relacionadas con la adquisición de instrumentos científicos (por ejemplo en la de 1847, en la de 1862 y nuevamente en la de 1885) se recomienda desde el principio la adquisición en el extranjero, debido a que en España, durante gran parte del siglo XIX y las primeras décadas del XX, no existía una industria suficiente como para suministrar los instrumentos necesarios, o al menos no con la calidad y el precio deseados.

En concreto, durante la mayor parte del siglo XIX las compras de material para enseñanza se realizan siempre en Francia, país con gran tradición en la fabricación de instrumentos y una industria estable y competitiva, razón por la que ofrece instrumentos de calidad a un precio adecuado (otros países destacan en la fabricación de otro tipo de instrumentos: Inglaterra por ejemplo, en la construcción de instrumentos de navegación y astronomía, instrumentos de los que fue el gran productor durante la segunda mitad del siglo XVIII y primeros años del XIX).

La distribución de las piezas de la colección según el país fabricante y la época queda reflejada en el siguiente gráfico, que muestra claramente el monopolio de las firmas francesas en el siglo XIX y cómo a finales de ese siglo y principios del XX aparecen otros países como Inglaterra o Alemania que acceden a la exportación de material científico a España.

Como vemos, Francia, seguida de Alemania, España y Gran Bretaña se reparten la mayoría de las piezas firmadas en la colección. Esta distribución obedece, como ya hemos visto, a que la política de compras propicia la adquisición en el extranjero: durante gran parte del siglo XIX predomina Francia; a finales de ese siglo, comenzará a tener gran presencia Alemania como un país de importancia creciente en la exportación de material, presencia que se mantendrá a principios del XX; más adelante, ya en el XX, se irán incorporando empresas inglesas, especialmente las dedicadas a la realización de medidas eléctricas; algo después surgirán algunas casas españolas (al margen de las pocas ya presentes en el XIX, como

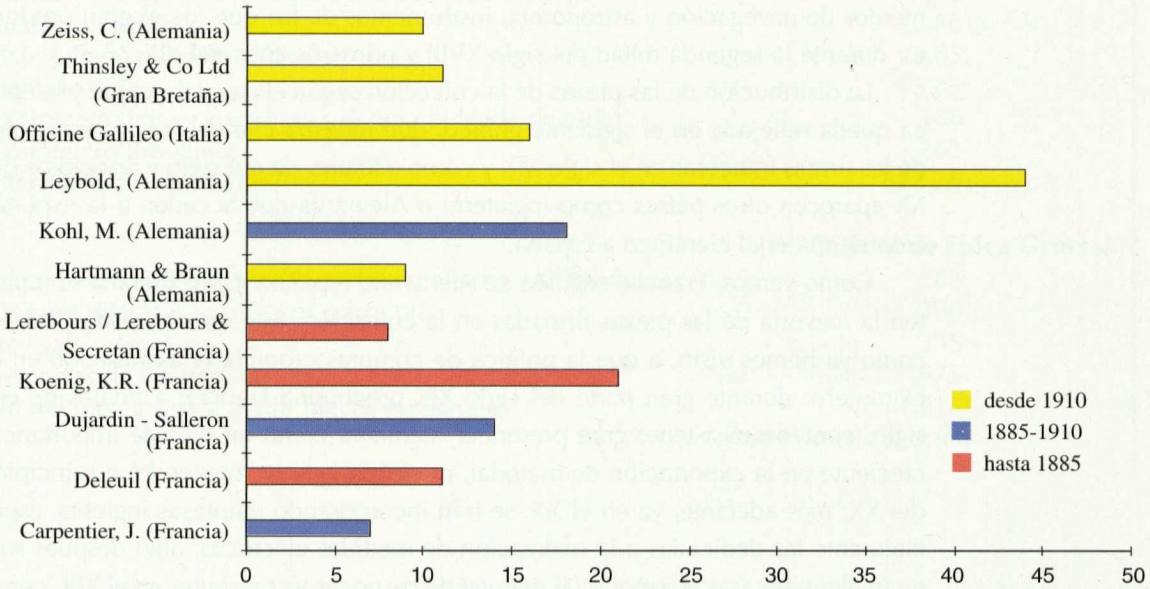
4.- Procedencia de las piezas según el país y la época



Grasselli) capaces de producir instrumentos adecuados para la enseñanza, como Cultura o CEDAC, alguna de las cuales continúa hoy; en el siglo XX, por tanto, el suministro de instrumentos está más repartido.

A continuación mostramos aquellos fabricantes con mayor representación en la colección, indicando en cada caso el país al que pertenecen. Los hemos reunido en tan sólo tres periodos temporales para facilitar su ubicación a lo largo de los siglos XIX y XX.

5. Fabricantes con mayor representación en la colección

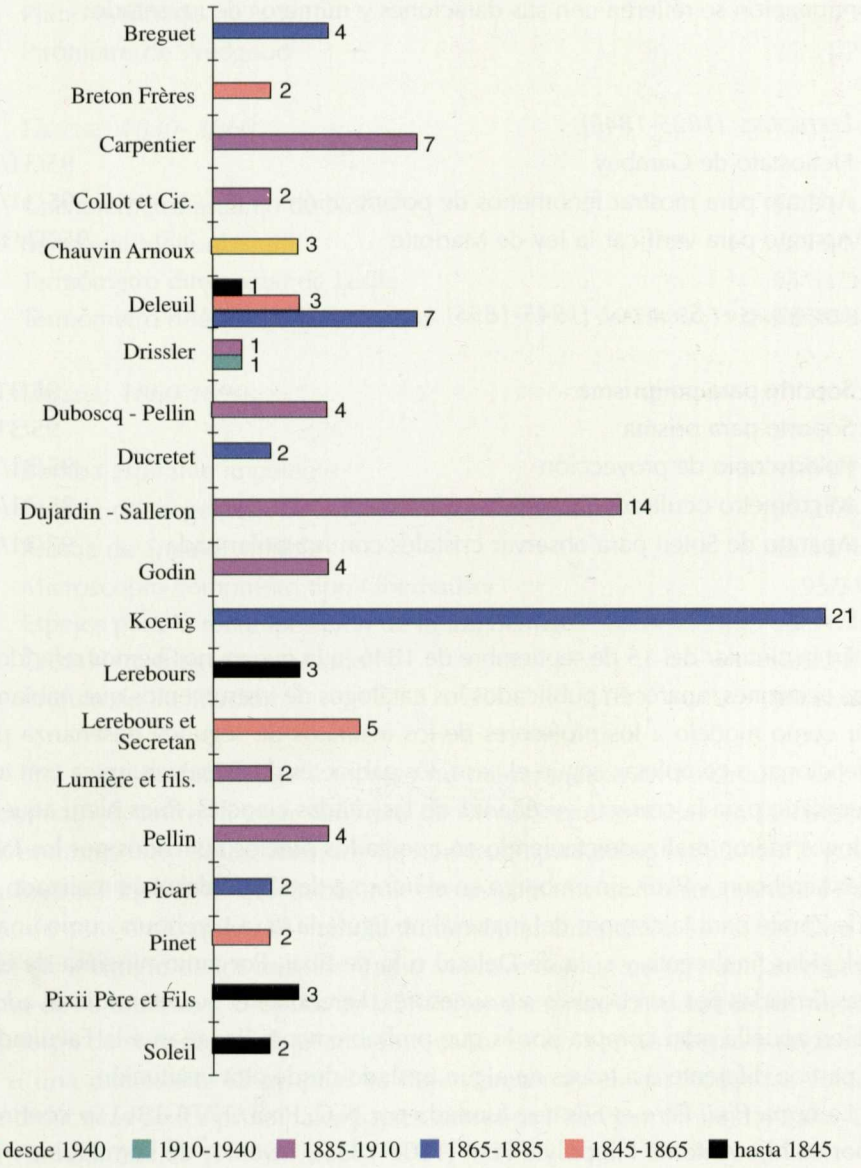


Francia.

Con respecto a los fabricantes franceses, ya hemos explicado las razones por las que durante gran parte del siglo XIX eran el principal objetivo a la hora de adquirir instrumental científico. Para conocer un poco más a los más importantes, señalaremos brevemente algunas notas acerca de ellos[88].

En primer lugar, en el gráfico que a continuación se ofrece, hemos recogido todos aquellos fabricantes franceses que se encuentra representados en la colección de la Facultad de Ciencias Físicas con más de una pieza. Todos ellos son fabricantes cuya presencia es frecuente en las colecciones de instrumentos científicos de los diferentes gabinetes del siglo XIX, no sólo en España, sino también en colecciones de otros países como Holanda o Italia:

6.- Distribución de las piezas de fabricación francesa



88 Pueden consultarse datos sobre diversos fabricantes en la obra Clercq, P. R. de (ed.), *Nineteenth-Century Scientific Instruments and their Makers*, Amsterdam: Rodopi, 1985.

Hemos mencionado nombres como los de *Pixii, Lerebours* o *Deleuil*; los tres son los referentes principales en las órdenes y circulares destinadas a la compra de material y los tres se hallan representados en la colección.

De las casas a las que se hace referencia en las disposiciones legislativas, la más antigua es la Lerebours[89], uno de los más afamados fabricantes franceses de instrumentos matemáticos y ópticos. El negocio, fundado por Nöel Jean Lerebours (1761-1840)[90] en 1789, tuvo su continuidad, a la muerte del éste, en su hijo, Nicolas Marie Paymal Lerebours (1807-1873) que se haría cargo del negocio familiar para el que ya trabajaba desde 1830. La firma se mantuvo hasta 1845, año en que Lerebours hijo se asoció con el suizo Marc François Louis Secretan (1804-1867) bajo el nombre comercial de Lerebours et Secretan. Ya en 1855 Lerebours se retiraría de la actividad comercial quedando Secretan como única firma.

Las piezas de la colección que aparecen firmadas por ambas casas son las que a continuación se refieren con sus dataciones y números de inventario:

LEREBOURS, (1825-1845)

Heliostato de Gambey	95/31/13
Aparato para mostrar fenómenos de polarización	95/31/47
Aparato para verificar la ley de Mariotte	95/31/381

LEREBOURS ET SECRETAN, (1845-1855)

Soporte para poliprisma	95/31/4
Soporte para prisma	95/31/5
Polariscopio de proyección	95/31/10
Micrómetro ocular de Fresnel	95/31/48
Aparato de Soleil para observar cristales con luz polarizada	95/31/78

En la circular del 15 de septiembre de 1846, a la que ya nos hemos referido en varias ocasiones, aparecen publicados los catálogos de instrumentos que habían de servir como modelo a los profesores de los institutos de segunda enseñanza para confeccionar o completar, según el caso, los gabinetes de física y química con todo lo necesario para la correcta enseñanza de las citadas ciencias. Pues bien, aquellos catálogos fueron realizados teniendo en cuenta los precios aplicados por los fabricantes Lerebours y Pixii, sin embargo en el informe detallado del viaje realizado por Gil de Zárate para la compra del material no figura la casa Lerebours como una de las elegidas finalmente y sí la de Deleuil o la de Pixii. Por tanto ninguna de estas piezas firmadas por Lerebours o sus sucesores, Lerebours et Secretan fueron adquiridas en aquella gran compra por lo que probablemente llegarían a la Facultad en otra partida diferente o a través de algún traslado desde otra institución.

La firma *Pixii Père et Fils,* fue fundada por N.C. Pixii (1776-1861) y continuada por su hijo Antoine Hippolyte Pixii (1808-1835), inventor de la máquina mag-

89 Véase el catálogo publicado por el "Syndicat des Contructeurs d'Instruments d'Optique et de Précision" bajo el título, *L' industrie Française des Instruments de Precisión,* París, 1901-1902 (facsímil París: Alain Brieux, 1980), pp. 247-252.

90 Véase Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Lerebours et Secretan" en *Bulletin of Scientific Instrument Society,* Londres: 1994, nº 40, pp. 3-6.

netoeléctrica que lleva su nombre. A diferencia del caso anterior, los aparatos firmados por Pixii, con fechas de datación entre 1835-1855, sí es posible que fueran adquiridos en aquella partida, al igual que los del tercer fabricante citado; Louis Joseph Deleuil[91] (1795-1862) y su hijo, y continuador de la firma, Jean Adrien Deleuil (1825-1894), cuyas piezas, datadas entre 1840-1860, bien podrían haber sido igualmente compradas en ese momento.

A continuación señalamos las piezas de la colección que aparecen firmadas por estas dos casas, acompañadas de la época aproximada de fabricación y del número de inventario que se les ha adjudicado en el MNCT:

Pixii Père et Fils, (1835-1855)

Aparato para mostrar la composición del movimiento	95/31/330
Plano inclinado	95/31/332
Pirómetro de Wedgood	95/31/711

Deleuil, 1830- 1860

Galvanómetro astático de Nobili	95/31/141
Banco de Melloni	95/31/11
Termómetro diferencial de Leslie	95/31/345
Termómetro diferencial de Rumford	95/31/344

Deleuil, 1860-1890

Bomba aspirante impelente	95/31/785
Brújula de tangentes	95/31/674
Prisma de ángulo variable	95/31/404
Microscopio compuesto tipo Oberhaüser	95/31/9
Espejos para la recomposición de la luz blanca	95/31/402
Cristal birrefringente montado	95/31/70
Brújula de inclinación	95/31/208

Del resto de fabricante franceses no mencionados en la circular del 1846 encontramos, entre la gran cantidad de firmas representadas en la colección, dos nombres muy destacados, los de Karl Rudolph Koenig (1832-1901) y Albert Marloye (1795-1874), que trabajaron exclusivamente con instrumentos de acústica, no sólo en lo que a su manufactura propiamente dicha se refiere sino también en el diseño de los mismos. Tanto Marloye como Koenig trabajaron hasta la fecha de su muerte, y, después de fabricar una enorme cantidad de instrumentos a lo largo de su vida, no dejaron continuadores. Ambos no obstante dejaron tras de sí una interesante labor, pues se hayan presentes en casi todas las colecciones didácticas de los principales países europeos (Portugal, Holanda, Italia, España, Francia, etc.)[92].

91 Sobre el conocido fabricante francés véase el estudio realizado por Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Louis Joseph Deleuil (1795-1862) and his son Jean Adrien Deleuil (1825-1894)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1995, nº 47, pp. 4-7

92 Sobre ambos fabricantes véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: The Triumph of Experimental Acoustics: Albert Marloye (1795-1874) and Rudolph Koenig (1832-1901)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1995, nº 44, pp. 13-17.

La Facultad de Ciencias Físicas conserva más de una pieza firmada por otros interesantes productores: Jules Carpentier (1851-1921)[93] sucesor de la prestigiosa firma de Heinrich Daniel Rühmkorff (1803-1877) a la muerte de éste y uno de los fabricantes de instrumentos franceses con mejor formación académica, ya que en 1873 terminaría sus estudios de ingeniería en la reputada École Polythecnique de París; Louis Clement François Breguet (1804-1883)[94], continuador de una de las familias de fabricantes de aparatos de precisión de mayor renombre y fundador en 1850 de la *Maison Breguet*, especializada en las aplicaciones prácticas de la electricidad y pionera en el desarrollo de la telegrafía eléctrica en Francia; Jean Baptiste François Soleil (1798-1878)[95], miembro de la saga de productores que mayor importancia alcanzó en la industria de fabricación de instrumentos ópticos en Francia, tradicionalmente fabricantes de excelente calidad y enorme variedad, que llevó a la firma Soleil y su continuador, en cuanto a la fabricación de instrumentos científicos se refiere, Jules Duboscq (1817-1886) a monopolizar el mercado de la instrumentación óptica. Finalmente encontramos en Philibert François Pellin (1847-1923) al sucesor de Duboscq, con el que comienza a trabajar hacia 1883 en la nueva compañía *J. Duboscq et Ph. Pellin*, para, a la muerte de éste en 1886 convertirse en el continuador de esta firma de instrumentalistas ópticos.

Para terminar con estas breves notas sobre los más importantes fabricantes franceses representados en la colección, mostramos a continuación una tabla en la que se encuentran aquellos productores de los que tan sólo se conserva una pieza, y aquellas piezas de procedencia francesa que no están firmadas.

93 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Jules Carpentier (1851-1921)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1994, nº 43, pp. 12-15

94 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Louis Clement François Breguet and Antoine Louis Breguet" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 50, pp. 19-24.

95 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Soleil, Duboscq, and Their Successors" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 51, pp. 7-16.

Fabricante	*hasta 1845*	*1845-1865*	*1865-1885*	*1885-1910*	*1910-1940*	*desde 1940*
Adnet					X	
Auzoux		X				
Bourdon		X				
Wagner, B. H.			X			
Chevalier, Ch.	X					
Chevalier, V.	X					
Darnet			X			
Duboscq, J.			X			
Froment		X				
Gaumont				X		
Huet						X
Jovin Yvon						X
La Précision Electrique				X		
Marguet						X
Marloye et Cie.		X				
Meurand	X					
Ondia					X	
Poulenc Frères					X	
Richard Frères			X			
Richard, J.				X		
Tonnelot, J.				X		
Sin firmar	X		X	X		8

De entre estos fabricantes ya hemos hablado con anterioridad de Marloye, destacado fabricante de instrumentos acústicos, al igual que de Meurand, de quien recordemos la Facultad conserva una pieza firmada en París en 1875 y del que poco conocemos salvo lo ya comentado en el apartado dedicado al *Real Instituto Industrial y la Universidad Central.*

Al margen de estos dos casos es preciso mencionar, aunque tan sólo sea de forma somera las piezas fabricadas por Paul Gustave Froment (1815-1865)[96], conocido por sus colaboraciones con científicos de renombre como L. Foucault o H. Fizeau, y por la fabricación de telégrafos eléctricos y el desarrollo de los primeros modelos de motores eléctricos; Jacques Louis Vincent Chevalier (1770-1841)[97] y su hijo Charles Chevalier nacido en 1804 y que se convirtió en el representante más afamado de la dinastía Chevalier, una de las firmas más importantes en la industria de fabricación de instrumentos ópticos; y finalmente, Jules Nicolas Richard (1848-1930)[98], quien en 1876 se une a la firma familiar (fundada por su padre en torno a 1845) para en 1882, en colaboración con su hermano Max Félix, fundar la sociedad *Richard Frères,* que durará sólo hasta 1891. Tras esta fecha la firma continuará como *Jules Richard,* aunque conservando las iniciales R.F.. Todos ellos ocupan un destacadísimo lugar en la historia de la instrumentación científica europea durante el siglo XIX y es por ello que debemos significar su presencia sin que ello suponga un menosprecio al resto de fabricantes franceses de la colección.

Inglaterra, Italia y Alemania.

Con respecto los fabricantes no franceses, haremos una breve mención a los ingleses, italianos y alemanes.

En el caso de los primeros, destaca especialmente Adam Hilger, no sólo fabricante de precisión sino también importante por sus diseños de instrumentos ópticos.

La casa italiana con mayor presencia, por no decir la única, en nuestra colección es la casa florentina "Officine Galileo"[99]. Fundada en 1868, está considerada como una de las firmas que más contribuyó al desarrollo de la industria de precisión en Italia. Hoy día la firma continúa aunque ya no se dedica a la producción de instrumentos científicos para laboratorios, sino principalmente a instrumentos de óptica para material militar y tecnología de vacío.

Entre los alemanes destacan varios nombres, pues en el último cuarto del siglo XIX Alemania comenzó a ser un país destacado en la exportación de instrumentos destinados a la enseñanza y la investigación. Una de las firmas más conocidas y que todavía hoy sigue en producción, es la casa Zeiss, cuyo fundador, Carl Zeiss, tras prestar sus servicios en varios talleres alemanes creó su propio negocio en la ciudad de Jena hacia 1849. Otra firma alemana que aún hoy distribuye material científico resultando ser una de las más importantes en lo que a la fabricación de instrumentos destinados a la enseñanza se refiere es la casa Leybold, fundada en Colonia en 1853. Con similares características a esta última firma mencionada podríamos situar a la conocida casa alemana Max Kohl, fundada en 1876. De ambos productores la Facultad de Ciencias Físicas conserva numerosos instrumentos fabricados entre 1880-1910[100].

96 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: Paul gustave Froment (1815-1865)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society,* Londres: 1995, nº 45, pp. 19-24.

97 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: The Chevalier Dynasty" en *Bulletin of Scientific Instrument Society,* Londres: 1993, nº 39, pp. 11-14.

98 Véase, Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: The Richard Family" en *Bulletin of Scientific Instrument Society,* Londres: 1996, nº 48, pp. 10-14.

99 Sobre esta casa véase Brenni, P., "Italian scientific instrument makers of the nineteenth Century and their instruments" en Clercq, P. R. de (ed.), *Nineteenth-Century Scientific Instruments and their Makers,* Amsterdam: Rodopi, 1985, pp. 182-203, especialmente pp. 198-203.

100 Para hacerse una idea del tipo de instrumental fabricado por las firmas Leybold y Max Kohl, pueden consultarse los diferentes catálogos editados por las mismas que aparecen reflejados en la Bilbiografía que se muestra al final de esta obra.

3.3 Fabricación y distribución de instrumentos en España. El Taller de Mecánica

Si bien, como acabamos de ver, la mayoría de los instrumentos presentes en la colección de la Facultad de Ciencias (situación que puede hacerse extensiva a otras colecciones similares, y no sólo de instituciones de enseñanza superior) fueron adquiridos en el extranjero, podemos encontrar un pequeño grupo de fabricación española. Dentro de este pequeño grupo vamos a considerar otros dos: por un lado aquéllos construidos en España por fabricantes dotados de industria propia y, por otro, los que fueron construidos expresamente en y para la Facultad de Ciencias.

Antes de entrar a analizar los grupos mencionados queremos aclarar que existen otros instrumentos que, si bien presentan una firma en español, no los incluimos dentro de los de fabricación española. La razón es que la firma corresponde al distribuidor y no al constructor. Los distribuidores se limitaban exclusivamente a servir de intermediarios entre los fabricantes extranjeros, generalmente franceses, y los centros de enseñanza, aunque en algunas ocasiones una misma casa cumplía las dos funciones (fabricación y distribución, como es el caso de la "Viuda de Aramburo", "PACISA" o "Cultura"), debido a que construía en su taller los modelos más sencillos e importaba aquellos que precisaban en su elaboración de una especial habilidad.

Fabricación de instrumentos en España

En España, al contrario que sucedía en otros países europeos, y, como hemos visto, especialmente Francia, la presencia de fabricantes de instrumentos científicos en el siglo XIX y aun en el XX, era muy escasa[101]; esta situación se venía produciendo desde el siglo XVIII, donde sólo a finales comenzó a aparecer una incipiente industria propia que vio continuidad, acompañada de escaso desarrollo, a lo largo del siglo XIX y parte del XX.

Los primeros pasos de la Administración española orientados a la promoción y establecimiento de una industria propia de fabricación de instrumentos científicos tuvieron lugar en torno al año 1770[102] según una política que impulsó la industria local, enviando además aprendices como pensionados a talleres extranjeros. Si bien estas primeras industrias eran pequeñas y producían instrumentos menos precisos que los extranjeros (destinados por tanto a la enseñanza y la demostración e insuficientes para la investigación), constituyeron un interesante precedente.

En el siglo XIX, la inestabilidad política provocó un estancamiento que no se superó hasta aproximadamente 1835. En 1824 se fundó el Conservatorio de Artes con el fin de formar artesanos industriales, pero no tuvo ninguna repercusión visible. En torno a 1835 se fundaron escuelas de ingeniería y en la década de los 50 se establecieron corporaciones de ingenieros, que tuvieron como consecuencia un aumento de la calidad de los instrumentos de producción local y una clase técnicamente superior de fabricantes. Su trabajo floreció en la década de los 70, época

101 Se puede encontrar un análisis más profundo de la fabricación de instrumentos científicos en España en los siglos XVIII y XIX en las publicaciones de Víctor Guijarro, "La obtención y fabricación de instrumentos científicos en Castilla", en *Ciencia en Castilla*, Valladolid: Junta de Castilla y León, en prensa; "Procurance & Manufacture of scientific instruments in Spain during the 18th. and 19th. centuries", en *Scientific Instrument Society Bulletin*, nº 62, Sep. 1999, pp. 7-10.

102 *Ibid.*, pp. 8-9

Casa Aramburo. Detalle de la firma
A la derecha
Placa del Taller de Mecánica

en que algunos fabricantes empiezan a estar presentes en exposiciones universales, como Recarte (Madrid) y a tener negocios con otros países, como Laguna (Zaragoza).

Hasta 1870, los fabricantes y técnicos locales se dedicarán a reparar instrumentos y a construir todo tipo de aparatos, importando los más complicados de otros países.

La falta de impulso por parte del Estado era debida en gran medida a la búsqueda de resultados inmediatos y a la falta de intención de realizar inversiones a largo plazo, como muestra el hecho de que el Real Instituto Industrial, creado para formar estudiantes con el objeto de que crearan su propia industria o trabajaran en las ya existentes, se cerrara por la escasez de alumnos. Otra de las razones era la dependencia de los fabricantes del Estado, debida indirectamente a la falta de demanda que hacía que la mayor parte de las relaciones comerciales se realizaran casi de manera exclusiva con el Estado como cliente.

A continuación ofrecemos una tabla en que se recogen, clasificados según los diferentes periodos, los fabricantes españoles presentes en la colección. De entre todos ellos mencionaremos brevemente a los más importantes. Entre los escasos ejemplos de fabricación española en el siglo XIX destaca José Grasselli, fabricante de quien poco se sabe, pero que al parecer no trabajó sólo en España, pues encontramos objetos firmados por él sólo (Grasselli, óptico de su Majestad), y por "Grasselli y Zambra" (Zambra estuvo en Londres asociado con Negretti), sin que aún hayamos podido determinar fechas exactas de su trabajo. Otro fabricante que podemos destacar es el profesor Escriche y Mieg, que incluso publicó un catálogo de instrumentos[103], alguno de ellos de su propia invención, como el aparato hidrodinámico de nivel constante (95/31/380).

Ya en el siglo XIX, encontramos que el número de casas españolas aumenta. Entre ellas destacamos CEDAC, PACISA, CULTURA (fundada en 1924), Sogeresa (fundada en 1918), "Laboratorio Eléctrico Sánchez", "Aramburo", o el "Instituto Leonardo Torres Quevedo", algunas de los cuales, como ya mencionamos anteriormente, funcionaban además como distribuidores de material.

103 Escriche y Mieg, Tomás, *Catálogo explicado e ilustrado de los instrumentos de física y cosmografía inventados por D. C. Tomás Escriche y Mieg*, Guadalajara: Imprenta y Encuadernación Provincial, 1883

Fabricante	*hasta 1845*	*1845-1865*	*1865-1885*	*1885-1910*	*1910-1940*	*desde 1940*
anónimo			1			
Profesores I.G. Martí y M. Gil (Universidad Central)				1		
Afora						2
Aquiles						3
CEDAC						2
Profesor E. Cuadrado (Universidad de Zamora)				1		
Cultura. Eimler Basanta					3	3
Federico Bonet, S.A					1	
Grasselli		1	1			
Grasselli y Zambra			2			
Instituto Geográfico y Catastral					1	
Instituto Leonardo Torres Quevedo						3
Laboratorio Eléctrico Sánchez					3	
Pro-Laboratorios						1
Taller de mecánica				29		
Vda. de Aramburo				1		

El Taller de Mecánica

En muchos de los instrumentos de la colección de la Facultad de C.C. Físicas depositada en el MNCT, veintinueve en concreto, nos encontramos una placa metálica en que figura la inscripción: "TALLER DE MECÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS. MADRID". ¿Significa esto que allí se fabricaban instrumentos para la Facultad? La hipótesis que mantenemos es que sí.

Hemos encontrado una referencia al mencionado Taller en la Reseña publicada por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias[104]. En ella se menciona que, situado en la planta baja junto con la cámara oscura y los laboratorios de Física General, Termología y Electricidad y Magnetismo, está "dedicado á las reparaciones que exige el uso del material y á la construcción de aquellos aparatos que permiten los medios de trabajo en él existentes".

La cuestión es determinar si los veintinueve instrumentos mencionados fueron o no fabricados allí. Nos atreveríamos a decir que sí por varias razones. La primera es que ninguno de ellos presenta ninguna otra inscripción de fabricante alguno. La segunda es que todos estos instrumentos fueron fabricados en un mismo período comprendido aproximadamente entre los años 1880 y 1910. La tercera es que su diseño en la mayoría de los casos no corresponde exactamente con el de otros instrumentos similares pertenecientes a otras colecciones, similitud que suele encontrarse al comparar un mismo instrumento elaborado por fabricantes distintos (incluso desconocidos). La cuarta y más poderosa es que en la mayoría de estos instrumentos se aprecia la mano del artesano, es decir, teniendo en cuenta la épo-

104 Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, *Reseña de principales establecimientos...*, *op. cit.*, p. 157.

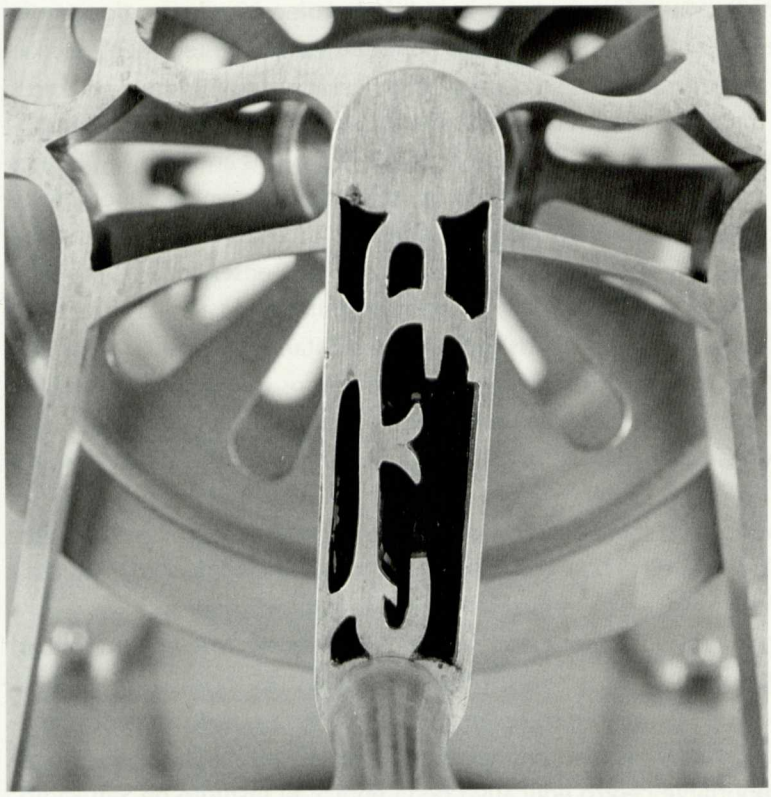


Fig. 4. Máquina de Wimshurst. Detalle

ca en que fueron construidos, las técnicas empleadas hacen imposible la posibilidad de producción en serie. En concreto una de las piezas, la Máquina electrostática de Wimshurst (95/31/125), presenta además en la parte frontal del soporte de la máquina las iniciales "FC" talladas en el propio latón, iniciales que, por otra parte, también se hallan presentes en otros instrumentos, generalmente de Acústica, y que significan "Facultad de Ciencias".

4. CONCLUSIONES

A lo largo de estas páginas se han visto reflejados muchos aspectos de la situación española en los años analizados, y no sólo los relacionados con la educación. Comenzamos en 1837, año en que se establece la Física experimental como asignatura independiente dentro de los estudios universitarios, aunque aún comprendida dentro de la Facultad de Filosofía; finalizamos en 1945, año en que se termina de construir la Facultad de Ciencias en la Ciudad Universitaria, es decir, cuando se inaugura la enseñanza de la física en un edificio propio y nuevo, el mismo que hoy aloja a la Facultad de Ciencias Físicas. El criterio que hemos seguido a lo largo de todo nuestro trabajo han sido los instrumentos, y son ellos los que han marcado la pauta a la hora de determinar el periodo de estudio: comenzamos cuando la Universidad recibe sus primeros instrumentos; finalizamos cuando se construye un nuevo edificio y se adquieren nuevos instrumentos, hoy difíciles de analizar por hallarse más dispersos.

La intención de estas páginas es dar sentido a la colección dentro de su contexto y obtener elementos de juicio que nos permitan valorar su representatividad y valor histórico. A partir de ellas se deduce, conclusión ya manifestada por otros autores que han tratado estos temas, la precaria situación de la educación científica en España durante la segunda mitad del siglo XIX y algunos años del XX. Ésta es el fiel reflejo de una situación política y social en la cual la ciencia tiene problemas para desarrollarse en plenitud. Las consecuencias de estos hechos en el tema que nos ocupa, los instrumentos científicos destinados a la enseñanza de la física, se hacen patentes en los problemas que se han ido manifestando a lo largo de estas páginas: en las continuas quejas de los profesores solicitando material y unos edificios adecuados, en los frecuentes "préstamos" y traslados de material de un centro a otro, en la continua denuncia de una enseñanza experimental deficiente, realidad muy diferente de la que se pretendía conseguir a través de las Leyes y Decretos.

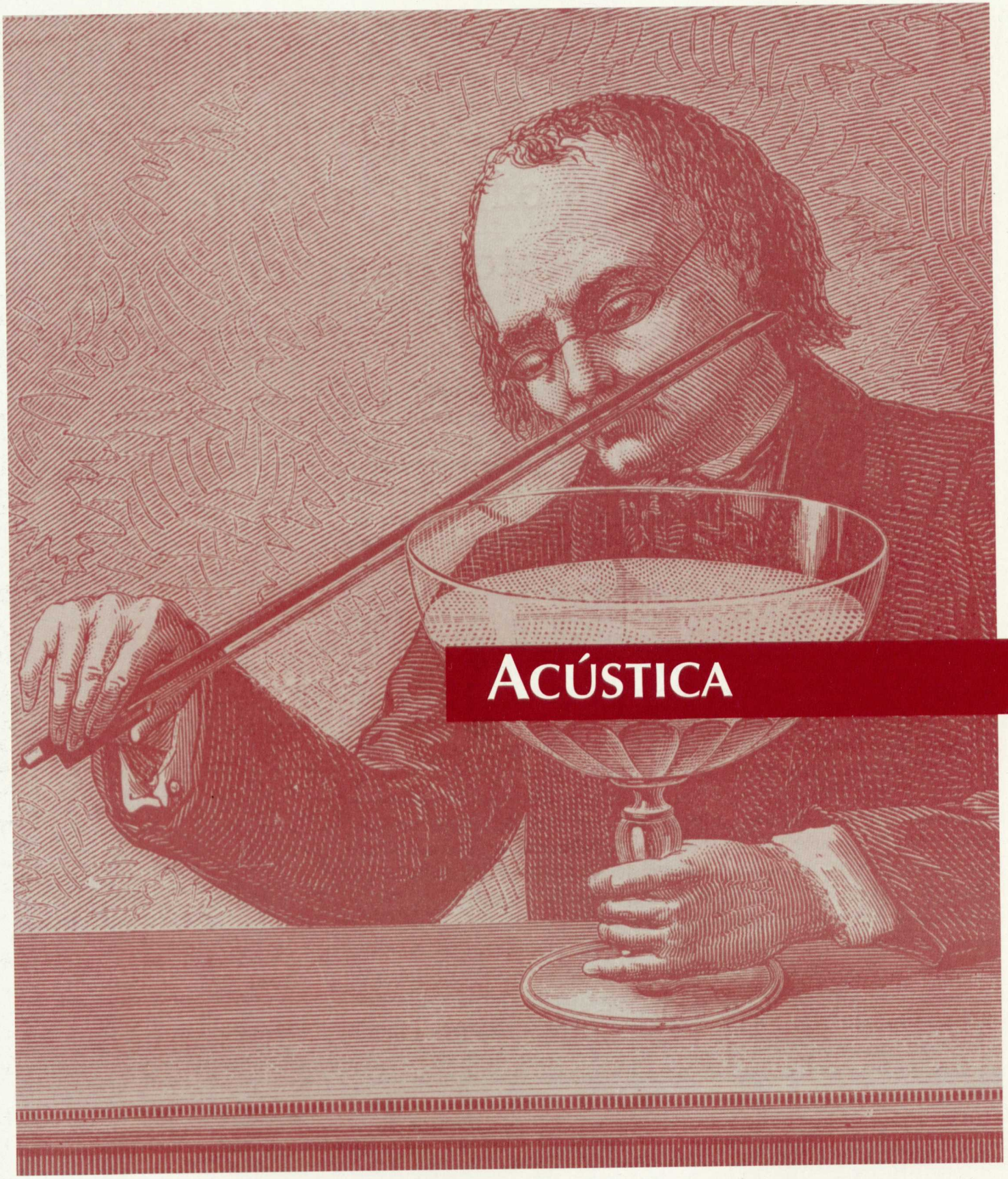
Desde un punto de vista más práctico, la deficiencia de la enseñanza experimental se refleja además en el hecho de que los instrumentos empleados en la Universidad son los mismos que se empleaban en instituciones de nivel inferior, y para sostener esta afirmación nos basamos no sólo en el hecho de que la Universidad compartiese material de una manera u otra con centros de segunda enseñanza, sino también en que si comparamos los instrumentos de la colección procedente de la Facultad de Ciencias Físicas pertenecientes al siglo XIX, con aquellos procedentes de otro importante centro educativo de la época, el Instituto de San Isidro, actualmente propiedad del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, no apreciaremos diferencias importantes.

Estas consecuencias las podríamos llevar incluso más lejos si recordamos la procedencia de la mayoría de los instrumentos presentes en la colección: Francia en el XIX, otros países en el XX, pero en ningún caso es España el país dominante. El hecho de que todos estos objetos hubieran de ser adquiridos en el extranjero, no es sino una prueba más de la pobre situación de la ciencia y la industria científica en España.

Este análisis nos pareció interesante porque la Universidad Central no puede considerarse un caso aislado, su situación no es testimonio únicamente de la situación de la Universidad en Madrid. Por su importancia (no olvidemos que estamos hablando de la Universidad Central) constituye un ejemplo muy representativo que nos puede servir perfectamente de muestra de la situación española y modelo de la situación existente en otras universidades españolas.

Con respecto a la colección que aparece descrita a continuación, queremos señalar que, al fin y al cabo, después de tantos esfuerzos económicos, y teniendo en cuenta que lo que hay no es sino lo que se conserva y no necesariamente lo que hubo, se trata de un muy interesante conjunto que poco tiene que envidiar a otras colecciones similares que se conservan en diversas ciudades europeas. Puesto que en la mayoría de los casos los suministradores eran los mismos, no sorprende el hecho de que las similitudes sean tan grandes.

CATÁLOGO



ACÚSTICA

ACÚSTICA. LA CONFIGURACIÓN DE UNA NUEVA DISCIPLINA

Leonor González de la Lastra

La acústica es la ciencia que estudia las propiedades físicas del sonido. El sonido es producido por una serie de ondas elásticas, propagadas a través de un medio material. Presenta tres cualidades: intensidad, tono y timbre. El tono es el número de vibraciones por segundo. El timbre está determinado por las frecuencias que acompañan a la principal, con menos intensidad, y que constituyen los armónicos; es lo que permite diferenciar una misma nota emitida por dos instrumentos diferentes, por ejemplo un piano y una flauta. La intensidad está determinada por la energía de la onda sonora.

Históricamente[1], podemos considerar que los primeros estudios acerca del sonido fueron los realizados por Pitágoras (c. 560-480 a.C.), en cuya escuela se establecieron las primeras relaciones entre algunos de los elementos que entran en juego en la producción de los sonidos. A partir de ese momento, y en diferente grado en cada periodo histórico, se produjeron sucesivos avances en la ciencia del sonido, que llevarían a configurarla como una disciplina independiente.

Ernst F. F. Chladni (1756-1827), uno de los personajes más destacados en la acústica experimental de la primera mitad del s. XIX, señala en su obra *Die Akustik* (1802)[2] la falta de desarrollo hasta el momento de la acústica, lamentando que la teoría del sonido siga figurando en los tratados de física formando parte de la teoría del aire, y no del movimiento, anexada a la teoría de los péndulos, que es donde él considera que debería figurar. Esta afirmación nos da a entender que la acústica no tenía entidad propia antes del siglo XIX, sin embargo, no es del todo exacta, ya que, si bien es cierto que en los siglos anteriores la acústica no es una disciplina completamente formada, no se pueden ignorar los importantes trabajos llevados a cabo en épocas anteriores, por ejemplo por los griegos, en especial por la escuela de Pitágoras cuya concepción de la naturaleza del sonido configuró la doctrina para los siglos posteriores, los desarrollados por algunos miembros de la Royal Society entre 1660 y 1680, o los que tienen lugar en el s. XVIII. Todos ellos impulsaron, en su intento de expresar la naturaleza del sonido, el desarrollo de la acústica como una rama de la física experimental.

[1] Un panorama general de la disciplina puede verse, por ejemplo, en las obras: Hunt, F. V., *Origins in acoustics: The science of sound from antiquity to the age of Newton*, New Haven y Londres, 1978; Lindsay, R., *Acoustics: Historical and Philosophical Development*, Stroudberg (Pa.), 1973 y Miller, D., *Anecdotal History of the Science of Sound to the Beginning of the 20th Century*, Nueva York, 1935.

[2] Hay una versión francesa: *Traité d'Acoustique*, París, 1809.

Los primeros pasos hacia el conocimiento del sonido

Las contribuciones a la ciencia que estudia los sonidos mas antiguas que conocemos son, como sucede en gran parte de las ramas de la ciencia, las que se produjeron en la Grecia antigua. En aquella época, tan influida por las matemáticas, la música o armonía era considerada una disciplina mixta, situada entre el mundo ideal de las matemáticas y el mundo real, y que implicaba por tanto métodos de observación-experimentación y técnicas geométricas. Este tipo de consideraciones les llevaron a estudiar la relación entre el tono y la longitud de las cuerdas vibrantes, así como la escala musical y la naturaleza del sonido. Pitágoras determinó las razones armónicas de los intervalos musicales, estableciendo relaciones numéricas entre el tono de las notas musicales y la longitud de las cuerdas que las producen. Aristóteles (384-322 a.C.) consideró en *De Anima* que la producción del sonido era debida a la transmisión de impulsos al aire, capaz de vibrar como una masa, si bien, en última instancia, éste era el único responsable del sonido, así como de su propagación.

Estos conocimientos, basados en sencillas proporciones matemáticas, se transmitieron (entre otras, gracias a la obra *Musica,* de Boethius (480-524) uno de los últimos comentadores griegos) a lo largo de la Edad Media y el Renacimiento, siendo recibidos fundamentalmente por dos tipos de audiencias: los filósofos interesados en la música como modelo para conocer el orden del mundo, la llamada música especulativa, que empleaba las operaciones aritméticas y geométricas utilizadas por los matemáticos, y los músicos amateurs y profesionales, cuyos estudios constituyeron la llamada música práctica. No obstante, si bien en la música práctica tuvieron lugar importantes evoluciones, especialmente relacionadas con la división de la escala, ninguna de estas audiencias introdujo grandes cambios en el estudio del sonido a excepción de Robert Grosseteste (c. 1168-1253) y Safi al-Din (c. 1250-1294). El primero, a caballo entre los ss. XII y XIII, consideraba al sonido en su obra *De generatione sonorum* como un movimiento vibratorio elástico propagado por el aire desde el cuerpo sonoro hasta el oído. En el caso de las varillas, por ejemplo, explicaba el sonido basándose en el movimiento local debido a dilataciones y contracciones que tienen lugar en las direcciones longitudinal y transversal[3]. El segundo llevó a cabo estudios con tubos sonoros, que aparecen recogidos en la obra *Risálat al-Sharafíyya* (*El tratado Sarafi de las Proporciones Musicales*) (1267), siendo el primero en explicar la producción del sonido en el interior de un tubo de órgano. Además, mencionó la influencia del grosor y longitud de la cuerda en el sonido, aunque no llegó a establecer la relación matemática.

En el s. XVII[4] sin embargo, sí tuvieron lugar importantes cambios en este panorama que hicieron que los estudios sobre el sonido empezaran a cobrar importancia y se separaran del arte musical para empezar a convertirse en una ciencia del fenómeno sonoro. Se aprecia la influencia del interés, tanto teórico como práctico, surgido en el s. XVI por aspectos de la música griega, y tiene lugar una Revolución Científica que, en sus intentos por reemplazar el aristotelismo por otro modelo cosmológico, busca expresar todo, incluso la naturaleza del sonido, en términos mecánicos. Esto tiene como consecuencia el inicio del desarrollo de la

[3] Citado en F. V. Hunt, *op. cit.*, pp. 64-66.

[4] Para un mayor conocimiento de la acústica en este siglo véase, por ejemplo, Croy Kassler, J., "Music as a model in early science", *History of science*, XX (1982): 103-139; y los artículos de Gouk, P., "Newton and music: from the microcosm to the macrocosm", *International studies in the philosophy of science* (Dubrovnik Papers), vol. I, nº1 (sep. 1986): 36-59; "Acoustics in the Early Royal Society 1660-1680", *Notes & Records of the Royal Society*, **36** (1982): 155-175; y "The role of acoustics and music in the scientific work of Robert Hooke", *Annals of science*, **37** (1980): 573-605. Para el debate de la transmisión del sonido en el vacío: Guijarro, V y González, L. "Los sonidos del vacío", *Estudios de historia de las técnicas*, Salamanca: Junta de Castilla y León, 1998, 2 vols., vol 2, pp. 735-741. Para los siglos XVII-XVIII véase Bensa, E y Zanarini, G., "La fisica della musica", *Nuncius*, año XIV, 1999, fasc. 1, pp. 69-111.

acústica como una disciplina dentro de la física experimental, que se hace patente en la aparición del término "acústica", sugerido por Joseph Sauveur (1653-1716) para referirse a cuestiones relativas a las relaciones entre tono y frecuencia.

En este siglo se produjeron avances dentro de la tradición anterior, a los que también se añadieron los que tienen lugar en una naciente segunda vertiente, destinada al estudio de las propiedades físicas, naturaleza y propagación del sonido, algunas de las cuáles ya habían sido tratadas en épocas anteriores.

Dentro de los tradicionales estudios destinados a las cuerdas vibratorias, en torno a 1600 Galileo Galilei (1564-1642) explicó en su obra *Discorsi a due nuove scienze* (1638) la relación existente entre tono y frecuencia. Marin Mersenne (1588-1648) la aplicó (*Harmonie Universelle*, 1636) a las vibraciones de cuerdas largas y estableció la relación entre la frecuencia y las características físicas de las mismas (longitud, tensión y masa), ya mencionada por Galileo en sus *Discorsi*.

Dentro de la segunda vertiente, surgieron nuevos trabajos que permitieron cada vez un mayor conocimiento de la naturaleza del fenómeno sonoro y sus propiedades. Mersenne observó la presencia en las cuerdas de otros sonidos acompañando a la nota fundamental que Sauveur denominará posteriormente armónicos superiores. El propio Mersenne, junto con Pierre Gassendi (1592-1655), llevó a cabo las primeras mediciones de la velocidad del sonido, y W. Derham (1657-1735), comprobó, experimentando sobre la velocidad del sonido, que la velocidad es independiente de la intensidad.

Con respecto a la propagación del sonido, por un lado, se fue perfilando poco a poco el concepto de onda, especialmente a partir de la analogía que Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) establece en su obra *Physico-mathesis* (1665) entre las olas del agua y la propagación de la luz, o la de Pierre Ango, en su tratado de *Óptica* (1682), que asemeja las ondas del agua a las sonoras. Estas analogías fueron expuestas formalmente en el *Tratado de la luz* (1690) de Christiaan Huygens (1629-1695), aunque sin introducir modificaciones ni contribuciones al desarrollo de la acústica.

Por otro lado, se llevaron a cabo importantes estudios en relación con el medio susceptible de propagar el sonido. En este siglo, algunos autores admitían como responsables de la transmisión de este fenómeno, tanto el aire como otros medios sólidos, por ejemplo una cuerda metálica, tal y como afirma Robert Hooke (1635-1702) en la *Micrografía* (1665), puntualizando que es incluso un medio más veloz. Si bien el aire se había venido aceptando como principal medio transmisor del sonido, algunos experimentos realizados con la máquina pneumática, inventada por Otto von Guericke (1602-1686) a mediados del s. XVII, suscitaron interesantes debates en torno a la naturaleza del vacío y de la materia que permanecía en la campana. La experiencia, consistente en introducir un timbre para observar si sonaba o no una vez evacuado el aire, dio lugar a variadas interpretaciones, pues la visión del fenómeno dependía del marco teórico del experimentador y su postura con respecto al vacío. La solución a esta cuestión será dada formalmente por Joseph Priestley (1733-1804), quien en 1779 establece que la intensidad del sonido transmitido por un gas es proporcional a su densidad.

Hooke diseñó además una serie de experiencias destinadas a estudiar las vibraciones de los cuerpos, que serían antecedente por ejemplo de las placas vibrantes de Chladni y de la rueda dentada de Félix Savart (1791-1841)[5].

Ya en el s. XVIII, tuvieron lugar numerosos estudios destinados al análisis teórico de la naturaleza de las cuerdas vibrantes, que pasarían a formar parte de la mecánica racional. A diferencia de Newton, que consideraba que las vibraciones de las cuerdas provocaban el sonido directamente, Louis Carré (1663-1711) en 1709 y Philippe de la Hire (1677-1719) en 1716 mostraron que el sonido producido por la cuerda procede del "temblor" de las moléculas producido por la vibración. En 1715, Brook Taylor (1685-1731), desarrollando los estudios de Mersenne, determinó la frecuencia de vibración de una cuerda, ofreciendo la primera solución analítica para las cuerdas vibrantes. A partir de ese momento empiezan a plantearse las primeras ecuaciones y soluciones de los estados de vibración de cuerdas vibrantes y tubos sonoros, estudiadas principalmente por Daniel Bernouilli (1700-1782), Joseph Louis Lagrange (1736-1813), Leonhard Euler (1707-1783) y Jean D'Alembert (1717-1783). Esta aplicación de la mecánica analítica será una herramienta de gran ayuda para el desarrollo de la acústica.

Además, en el plano práctico, se intentaban verificar experimentalmente estos resultados, destacando los metódicos trabajos llevados a cabo por Chladni en los

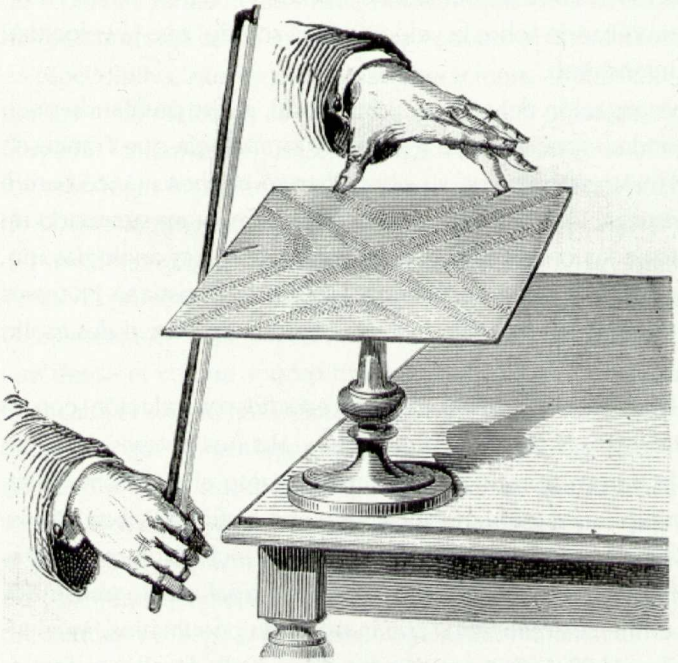


Fig. 5.- Placas de Chladni

primeros años del s. XIX, cuyas experiencias con placas vibrantes llamaron la atención sobre las vibraciones de otros cuerpos, aparte de tubos y cuerdas. Se realizaron además nuevas determinaciones de la velocidad de propagación del sonido.

Si bien no podemos decir que antes del s. XIX existiera una teoría perfectamente estructurada, el sonido ya aparecía caracterizado como un estado vibratorio, y se había alcanzado mayor conocimiento del medio transmisor. Por otra parte, los instrumentos de acústica presentes en los gabinetes de física experimental

[5] Las primeras aparecen descritas en sus obras en varias ocasiones, por ejemplo en Birch, T. (ed.), *History of the Royal Society of London*, 4 volúmenes, Londres: A. Millar, 1756-1757, (recogido en Gunther, *Early Science in Oxford*, vols. VI y VII), vol. II, 1671, p. 475. Las segundas son mencionadas por P. Gouk en "The role of acoustics and music in the scientific work of Robert Hooke", *op. cit.*

eran únicamente megáfonos, timbres, campanas de vacío y sonómetros. Veremos que en el s. XIX tendrán lugar progresos definitivos en ambos aspectos, teórico y experimental.

El s. XIX

En la primera mitad del s. XIX se produce una profunda transformación de la acústica. Se culminó el proceso, ya iniciado en siglos anteriores, mediante el cual pasa de ser un tema de interés exclusivo de músicos y matemáticos, a convertirse en una rama de la nueva disciplina de la física con entidad propia, que recoge además los progresos de las matemáticas y otras ramas de la física. Fundamentalmente, el pionero trabajo experimental de Chladni en placas sonoras, cuerdas vibrantes y varillas, que fue presentado ante la Academia de Ciencias de París en 1808, y la publicación de su obra *Die Akustik*, supusieron el inicio y el estímulo de una serie de trabajos teóricos y experimentales que dieron nueva forma a la disciplina. Casi simultáneamente, Savart con el objeto de llevar a cabo estudios relacionados con los límites de audibilidad humana, diseñó un instrumento conocido como rueda de Savart, rueda dentada cuya velocidad determina la frecuencia del sonido emitido cuando golpea un pequeño cartón al girar. Este sistema será mejorado por Louis Friedrich W. A. Seebeck (1805-1849) dando lugar a la sirena, que permite determinar la frecuencia de un sonido en función de la velocidad de giro de la rueda cuyos orificios lo producen al interrumpir el paso del aire.

En este siglo, estudios que tienen lugar en un plano matemático, como los de Lagrange, Pierre-Simon Laplace (1749-1827) o Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), están asociados a investigaciones teóricas sobre los fenómenos vibratorios y ondulatorios, en los que las ondas sonoras ocupan un importante puesto. Partiendo de este punto diferenciaremos en este apartado los estudios teóricos y los prácticos. Si bien los segundos han contribuido más a constituir la ciencia del sonido, no debemos olvidar los aspectos teóricos que, en muchas ocasiones, han servido como fuente de ideas y sugerencias a los experimentadores.

Acústica teórica

Los trabajos llevados a cabo por Joseph Fourier (1768-1830) sobre el calor (1822), empleando series trigonométricas, sugirieron a Georg Simon Ohm (1787-1854), junto con el desarrollo de la sirena en la década de 1840 (destinada a la generación del sonido), la posibilidad de aplicarlas a la explicación del sonido y definir el tono en función de impulsos periódicos. Estas expresiones matemáticas manifestaban la descomposición de todo sonido en otros sonidos simples: la nota fundamental o principal, que determina el tono, y sus armónicos, que determinan el timbre. Este descubrimiento, si bien contribuyó al conocimiento de los sonidos, no fue suficiente para resolver el debate mantenido entre teóricos, por un lado, defensores de la existencia de los armónicos y su contribución al timbre, y músi-

cos y experimentadores (como Chladni), por otro, que dudaban ante esta explicación. Era necesario por tanto que se realizara un aislamiento experimental de dichos sonidos para aceptar plenamente esta teoría. La confirmación vendría de la mano de Hermann von Helmholtz (1821-1894), en la década de 1850, quien con sus resonadores consiguió aislar y analizar los armónicos del sonido completo y desarrollar así una nueva y más compleja definición de tono, aprovechando las propiedades de absorción de una masa de aire en un recipiente respecto de las vibraciones que no corresponden a su frecuencia característica. Este método también le ayudó a probar su teoría de la resonancia de la audición y a analizar los sonidos de las vocales en el habla humana.

Estimulados por los trabajos de Chladni, intentos opuestos a los de Ohm fueron llevados a cabo por los hermanos Ernst Heinrich Weber (1795-1878) y Wilhem Eduard Weber (1804-1891), quienes realizaron su propio trabajo pionero, aunque no del todo satisfactorio, en el estudio de las ondas sonoras (*Die Wellenlehre*, 1825) y su composición. El esquema teórico de los cálculos de interferencias, no obstante, supuso el motor de nuevas experimentaciones, como la búsqueda de analogías entre fenómenos luminosos y sonoros, y el estudio de las interferencias, reflexión y refracción de sonidos.

Se llevaron a cabo también importantes trabajos orientados a la propagación, especialmente de la luz, poniéndose de manifiesto la importancia de las condiciones límite, hecho que dificultó su aplicación a la Acústica.

Acústica experimental

En este siglo se idearon diversos métodos destinados al análisis de los sonidos. Uno de los primeros, el llamado método gráfico, fue ideado por Jean-Marie Constant Duhamel (1797-1872) en 1840, y consiste en que un estilete adaptado al extremo del objeto responsable de las vibraciones, las transmite e imprime en una superficie cilíndrica ennegrecida con humo que gira y se desplaza a la vez. Más adelante surgirían los dispositivos ópticos, introducidos por Jules Antoine Lissajous (1822-1880), consistentes en la observación de un punto luminoso procedente por reflexión de la superficie vibrante, y poco después los basados en la resonancia. Este método de análisis fue ideado en 1864 por Karl Rudolph Koenig (1832-1901), quien adaptó en los resonadores de Helmholtz una llama manométrica, estudiando sus variaciones en un espejo giratorio. El mencionado físico alemán, Helmholtz, fue el responsable de la invención de un instrumento que produce el fenómeno inverso: el sintetizador de sonidos, que permite reproducir un sonido dado a partir de sus armónicos, empleando para ello un conjunto de diapasones que son amplificados a voluntad mediante resonadores.

Los estudios de interferencias sonoras, iniciados como vimos por los hermanos Weber, fueron continuados por los trabajos de John Frederik Herschel (1792-1871) en 1835, quien construyó un aparato consistente en un tubo dividido en dos ramas que difieren una semilongitud de onda. El perfeccionamiento de este aparato vino de manos de Georg Hermann Quincke (1834-1924) en 1866 y de Koenig,

quien consiguió de nuevo hacer visibles y objetivos, es decir, independientes de los sentidos, los resultados de las interferencias de las ondas.

En esta centuria se mejoraron también las mediciones de la velocidad de propagación del sonido, no sólo en el aire, sino también en líquidos y sólidos.

Con respecto a los estudios de vibraciones de los cuerpos, destacan los llevados a cabo con los tubos sonoros. En 1829 Pierre Louis Dulong (1785-1838) determinó experimentalmente la corrección a que hay que someter la longitud del tubo para obtener la altura del sonido fundamental en un tubo cerrado en el extremo. Savart, en la misma época, estudió los tubos de sección rectangular y mostró que no influye en el sonido la sección del tubo, pero sí la naturaleza de los tabiques. Thomas Hopkins (1780-1864) observó en 1838 la posición de los nodos en la columna de aire en vibración que, al igual que la de los vientres, no coincide cerca de las extremidades con las posiciones teóricamente previstas en función de la longitud de onda. La teoría completa de las "longitudes reducidas" de los tubos de órgano fue finalmente presentada por Helmholtz en 1859.

Los constructores de instrumentos

En la acústica, al tratarse de una ciencia que se consolida definitivamente en el s. XIX, no está muy separada la tradición teórica de la experimental. Algunos de los constructores de instrumentos no eran meros fabricantes, sino que llevaban a cabo sus propias investigaciones que aparecían descritas en las obras que publicaban. Es por esta razón por la que, en muchos casos, estos instrumentos eran fabricados por sus propios inventores, o por personas que colaboraban en su diseño. Este hecho es también la causa de que los instrumentos destinados a los gabinetes de enseñanza, como los aquí mostrados, no diferían mucho de los destinados a la investigación.

Entre los fabricantes presentes en esta colección destacan especialmente Albert Marloye y Koenig[6]. Destacamos sus nombres porque fueron responsables, especialmente el segundo, de numerosos y variados instrumentos.

Marloye fue el primer fabricante de instrumentos especializado exclusivamente en acústica, haciéndose famoso por esta razón entre 1840 y 1855. Trabajó como asistente y fabricante de Savart durante diez años, al cabo de los cuales diferencias de opinión hicieron que se separaran. A principios de los años 50 era uno de los experimentalistas más conocidos en esta rama (los artículos de introducción que escribe para su catálogo eran copiados por revistas científicas y manuales de física). Se retiró probablemente a finales de los años 50 y su material pasó a la Sociedad Secretan. Si bien nunca presentó sus instrumentos a exposiciones nacionales o internacionales, fue miembro del jurado de la sección de instrumentos de música de la exposición francesa de 1849 y de la exposición universal de París de 1855. Se conocen tres catálogos suyos, sin ilustraciones, en los que no sólo enumera los instrumentos, sino también describe la forma de utilizarlos en las demostraciones.

6 Para estos fabricantes véanse los artículos de Brenni, P., "Le triomphe de l'acoustique expérimentale: Marloye et Koenig", en *La Revue. Musée des Arts et Métiers*, Septiembre 1995, pp. 29-37 y "The Triumph of Experimental Acoustics: Albert Marloye (1795-1874) and Rudolph Koenig (1832-1901)", *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, nº 44 (1995), pp. 13-17.

Koenig es el segundo gran fabricante dedicado exclusivamente a la acústica, aunque su producción y fama fueron mayores que las de Marloye. Sus instrumentos eran de los más bellos, eficaces y precisos de su tiempo. Desde pequeño se sintió atraído por la acústica y la música, comenzando en 1851 como aprendiz con un famoso fabricante de violines. En 1858 comenzó su propio negocio, enteramente dedicado a la fabricación de instrumentos de acústica. Un año después publicó su primer catálogo. En 1862 participó con éxito en la Exposición Universal de Londres donde presentó por primera vez, entre numerosos instrumentos, su aparato de llamas manométricas, de enorme utilidad para el estudio de los fenómenos acústicos. En 1865, fecha en que se le concedió una medalla de oro por sus trabajos, publicó una segunda edición ampliada de su catálogo en la que describe nuevos instrumentos. Dedicó gran atención a mejorar los diapasones, que alcanzaron la perfección gracias a él.

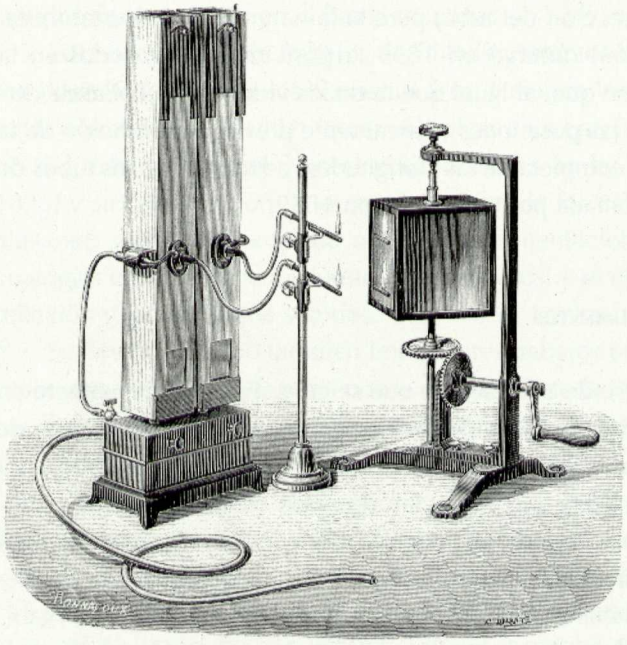


Fig. 6.- Tubo manométrico y espejo giratorio

Participaría nuevamente en Exposiciones Universales en 1867 (París), época en que su producción estaba destinada al extranjero en un 70%, 1872 (Londres) y 1876 (Philadelphia), en la cual tendrá un gran éxito aunque no materializado en mayores ventas en los Estados Unidos. Publica nuevos catálogos en 1873, 1882 y el último en 1889, en el cual se queja de las numerosas copias de sus instrumentos, que además son de mala calidad y a veces incluso imitan su nombre.

Quizá lo más sorprendente de su trabajo es que, a pesar de la complejidad, la calidad y la abundancia de sus instrumentos, en su taller disponía de unos tres ayudantes. No era sólo un fabricante, sino un científico y un innovador.

Ya avanzado el s. XX, los instrumentos mecánicos o electromecánicos dejarán paso a los electrónicos del XX; la electroacústica planteará una serie de nuevas cuestiones y supondrá nuevas posibilidades.

ACÚSTICA

Leonor González de la Lastra

1. TIMBRE SONORO

Nº inv.: 95/31/301
1880-1900
Dm. 13,4x15,5 cm
Madera, metal

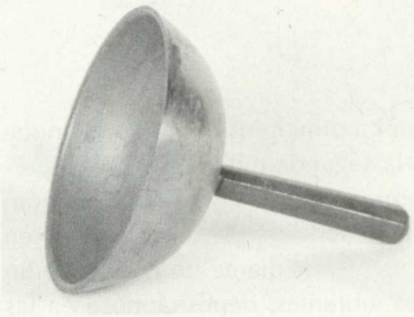


Fig. 7

Este sencillo instrumento se emplea para obtener sonidos de una frecuencia determinada. Para ello debemos frotar su borde con un arco de violín o golpearle con un martillo especial. Además, podemos hacer visibles las vibraciones responsables de este sonido depositando en la cavidad del timbre una bolita metálica, que dará pequeños saltos cuando éste resuene.

Fig. 8.- Timbre sonoro

2. SONÓMETRO

Nº inv.: 95/31/296
1850-1870
19,1x142,5x28,3 cm
Madera, alambre, plomo, latón, acero

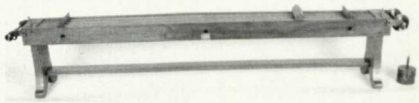


Fig. 9

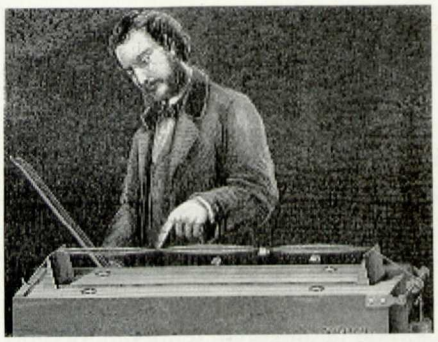


Fig. 10.- Sonómetro

El sonómetro permite comprobar experimentalmente las leyes que verifican las vibraciones transversales de las cuerdas armónicas. Dichas leyes nos indican la dependencia de la frecuencia de vibración de una cuerda con su radio, longitud, densidad y tensión o peso tensor. Para ello consta de una caja de resonancia, para reforzar el sonido, con dos escalas naturales y una regla central graduada en la parte superior, que permite anotar las posiciones del puente. Sobre la regla central, entre dos puentes fijos distanciados un metro, se halla una cuerda de tensión fija, y sobre las escalas laterales se sitúan otras dos cuerdas, cuya tensión se puede variar añadiendo más o menos peso tras pasar la cuerda por la polea.

Si se hace vibrar la cuerda con un arco de violín, oscilará emitiendo el sonido fundamental; al variar la longitud de la parte vibrante de la cuerda, desplazando el puente móvil, pueden obtenerse diferentes notas de la escala natural y por tanto diferentes nodos (partes no vibrantes). Para comprobar la ley de las vibraciones transversales de las cuerdas se fijan las condiciones en una de las cuerdas, y se van variando sucesivamente la longitud, tensión, el radio, y, raramente, la densidad de las otras cuerdas, observando cómo cambia la frecuencia. La existencia de nodos y vientres puede visualizarse colocando papelillos doblados sobre las cuerdas: aquellos situados sobre los vientres vibrarán, y los situados sobre nodos quedarán inmóviles.

Fig. 11

Fig. 12

3. BANCO CON TRES PLACAS VIBRANTES Y CAJAS PARA ARENA Y COLOFONIA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/281; 95/31/720; 95/31/721
1840-1860 (banco); 1870-1890 (cajas)
20,7x65,7x39,8 cm; dm. 5,4x4,3 cm; dm. 5,4x4 cm
Madera, metal, latón
«MARLOYE ET CIE.» / «A PARIS»

Las placas vibrantes, difundidas por Chladni a principios del s. XIX, aunque ya descritas con fines similares por Hooke en la segunda mitad del s. XVII, permiten visualizar los nodos y vientres que se forman cuando entran en vibración. Si esparcimos sobre ellas arena fina o polvos de licopodio, apoyamos el dedo en uno o varios puntos de la superficie y las excitamos mediante un martillo o un arco de violín, el arena abandonará las partes vibrantes, depositándose en las líneas en que la vibración ha sido anulada, dando lugar a figuras simétricas. El número y la posición de estas líneas nodales dependerá de la forma, elasticidad, espesor de las planchas, del medio de excitación y el lugar en que situemos los dedos. Chladni y Savart advirtieron que cuanto más agudo es el sonido emitido por la placa al vibrar, más numerosas son estas líneas, siendo menor por tanto la extensión de las partes vibrantes. Va acompañado de dos botes destinados, uno de ellos, a esparcir arena fina o licopodio por la superficie de las placas, y el otro a conservar la colofonia, resina que sirve para engrasar las cuerdas de los arcos de violín y permitir que conserven su elasticidad.

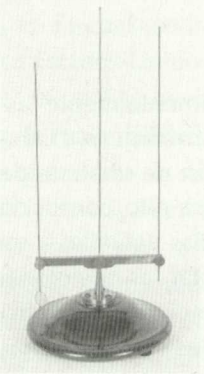


Fig. 13

4. CALEIDÓFONO

Nº inv.: 95/31/279
1870-1890
Dm. 24x52,2 cm
Madera, acero, latón, plomo

Este instrumento demostrativo fue diseñado por Charles Wheatstone (1802-1875), profesor de Física del King's College en Londres, en torno a 1827. Consta de tres varillas de acero de igual longitud y diferente sección que, al oscilar, dibujarán con el extremo libre las diferentes figuras descritas por Lissajous, dependiendo de la relación entre las dimensiones de su sección. Al estar fijas por un extremo, si se golpean, frotan o rascan en la dirección de la diagonal, tenderán, debido a su elasticidad, a volver a su posición original, ejecutando una serie de oscilacio-

nes completas, cuya amplitud disminuirá gradualmente. Este tipo de oscilaciones se conocen como oscilaciones pendulares. Dependiendo de la sección de las varillas, resultará una composición de movimientos que se corresponde con la de dos diapasones entre los que existe una determinada relación de frecuencias. Debido a la retención de la imagen unos instantes en la retina, estas figuras se observarán como un continuo. Si las cabezas de las varillas son brillantes y la iluminación es adecuada, las figuras se reflejarán en el techo suficientemente amplificadas.

Fig. 14

5. DIAPASÓN PARA PIANO

Nº inv.: 95/31/740
1827-1852
13,7x11x82 cm
Madera, latón, acero, crin
«Chroniasnalae» / «{« / «Roll.o» / «sc» / «Blasechets» / «=» / «Paris»

Este tipo de diapasón está destinado a servir como modelo para afinar pianos, razón por la cual las posiciones del puente son fijas y es visible la escala cromática (impresa junto a ellas). Fue fabricado en París a finales del s. XIX (época en que esta ciudad vivió un especial auge en cuanto a la invención de instrumentos y acceso-

rios musicales) por una importante casa francesa dedicada a la fabricación de pianos: «Roller & Blanchet», constituida por Jean Roller (1797-1866) y Nicolas Blanchet (1794-1876).

Fig. 15

Este curioso instrumento, ideado en 1827 por Roller, quien le denominó "chromamètre", permitió dar un mayor impulso a la ya existente proliferación de los pianos entre la burguesía, pues permitía prescindir de un especialista para afinar el piano. Consiste en un monocordio vertical que se excita por medio de un martillo situado en su interior, similar al de un piano. En él la cuerda es presionada mediante un puente de latón, cuyas posiciones son fijas y se corresponden con las notas de la escala cromática, que aparece escrita en el traste, en los respectivos orificios en que se puede fijar el puente. Su parte posterior está dispuesta de modo que el instrumento pueda adaptarse al piano a la altura que se desee. La tapa de la caja de resonancia es de pino (tal y como suele suceder en los diapasones normales), debido a que dicha madera posee uno de los coeficientes de absorción más bajos, lo que hace que no se debilite el sonido.

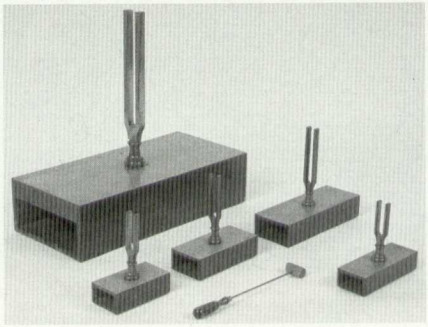


Fig. 16

6. DIAPASONES CON CAJA DE RESONANCIA Y MARTILLO

De atrás hacia adelante y de izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/657; 95/31/661; 95/31/660; 95/31/658; 95/31/719; 95/31/662
61x28,3x57,1 cm; 16x8,5x21,3 cm; 21x9,5x23,5 cm; 31x11,8x28,5 cm.; 5x2,6x35,3 cm; 21,8x8x19,9 cm
Madera, acero, goma, corcho, latón
1860-1880 (diapasones); 1870-1890 (martillo)
«RK»

Los diapasones son instrumentos que se emplean desde principios del s. XVIII para afinar instrumentos musicales o dar el tono a los cantantes y, aunque aparece alguno en tratados de filosofía experimental de este siglo, no fue hasta el s. XIX cuando empezaron a ser imprescindibles en los gabinetes de física para llevar a cabo experiencias de acústica, siglo en el cual se llevó a cabo también la estandarización de sus frecuencias. Al golpear este tipo de instrumentos con un martillo, como el de la fotografía, o frotarles mediante un arco de violín, sus ramas realizan oscilaciones transversales que provocan perturbaciones en el aire en forma de compresiones y rarefacciones. Al llegar a nuestro oído estas diferencias de presión producen la sensación de sonido. La velocidad de estas oscilaciones, dependiente de la forma y dimensiones del diapasón, determina las frecuencias de la vibración, que para estos instrumentos son 256, 512, 768, 1024 y 1280, respectivamente, vibraciones por segundo en notación francesa (el doble de la real que estaría expresada en ciclos por segundo), correspondientes a las notas Do2, Do3, Sol3, Do4 y Mi4, respectivamente. La caja de resonancia está destinada a amplificar el sonido, además de impedir la formación de un tono sobreagudo que acompaña al principal, consecuencia del desacoplamiento entre los armónicos del diapasón y los de la masa de aire.

El martillo también puede ser utilizado para hacer vibrar las placas de Chladni.

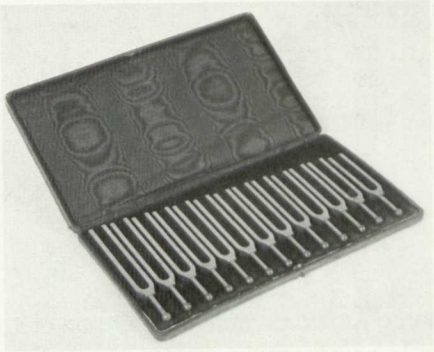


Fig. 17

7. CAJA CON TRECE DIAPASONES

Nº inv.: 95/31/670
1850-1870
20,5x36,5x4 cm
Madera, cuero, tela, acero, latón, papel
«TREIZE DIAPASONS» / «DONNANT LA GAMME TEMPEREE» / «UT3 À UT4 ETABLIE» / «SUR LE LA3 = 370 V.S. À 20º» / «LEON PINET» / «66 & 68 COURS DE VINCENNES PARIS»

Esta colección de diapasones está acordada exactamente para dar las notas de la gama temperada, también conocida como cromática, que son las comprendidas entre DO3 y DO4. Se trata de instrumentos de gran precisión, debido a que el fabricante indica la temperatura a la cual han de hallarse cuando se les utilice para calibrar otros instrumentos, 20º centígrados, con el objeto de evitar que las dilataciones del acero debidas a los cambios de temperatura afecten a la nota que emiten.

Fig. 18

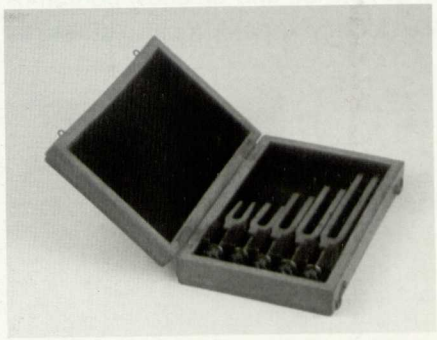


Fig. 19

8. CAJA CON CINCO DIAPASONES

Nº inv.: 95/31/665
1875-1890
17,4x26,7x5,4 cm
Madera, acero, latón
«RK»

Este conjunto de diapasones está diseñado para el estudio de los sonidos correspondientes a las vocales. Están acordados exactamente para dar las notas características de las vocales a, e, i, o, u: cuando éstas son pronunciadas por la voz humana, el aire en la boca resuena a las mismas frecuencias que estos diapasones.

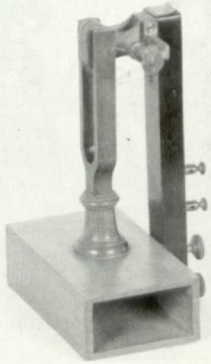


Fig. 20

9. DIAPASÓN EXCITADO ELÉCTRICAMENTE

Nº inv.: 95/31/305
1850-1870
15.2x11,2x21 cm
Madera, acero, metal, cobre, seda
«L. PINET» / « UT4» / «1024» / «V.S»

Los diapasones excitados eléctricamente empezaron a utilizarse a mediados del s. XIX, y tienen la ventaja de poder mantenerse en vibración continua. Al pasar la corriente por el electroimán, sus bornes atraen las ramas del diapasón, provo-

cando que la lámina de cobre que hay en una de ellas deje de hacer contacto. Así se abre el circuito y cesa la atracción, volviendo la lámina a hacer contacto. Estas sucesivas interrupciones de la atracción del electroimán hacen que el diapasón vibre a una frecuencia determinada de forma continua.

Fig. 21

10. ESPEJO PARABÓLICO

Nº inv.: 95/31/282
1870-1890
34x33,8x80,1 cm
Madera, latón

El fenómeno de la reflexión del sonido era conocido de antiguo, pero en el s. XIX se realizaron interesantes contribuciones a la comprensión de esta propiedad. Este espejo parabólico de latón se emplea para comprobar que el sonido puede reflejarse, al igual que lo haría la luz en un espejo metálico. Permite además comprobar experimentalmente las leyes de la reflexión del sonido, debido a que esta superficie parabólica concentra en su foco los rayos que inciden paralelos y hace que salgan paralelos los emitidos desde el foco. Por tanto, si situamos dos espejos enfrentados y con sus ejes alineados podremos comprobar que, situando el oído o una trompetilla en el foco de uno de ellos, podremos oír con nitidez el sonido emitido desde el foco del otro espejo, incluso si éste es tan débil como el tictac de un reloj

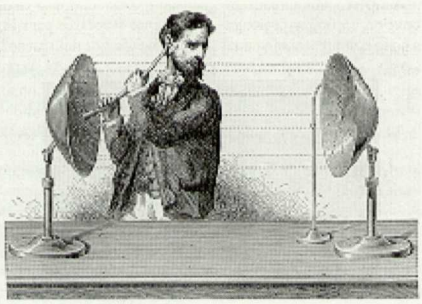


Fig. 22.- Parábolas de reflexión

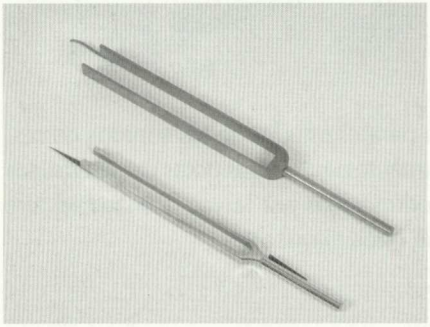


Fig. 23

11. DIAPASONES CRONOGRÁFICOS

De atrás hacia adelante, nº inv.: 95/31/668; 95/31/669
2,7x3,8x38,5 cm; 1x2,5x31,5 cm
Metal, acero
1940-1960; 1910-1930
«LEYBOLD» (95/31/668)

Los diapasones que observamos en la fotografía se emplean para visualizar vibraciones por el método gráfico. Para ello están provistos de un puntero en el extremo de una de sus ramas. Al deslizarse éste con el diapasón oscilando por una superficie ennegrecida con humo, se podrán ver en ella las huellas de las vibraciones del diapasón, que podrán estudiarse, bien contando las que tienen lugar en un determinado periodo de tiempo, bien comparándolas con las de otro diapasón de frecuencia

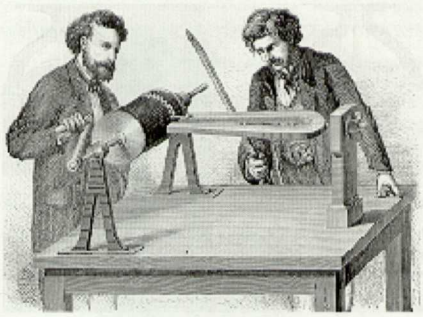


Fig. 24.- Diapasón cronográfico

conocida. Si la superficie por la que desliza el puntero está a su vez oscilando, el resultado será una composición de ambas vibraciones.

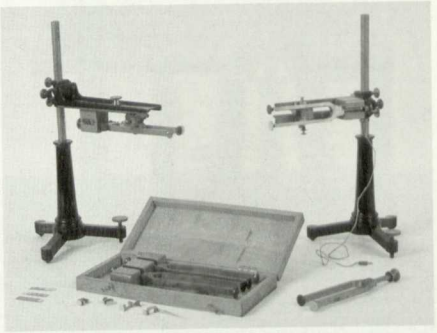
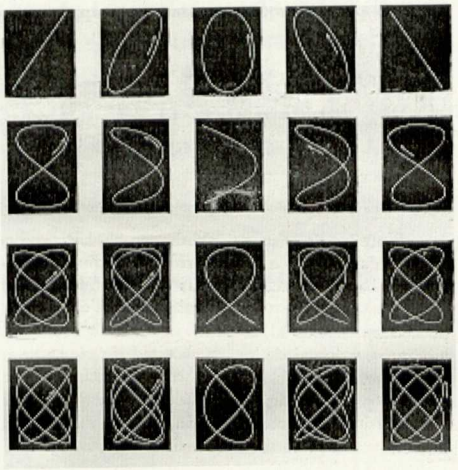


Fig. 25

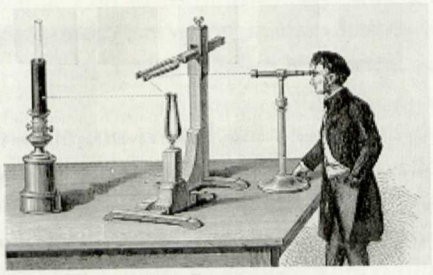
12. APARATO PARA EXPERIENCIA DE LISSAJOUS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/299, 95/31/666
1880-1910
31x44,2x70 cm; 3,5x7,6x33,2 cm
Madera, acero, latón, vidrio, tela, cobre
«MAX KOHL A.G.» / «Werkstätten für Präzisionsmechanik» / «CHEMNITZ i. Sa.»

La experiencia que permite realizar este instrumento fue diseñada por Lissajous en 1855 con el objeto de comparar las frecuencias de dos diapasones mediante un método óptico. En este periodo del s. XIX, precisamente, se buscaba establecer un estándar para las frecuencias de vibración de los diapasones. Con este instrumento podía estudiar las curvas, conocidas como figuras de Lissajous, producidas por un punto de luz reflejado sucesivamente en dos espejos situados en el extremo de los dos diapasones que se quieren analizar, y que se hallan vibrando en planos ortogonales. Estas figuras resultan de la composición de ambos movimientos, y dependen por tanto de las frecuencias, amplitudes y fases de las dos oscilaciones, por lo cual permiten su estudio.



Además, si adaptamos a una de las ramas el puntero y a la otra la placa de vidrio, estos diapasones nos permitirán estudiar la composición de sus vibraciones por el método gráfico, visto en el caso de los diapasones cronográficos, consistente en que uno de ellos marca sus oscilaciones mediante el puntero sobre la placa de vidrio ennegrecida con humo, que a su vez también se encuentra vibrando. Para esta experiencia pueden disponerse tanto perpendiculares como paralelos.



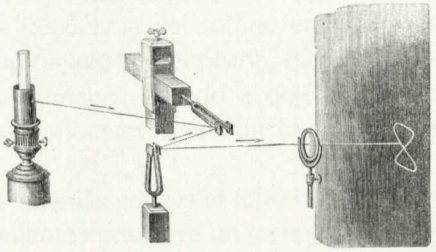


Fig. 26.- Figuras de Lissajous

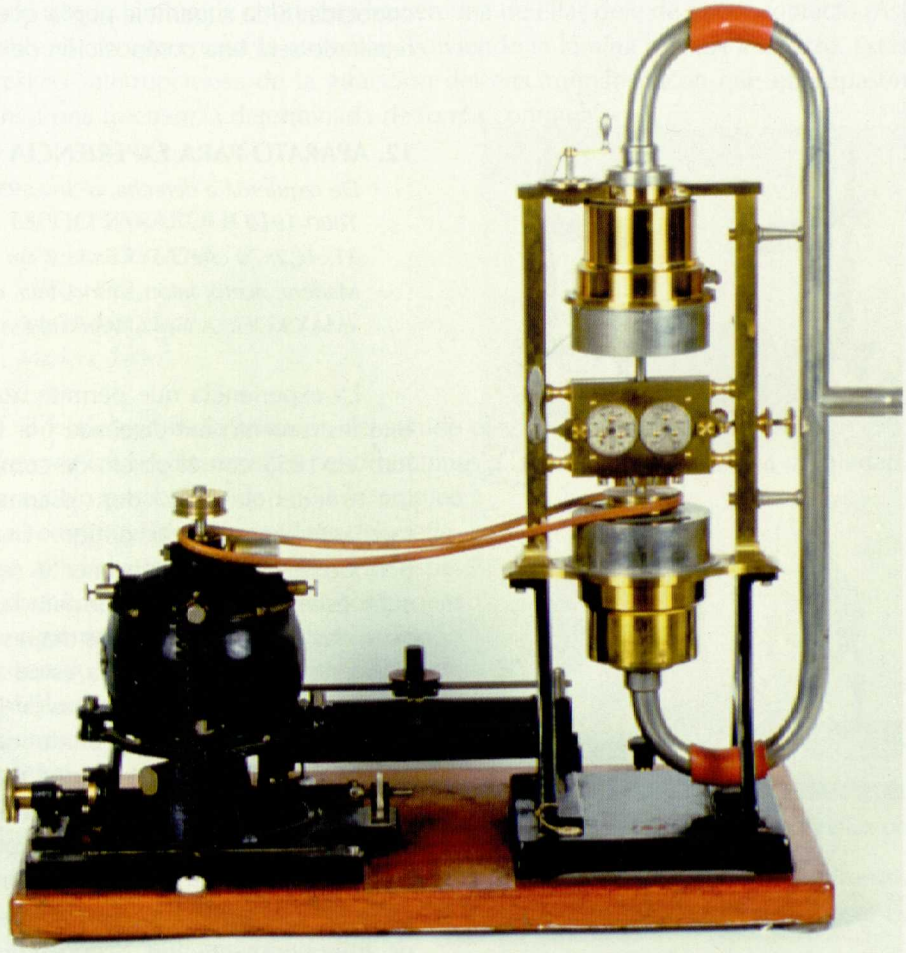


Fig. 27

13. DOBLE SIRENA DE HELMHOLTZ

Nº inv.: 95/31/298
1880-1910
30x51x55,5 cm
Metal, madera, porcelana, cable, goma, vidrio
«Max Kohl A.G. Chemnitz»

Esta sirena fue ideada por el fisiólogo, físico y matemático alemán Helmholtz, con el objeto de estudiar los sonidos simples y compuestos. Permite además obtener diferentes combinaciones de dos sonidos con acordes exactos. Consta de dos sirenas de Dove [Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879)] cuyos discos giran con velocidad variable, cada uno de ellos con cuatro círculos concéntricos provistos de un número diferente de orificios, pudiendo accionarse uno o varios. El sonido se produce cuando dichos orificios interrumpen intermitentemente la salida de una corriente de aire que se introduce por el tubo lateral. La frecuencia del sonido producido por estas vibraciones del aire dependerá del número de orificios y de la velocidad de giro del disco, y podrá medirse gracias al cuentavueltas. Si variamos mediante la manivela la posición del cilindro superior respecto del inferior podremos obtener un determinado desfase entre ellos.

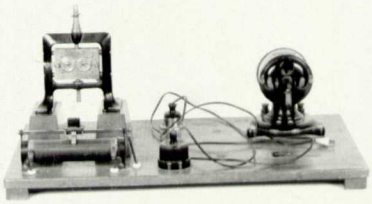


Fig. 28

Fig. 29

14. SIRENA DE HELMHOLTZ

Nº inv.: 95/31/297
1880-1910
39,5x70,2x34 cm
Latón, madera, acero, porcelana, cable, pasta
«MAX KOHL A. G. « / «WEKSTATTEN FUR PRAZISIONSMECHANIK &'» / «ELEKTROTECHNIK» / «Chemnitz i. S.»

Este instrumento, aunque no se ha podido documentar por estar incompleto, probablemente esté destinado al estudio de la dependencia de un sonido emitido con su frecuencia, que puede medirse gracias al cuentavueltas. Para ello consta de un motor y de un reostato que permite controlar su velocidad de giro, limitando el paso de corriente. El motor es el responsable del movimiento del mecanismo que fuera situado debajo del cuentavueltas, y que será el responsable de la producción del sonido. Cuanto mayor sea la velocidad de giro del motor, más agudo es el sonido emitido, cuya frecuencia leemos en el cuentavueltas.

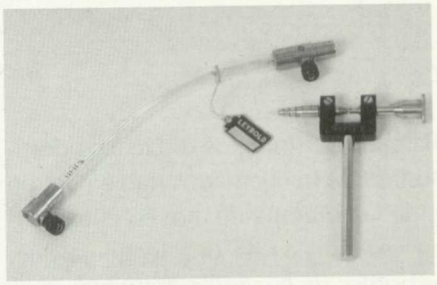


Fig. 30

15. SILBATO DE GALTON Y TUBO CON FILAMENTO INCANDESCENTE

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/529; 95/31/671
1930-1950
29,5x1,8x6,2 cm; 2,5x12,8x14,9 cm
Vidrio, metal, plástico
«LEYBOLD»

Este pequeño silbato fue diseñado en 1876 por Francis Galton (1822-1911), estudioso inglés de estadística, antropometría y fisiología experimental, para producir tonos de elevada frecuencia y para detectar la mayor frecuencia audible por hombres y animales. Consta de dos pequeños tubos, uno de los cuales posee en su interior un pistón cuya posición puede variarse mediante un tornillo micrométrico. El segundo tubo es el que recibe la corriente de aire que luego incidirá sobre el borde del primero, poniendo en vibración la masa de aire contenida en él. Al variar con el tornillo la posición del pistón estamos variando la longitud de la columna de aire, y por tanto variaremos la frecuencia del sonido emitido, que será más aguda cuando menor sea el espacio dejado por el pistón, hasta llegar a una frecuencia imperceptible para el oído humano. Debido a que el tornillo micrométrico se halla graduado, podremos conocer y medir la frecuencia de dicho sonido.

Los sonidos emitidos pueden apreciarse además gracias al tubo con filamento que aparece en la fotografía. Dicho instrumento constituye un receptor de sonido muy simple. Consta de un tubo de vidrio curvado en cuyo interior hay un filamento metálico que se pone incandescente al ser calentado por una corriente. Cuando el tubo recibe ondas sonoras, procedentes del silbato, se forman en su interior ondas estacionarias, visibles gracias a la extinción de la incandescencia en el lugar del vientre de la oscilación, apareciendo brillantes los nodos. El intervalo entre nodos es la mitad de la longitud de la onda sonora, aunque parece mayor por el calentamiento del filamento.

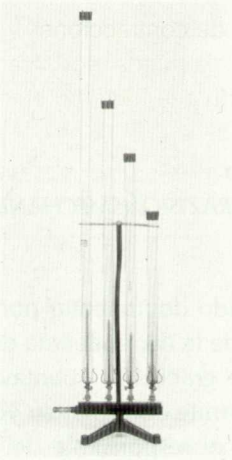


Fig. 31

16. APARATO DE LLAMAS CANTANTES

Nº inv.: 95/31/302
1890-1910
17x25,7x98,6 cm
Vidrio, latón, acero, metal

Este instrumento, conocido como de las "llamas cantantes" o la "química armónica", permite producir un sonido de una determinada frecuencia, dependiendo de las dimensiones del tubo, mediante una llama de gas que arde en su interior. Dicha llama calienta el aire allí contenido haciéndole contraerse y dilatarse, lo cual tiene como resultado la formación de una onda sonora. Además permite el análisis de los sonidos, pues si emitimos un sonido de la misma frecuencia que el producido por la llama, ésta se agitará por resonancia, permitiéndonos identificar el sonido emitido.

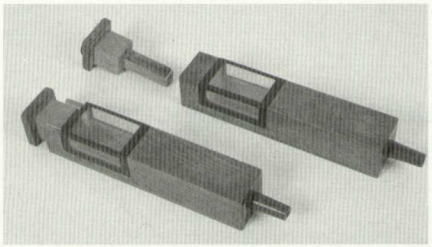


Fig. 32

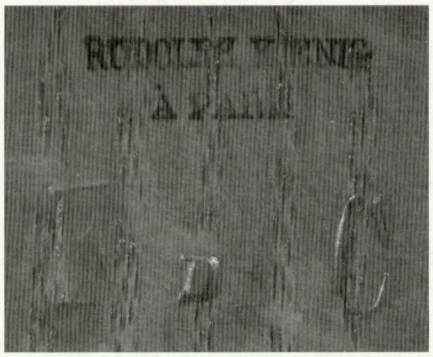


Fig. 33

17. TUBOS DE LENGÜETA BATIENTE Y LIBRE

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/294; 95/31/295
1870-1890
5,4x5,5x32,3 cm.; 5,5x5,5x32,7 cm
Madera, vidrio, latón, papel, piel
«RUDOLPH KOENIG» / «A PARIS» / «F DE C»

Los tubos que observamos en la fotografía son instrumentos didácticos destinados a mostrar cómo es posible obtener un sonido de frecuencia variable (Do, en el caso del segundo) mediante las vibraciones de la columna de aire en ellos contenida. Estas vibraciones son provocadas a su vez por las de una lengüeta que, como el nombre indica, en un caso golpea los bordes de la canilla (batiente), y en el otro oscila libremente (libre), y que es visible gracias a las ventanas laterales. Cuando introducimos en la boca del tubo una fuerte corriente de aire, generalmente mediante un fuelle, la lengüeta, debido a su elasticidad, interrumpirá alternativa y momentáneamente el paso del aire. Estas intermitencias se producen sucesivamente provocando una serie de compresiones y dilataciones de la columna de aire que, al sucederse muy rápidamente, se traducen en una onda sonora. La frecuencia de este sonido puede variarse modificando mediante una varilla la longitud vibrante de la lengüeta.

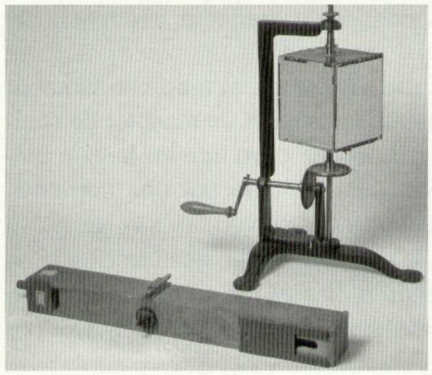


Fig. 34

18. TUBO MANOMÉTRICO Y ESPEJO GIRATORIO PARA ANÁLISIS DE SONIDOS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/293; 95/31/292
1870-1890
12,8x8x65 cm; 34x49,5x55,5 cm
Vidrio, madera, latón, acero, papel

Este conjunto de instrumentos se empleaba en los gabinetes para comparar ópticamente las vibraciones de dos columnas de aire mediante el uso de llamas manométricas, método introducido en la segunda mitad del s. XIX por Koenig. Para ello se adapta este tubo junto con otro similar en el secreto de un fuelle, y se conectan a una salida de gas. Las interrupciones que se producen cuando el aire

sale por la boca del tubo provocan una serie de contracciones y dilataciones que se traducen en una onda sonora, cuya frecuencia puede modificarse gracias al diafragma situado en la parte superior, que modifica la longitud efectiva del tubo.

La forma de comparar las ondas sonoras de varios tubos es empleando un gas que, mediante una membrana, es sensible a las variaciones de presión de la columna de aire en el interior del tubo. Al arder el gas en el exterior, su comportamiento nos informará del tipo de onda que se forma en el interior. Cuando la llama aparece parpadeando, es indicio de que en el lugar en el que está situada la cápsula manométrica tenemos un vientre (punto en el que hay vibración), cuando no se agita, tendremos un nodo (punto que no vibra). Estos parpadeos podrán observarse más fácilmente si se coloca el tubo frente al espejo. Cuando hagamos girar a este último, observaremos en él una banda continua cuyos bordes serán paralelos, si la llama no vibra, o dentados, si vibra. La separación de estos dientes nos da información sobre la frecuencia de la vibración.

Fig. 35

19. DISCO DE CROVA PARA PROYECCIÓN DE ONDAS

Nº inv.: 95/31/458
1950-1965
12x20x20,9 cm
Madera, vidrio, metal, tela
«OFFICINE» / «GALILEO»/ «FIRENZE»
«Delegación para España» / «Marq. Valdeiglesias 8» / «MADRID - Tel. 214498»

Fig. 36

Este instrumento didáctico permite simular diferentes tipos de movimientos armónicos, que se observarán al hacer girar el disco y mirar a través de la rendija, o al proyectar la imagen en movimiento en una pantalla mediante una linterna. Algunos de los diferentes fenómenos que representan los discos son: la reflexión de una onda producida por un choque simple en un tubo cerrado; la propagación de vibraciones longitudinales y el primer armónico del fundamental producido en un tubo cerrado en un extremo. La placa rectangular muestra la reflexión de una onda aislada en un tubo. El físico francés que da nombre a este disco, André Prosper Crova (1833-1907), publicó su descripción en 1867 con el título *Description d'un appareil pour la proyection mécanique des mouvements vibratoires.*

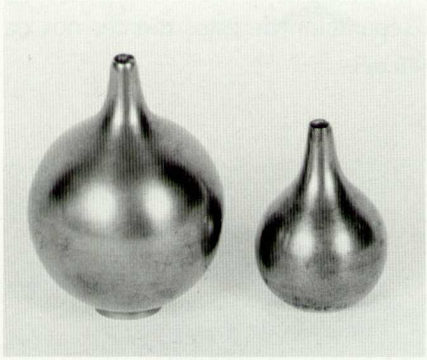


Fig. 37

20. RESONADORES DE HELMHOLTZ

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/284; 95/31/283
1865-1885
Dm. 4,7x6,4 cm; dm. 3,2x4,5 cm
Latón
«RK»

El resonador fue diseñado por Helmholtz a mediados del s. XIX, en el marco de sus estudios de la fisiología del sonido, con el objeto de aislar y analizar ciertos sonidos, especialmente armónicos, que se presentan como ruido de fondo acompañando a otros sonidos fundamentales y constituyendo lo que conocemos como timbre. Su volumen y las dimensiones del cuello determinan que la columna de aire contenida en su interior vibre únicamente a una frecuencia determinada, de modo que, aplicado en su parte cónica al oído, permite oír perfectamente el tono fundamental para que el resonador está acordado, que es el único que se verá reforzado.

Este tipo de instrumento ayudó a Helmholtz a comprobar su teoría de la resonancia en la audición y a analizar los sonidos de las vocales en el habla humana. Para sus experimentos fisiológicos construyó una serie de resonadores él mismo y, posteriormente se los encargó al fabricante de instrumentos Koenig, que es el autor de los que vemos en la fotografía.

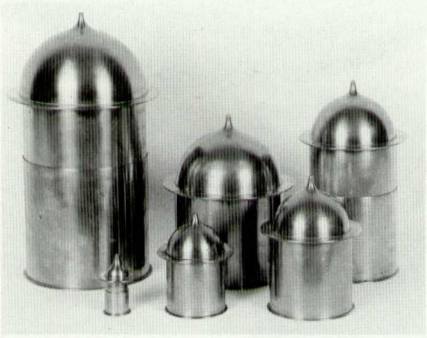


Fig. 38

21. RESONADORES DE KOENIG

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/285; 95/31/287; 95/31/291; 95/31/289; 95/31/288; 95/31/290;
1865-1885
Dm. 22,3x29,1; dm. 5,5x6,7 cm; dm. 10,4x14,2 cm; dm. 16,6x21 cm; dm. 14x18,8 cm; dm. 18,8x23 cm;
Latón
«RK»

El fabricante de instrumentos Koenig, autor de los resonadores que acabamos de ver, no se limitó a fabricar los resonadores diseñados por Helmholtz, sino que además introdujo sus propias modificaciones en el diseño inicial, dando lugar a estos modelos extensibles, fabricados por él mismo. Estos resonadores, al permitir la variación del volumen de aire contenido en su interior, permiten aislar diversos

armónicos, los que vienen indicados en los laterales del cilindro superior de cada uno de ellos, y que son los siguientes: de SOL1 a SI1 (SI1, LA#1, LA1, SOL#1, SOL1); de SOL#4 a UT5 (UT5, SI4, LA#4, LA4, SOL#4); de FA#2 a LA2 (LA2, SOL#2, SOL2, FA#2); de RE#2 a FA#2 (FA#2, FA2, MI2, RE#2); de SI1 a RE#2 (RE#2, RE2, UT#2, UT2, SI1) y de UT3 a MI3 (MI3, RE#3, RE3, UT#3, UT3), respectivamente.

Además de poder analizar la presencia de los diferentes armónicos, adaptándolos a nuestro propio oído, podemos estudiarlos conectando el resonador a una llama manométrica, que parpadeará cuando éste aísle el armónico para el que está acordado. Los parpadeos podrán observarse más fácilmente gracias a un espejo giratorio.

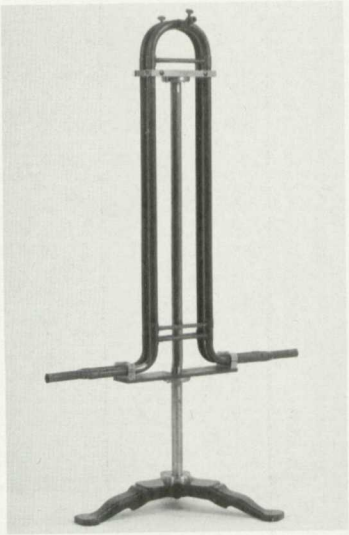


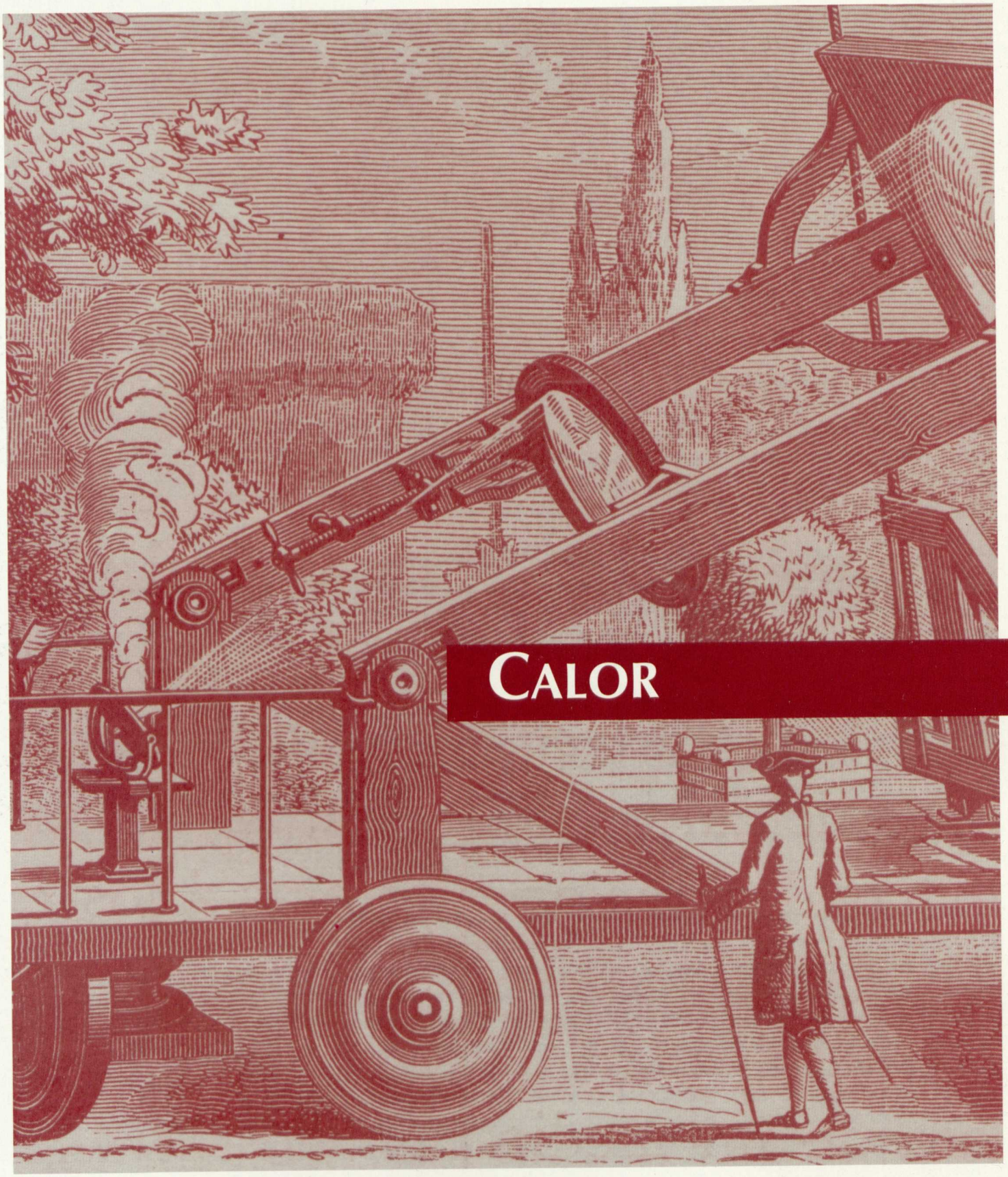
Fig. 39

22. APARATO DE KOENIG PARA INTERFERENCIAS DE SONIDO

Nº inv.: 95/31/781
1875-1900
44x31x75,9 cm
Acero, metal, latón
«RUDOLPH KOENIG» / «A PARIS»

Las interferencias de ondas son fenómenos que tienen lugar cuando dos ondas, de igual o diferente frecuencia (en cuyo caso el fenómeno es más complejo), se encuentran en un mismo punto del espacio, pudiendo suceder que se intensifique el sonido, que se debilite o que se anule. Este instrumento, ideado por el físico alemán Quincke en 1866 y descrito por Koenig en 1872, fabricante de este modelo, se emplea para producir interferencias entre dos ondas sonoras de igual frecuencia y analizarlas, pudiendo determinarse su longitud de onda, aunque con poca exactitud.

Para realizar la experiencia se adapta en un extremo de los tubos un resonador, que aislará el sonido procedente de un diapasón; en el otro extremo se adapta una cápsula manométrica, que pondrá en contacto el sonido resultante de la interferencia con la llama de un gas, que al arder mostrará las variaciones en dicho sonido. En principio por los dos tubos viaja el mismo sonido, pero si deslizamos uno de ellos, el camino que recorrerán será diferente, y diferente también el resultado de su combinación. Cuando los tubos tienen igual longitud, las vibraciones están en fase y la llama se moverá agitadamente. Si uno de los tubos se alarga de modo que la diferencia entre ambos sea la mitad de un múltiplo impar de la longitud de onda correspondiente al diapasón, distancia que puede medirse gracias a la escala de la barra de acero, las ondas sonoras llegarán en oposición de fase, anulándose las vibraciones de la llama, que pueden observarse fácilmente en un espejo giratorio.



CALOR

MATERIA O MOVIMIENTO: NOTAS SOBRE LA HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DE LA NATURALEZA DEL CALOR

Mª Ángeles del Egido Rodríguez

La Termología es una de las áreas científicas que más ha tardado en constituirse como ciencia matemática. No obstante, existen tradicionalmente en la ciencia occidental marcos teóricos en los que se definen las diversas experiencias que permiten avanzar en el conocimiento de la naturaleza del calor.

La filosofía de la naturaleza de Aristóteles que describía el calor como una cualidad primaria, se constituyó como referente primordial para la Edad Media y sirvió de punto de partida para los protagonistas de la Revolución Científica del XVII. Estos científicos, partidarios de la filosofía corpuscular, reinterpretaron la naturaleza del calor desde dos posibles puntos de vista.

Por una parte, muchos filósofos naturales sostenían que el calor es un tipo de movimiento, el movimiento de las partes constituyentes del propio cuerpo que manifiesta la sensación del calor. Esta es la teoría cinética o puramente mecánica, según la cual no existe una sustancia específica del calor, como fluidos o corpúsculos ígneos, que expliquen los procesos de variación del grado de calor que manifiesta un cuerpo. En esta corriente se hallan Isaac Newton (1642-1727), Christiaan Huygens y Daniel Bernouilli. Esta corriente fue la dominante durante el s. XVII y principios del XVIII.

Por otra, están aquellos que consideraban que el calor es el movimiento de las partes de un tipo concreto de sustancia material, en ocasiones denominada calórico, presente en el cuerpo que manifiesta ese aumento de grado de calor. Esta segunda teoría, aunque dota a las partículas de calor de propiedades mecánicas que son muy importantes para explicar los efectos que causan sobre la materia, afirma la existencia de corpúsculos, átomos o "espíritus" cuya presencia o ausencia en la estructura material de un cuerpo provoca el aumento o disminución del grado de calor. Esta es la corriente denominada sustancialista, de la que es destacado representante Gassendi, quien sostiene la existencia de átomos de calor puntiagudos a cuya presencia y forma se debe el calentamiento de los cuerpos. Esta teoría gozó de amplio predicamento en la segunda mitad del XVIII, fundamen-

talmente por Hermann Boerhaave (1668-1738), Johann Carl Wilcke (1732-1779) y Joseph Black (1728-1779).

Los sucesivos intentos de defensa y demostración de una u otra teoría condicionarán los diferentes diseños de instrumentos científicos que conforman las colecciones de los gabinetes del s. XIX como el que aquí se presenta, contribuirán de forma determinante a la investigación experimental del calor y propiciarán el nacimiento de la Termología.

El inicio de la termometría

En los siglos XVI y XVII ciencias como la astronomía y la ciencia del calor se hallan en planos distintos: el cuerpo teórico y la cantidad de datos obtenidos por complejas técnicas de la primera, contrasta con la falta de teoría alguna, de tradición estructurada y de lenguaje común, y con la acumulación de conocimientos dispersos basados en la práctica artesanal, de la segunda.

Fruto de esta orientación experimental es la aparición progresiva en mayor número e importancia de instrumentos científicos. Entre ellos, para el estudio del calor, los termoscopios de líquido, primer intento de hallar una medida del grado de calor de un cuerpo. Los termoscopios son descritos en la *Pneumática* de Herón de Alejandría en el s. I a.C., obra clásica retomada y traducida en 1575. Estos instrumentos carecían de escala pues fueron diseñados como demostración de la dilatación de un gas en el interior de un bulbo de vidrio cuando es sometido a calentamiento. Basándose en esta misma propiedad, pero ya con una cierta orientación de uso como instrumento comparativo, pueden citarse los termoscopios de Galileo, Sanctorius (1561-1636), Cornelius Drebbel (1572-1633), Robert Fludd (1574-1637), Athanasius Kircher (c. 1601-1680) y Otto von Guericke entre otros.

Dentro de los estudios sobre el calor que emprendió Galileo, se encuentra el diseño en 1597 de un termoscopio que consistía en un bulbo lleno de aire, prolongado en un fino tubo, cuyo extremo abierto se introducía en un recipiente con agua. Si bien el aumento de temperatura provocaba la dilatación del aire del bulbo, y, por tanto, el aumento del nivel del agua del recipiente, este aumento también dependía de la presión atmosférica. De diseño parecido al galileano, construyeron termoscopios: el médico Sanctorius, casi simultáneamente a Galileo, con el objeto de medir el grado de calor de sus pacientes[1]; Drebbel, a cuyo termoscopio posteriormente, en 1636, Kaspar Enns dedica un capítulo de su libro *El taumaturgo matemático,* donde describe por primera vez una escala de 8 grados y aparece por primera vez la palabra "termómetro"; Otto von Guericke, constituido por una esfera de latón comunicada con un tubo en forma de U con alcohol, y en el que el origen de la escala fue tomado como la temperatura registrada en las primeras heladas.

Los primeros termómetros de líquido empiezan a utilizarse hacia 1641, y consisten en un bulbo lleno de agua o espíritu de vino (alcohol diluido) coloreado con el que comunica un fino tubo de vidrio con muescas, sellado en el extremo para

[1] El aspecto fisiológico del calor también aparece recogido en la ciencia clásica, pues fue temprana la constatación de la relación entre la salud y el grado de calor del cuerpo. De hecho, fueron los antiguos médicos los primeros en reconocer la importancia de una escala comparativa de grados de calor. Claudio Galeno (c. 131- c. 210), en el s. II, había observado que la modificación del grado de calor es uno de los medios para la sanación, por lo que clasificó las medicinas según el grado de calor, frío, humedad y sequedad. De acuerdo con esto, estableció una escala de doce grados de la acción térmica en la que recogía diferentes mezclas de medicinas y a cada una atribuía uno de estos grados.

evitar la influencia de la variación de la presión atmosférica. Con este diseño se construyeron en la *Accademia del Cimento* de Florencia, bajo la protección del gran duque de Toscana Fernando II, aunque el retraso de sus publicaciones hasta 1667, lo mantiene al margen de la producción de instrumentos de la época. En estos termómetros la escala era variable de unos instrumentos a otros, no así la dimensión del bulbo y el tubo, por lo que se podían comparar los resultados obtenidos con cada uno de ellos por medio de tablas. Desde entonces, se han seguido construyendo modelos de termómetros de aire, como instrumentos didácticos.

Otros intentos de establecer un punto fijo en el termómetro se deben al holandés Christiaan Huygens, quien eligió como punto de referencia el grado de calor del agua en ebullición, o a Newton, quién describió una escala termométrica dividida en doce grados, siendo el punto inferior el de congelación del agua y el superior, el grado de calor de un hombre sano.

A pesar de estos intentos de establecer puntos fijos en la escala termométrica, ninguno llega a establecerse con éxito en el s. XVII, lo que contribuye a que la fabricación de termómetros y la posibilidad de comparar sus resultados siga siendo escasa. No obstante, la termometría se constituye como el primer acercamiento importante en los que al estudio del calor se refiere.

A principios del s. XVIII, la termometría vive un importante impulso con el establecimiento de las primeras escalas: en 1714 la de Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) y en 1731 la de René-Antoine F. de Réaumur (1683-1757). Si bien cabe destacar los trabajos de Guillaume Amontons (1663-1705)[2] en la construcción de un termómetro con dos puntos fijos y completamente sellado, todavía el método de la división de la escala no permite comparaciones precisas entre diferentes termómetros. Los grados de la escala de Fahrenheit[3] fueron determinados considerando las propiedades de dilatación del mercurio[4], y considerando cuatro puntos fijos, la temperatura del severo invierno de 1709, imitada con una mezcla de hielo, sal común y cloruro amónico; la del hielo fundente, que correspondía a 32°C, la del cuerpo humano que correspondía a 98°C, y el de ebullición del agua, 212°C. Réaumur[5], por su parte, utilizó alcohol, y como puntos fijos, la de congelación del agua, y la capaz de soportar el termómetro de alcohol en agua hirviendo, sin hervir él mismo. Otra tercera escala fue propuesta en 1742 por el físico sueco Anders Celsius (1701-1744), que tras un intento de invertir el orden creciente de la graduación, quedó establecida como la que conocemos actualmente.

A partir del primer cuarto del XVIII, empiezan a fabricarse los termómetros de forma habitual en los talleres de instrumentos científicos, que, salvo indicación específica del que lo encarga, se fabrican con escalas Fahrenheit y Réaumur, lo que no impide que hasta finales de siglo, pervivan otros modelos con puntos fijos y fluidos diferentes, de modo que la comparación entre las medidas tomadas era arbitraria.

La propiedad en la que se basaban los termómetros para su funcionamiento, la dilatación, continuó siendo objeto de estudio durante el XVIII y principios del XIX. Wilhem Jacob 'sGravesande (1688-1742) diseña un innovador instrumento sencillo e ilustrador de la dilatación de los metales al construir un anillo por cuyo interior pasaba ajustadamente una esfera, ambos metálicos. Colocando un meche-

[2] Amontons, G. "Discours sur quelques propriétés de l'air, et le moyen d'en connoître la temperature dans tous les climats de la terre", *Hist. Acad. Sci.*, 1702, p. 3.

[3] Fahrenheit, *Phil. Trans.*, vol. 33, 1724, pp. 78–79.

[4] Amontons, en su termómetro de aire, ya había utilizado el mercurio como líquido termométrico. Sus experimentos y estudios de las propiedades del aire en que se basan sus termómetros, en Sellés, M, "La ley de Amontons y las indagaciones sobre el aire", *Asclepio*, vol XLVII-1, 1995, pp. 53-80.

[5] Réaumur, "Règles pour construire des thermomètres", *Mém. Ac. Sc.*, 1730, p. 452.

ro bajo la esfera, podía observarse que tras el calentamiento de ésta, su diámetro había aumentado pues ya no le era posible volver a atravesar el anillo. Esta demostración ha sido habitual en todos los gabinetes de física experimental desde el XVIII hasta nuestros días. En esta misma propiedad se basaba el dilatómetro diseñado por Pieter van Musschenbroek (1692-1761), esta vez para medir la dilatación de varillas de diferentes metales, y de este modo, comparar sus coeficientes de dilatación lineal, valor muy importante a la hora de construir relojes de péndulo cuya isocronía se veía seriamente perjudicada, y con ello la exactitud de la medida particularmente importante en los péndulos astronómicos, al variar con los cambios de temperatura la longitud de las varillas. Entre los estudios de dilatación de fluidos, cabe destacar el realizado en torno al más importante fluido usado en termometría: el mercurio. La Academia de Ciencias de París propuso en 1818 un premio para la determinación de la dilatación de un termómetro de mercurio en comparación con uno de aire, entre -20ºC y +200ºC. Los franceses Pierre Louis Dulong y Alexis Thérèse Petit (1791-1820) propusieron una innovadora solución al problema al proponer un experimento mediante el cual podía medirse el coeficiente absoluto de expansión del mercurio, que se convirtió en método estándar para la medición de este coeficiente en todo tipo de líquidos, que junto con otros experimentos relativos a las propiedades de la refrigeración en el vacío, les hizo acreedores de dicho premio de la Academia.

Una vez obtenida la posibilidad de medir la temperatura, los trabajos continuaron en la dirección de comprender la naturaleza del calor y la diferencia entre calor y temperatura.

La naturaleza del calor e investigaciones experimentales en los ss. XVIII y XIX

Una de las inquietantes dudas acerca de la naturaleza del calor en relación a la temperatura era ya conocida por los académicos florentinos, quienes recogieron en 1641, en el diario de la *Accademia del Cimento* un inesperado resultado: cantidades iguales de líquidos distintos, a la misma temperatura, no funden la misma cantidad de hielo. Por tanto, el grado de calor era igual, pero no así la cantidad de calor. La solución a este dilema fue aportada por el químico escocés Joseph Black, tras realizar el siguiente experimento en un calorímetro ideado por él: una mezcla de pesos iguales de agua a diferente temperatura da como resultado la temperatura media; sin embargo, cuando se agrega agua a una cantidad de hielo, la temperatura de la mezcla no es la media de las dos, sino que se mantiene en 0ºC. De esta manera, Black dedujo en 1760 la existencia del calor latente, definido como la cantidad de calor intercambiada en los procesos de cambio de estado, a temperatura constante, y diferente del calor necesario para elevar un grado centígrado la temperatura de una unidad de masa de agua, que denominó capacidad calorífica. Además, esta capacidad presente en cada sustancia resultaba diferente, por lo que Black, e independientemente, Wilcke, la definieron como el calor específico de los cuerpos. La definición de calor latente supuso un importante espaldarazo a los partidarios de la teoría sustancial, al permitir explicar los procesos de cambio

de estado como semejantes a reacciones químicas con intercambio material de una sustancia del calor, y por ello, no detectable con el termómetro. Ya en el s. XIX, los franceses Dulong y Petit descubrieron la dependencia entre los calores específicos y los pesos atómicos de las sustancias elementales. Pierre Antoine Favre (1813-1880), por su parte, empezó hacia 1853 a utilizar el término 'caloría' como unidad de medida del calor, y junto con otro físico francés, Johann T. Silbermann (1806-1865), diseñó el calorímetro de mercurio, para medir los calores de combustión y de formación de un gran número de compuestos.

Los resultados de Black fueron aplicados por James Watt (1736-1819), ingeniero en la misma universidad de Glasgow donde trabajaba Black, a la ya conocida bomba de vapor[6] de Denis Papin (1647-1712) y la máquina de Thomas Newcomen (1663-1729). Papin trabajó como asistente de Huygens y Robert Boyle (1627-1691), destacando siempre por la búsqueda de aplicaciones concretas a sus resultados experimentales. Fue en el laboratorio de Boyle donde, en 1680, Papin inventa una marmita a la que denomina máquina digestora, que es en realidad una gran olla cerrada, que sometida a altas temperaturas, podía ser aplicada a disolver sólidos, en particular, para hacer sopa más nutritiva cociendo huesos[7]. Además de ser la precursora de nuestras ollas a presión domésticas y los autoclaves de uso en laboratorios, su trascendencia en lo que se refiere a las máquinas de vapor se debe a la incorporación de una válvula de seguridad, que es un contrapeso que tapa un orificio: cuando la presión en el interior de la olla es mayor que el contrapeso, el orificio se destapa. Respecto a la de Newcomen, su funcionamiento se basaba en la expansión del vapor que provocaba el movimiento de un pistón y su posterior inyección de agua fría, lo que provocaba un movimiento de vaivén que impulsaba un vástago al que iba unido un balancín. Por ello, su funcionamiento implicaba un gran desperdicio de energía, que Watt se propuso remediar al agregar un condensador para absorber el calor latente, revestir el pistón de madera y un regulador centrífugo.

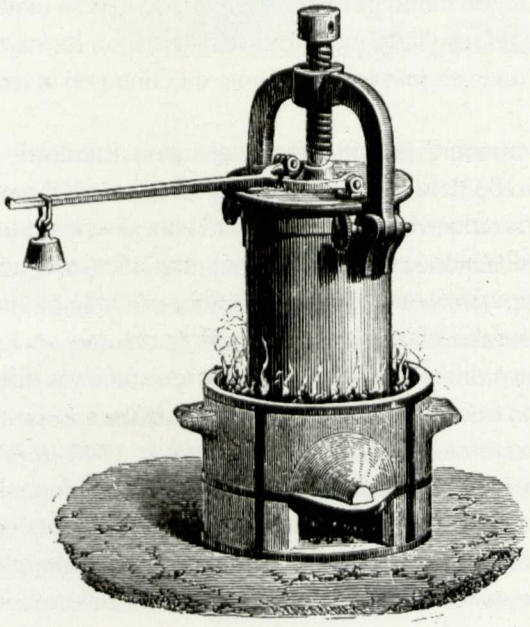


Fig. 40.- Marmita de Papin

[6] A pesar de que la bibliografía habitual cita a Papin como inventor de la máquina de vapor, su diseño corresponde en realidad a una bomba de succión de agua en las minas que funciona por las propiedades elásticas del vapor de agua. Y tampoco es el primero en diseñar una máquina de este tipo, sino que ya en 1606 Jerónimo de Ayanz, ingeniero al servicio de Felipe III, obtiene la patente de una máquina de semejantes características. Ver García Tapia, N. *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*. Madrid: Oficina de Patentes y marcas, Ministerio de Industria y Energía. 1994.

[7] Papin, D. *A New Digester or Engine for Softening Bones*. Londres. 1681.

Durante el s. XVIII es ampliamente aceptada la naturaleza material del calor, cuya sustancia se denomina 'calórico'. Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) defendió la tesis del calórico como elemento químico, y propuso una nueva teoría de la combustión basada en el rechazo a la establecida teoría del flogisto[8] y la participación de un nuevo gas, el oxígeno. Entre 1776 y 1783, Laplace y Lavoisier investigan modos de cuantificación del calor con un programa experimental unido a la aplicación de la física matemática que fructifican con los primeros resultados calorimétricos, y por tanto, la posibilidad de medir el calor que interviene en una reacción química, la teoría del calórico y el descubrimiento de la descomposición del agua. Laplace defendía la unificación entre la mecánica y los fenómenos relativos al calor, a la luz y a la electricidad, separados en distintas ramas de la física, por la teoría de las fuerzas intermoleculares, aplicables a todos estos denominados fluidos imponderables. La mecánica laplaciana ofrecía de este modo un programa unificado para la física, muy influyente en su método en los científicos franceses del s. XIX, y de gran relevancia en lo que se refiere al ideal de unificación para el futuro de la investigación física.

Simultáneamente, en Gran Bretaña se rechazaba la teoría de los fluidos imponderables, y por tanto del calórico, para optar por una explicación mecánica basada en la existencia de un medio propagador de los fenómenos, el éter ambiente. Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814), coronel del ejército inglés, y casado con la viuda de Lavoisier, dedicó los últimos años de su vida al estudio del calor. La observación de la enorme cantidad de calor que desarrolla el barrenamiento de los tubos de los cañones, calor generado por fricción, le sirvió de apoyo experimental contra la naturaleza sustancial del calor. Partiendo de que la fricción no puede generar una sustancia del calor, Rumford concluyó que los efectos del calor eran resultado de la interacción entre el movimiento de las partículas del cuerpo y las vibraciones del éter. Para apoyar su tesis, realizó una serie de experimentos para medir la propagación del calor en el vacío, introduciendo un termómetro en una máquina de vacío, de modo que si éste era una sustancia material, en el vacío no podía detectarse. El resultado fue que sí se detectaban los cambios de temperatura, lo que supuso una vez más un argumento en contra de la teoría material del calor.

También para sus experimentos sobre la naturaleza del calor, Rumford, y simultáneamente, John Leslie (1766-1832), idearon un termómetro diferencial para la medida de variaciones de grado de calor muy pequeñas. Para ello, diseñaron un instrumento basado en la unión de dos bulbos de vidrio, semejantes a los antiguos termoscopios. El aumento de la temperatura en uno de los bulbos dilataba el aire que contenía de manera que desplazaba el alcohol coloreado contenido en los tubos capilares que los unían. La única diferencia entre estos dos termómetros diferenciales es la situación de la escala: horizontal en el de Rumford, y vertical en el de Leslie. Con una intención menos teórica y más práctica, ideó en 1782 Josiah Wedgood (1730-1795) el pirómetro, instrumento destinado a medir altas temperaturas mediante la dilatación de un cuerpo sólido. La medida de la temperatura en los hornos de cerámica no era posible con los termómetros habituales, por lo que Wedgood ideó un sistema en el que se colocaban, en unas ranuras metálicas con

[8] El flogisto, propuesto por Stahl en 1703, era considerado un fluido o 'espíritu', de gran ligereza, componente de los cuerpos combustibles que se libera cuando éstos se queman.

escala, piezas cilíndricas de arcilla. Tras ser sometidas al calor del horno, se medía la variación de su tamaño en la escala del pirómetro, que por medio de la equivalencia ofrecida por unas tablas, permitía obtener la temperatura a la que había estado sometida la arcilla.

Partidario de la teoría de Rumford se mostró Humphry Davy (1778-1829), quién en 1799 demostró que el frotamiento entre dos trozos de hielo producía una aumento de su temperatura de -2ºC a 2ºC, por lo que el calor específico no podía ser el responsable de este aumento, tal como argüían los defensores de la tesis sustancial. Otra de las conclusiones de Rumford, la no conductibilidad de los fluidos, fue demostrada errónea por César Despretz (1792-1863) en 1833, al probar que una columna de agua conduce calor igual que una de metal. Otro destacable científico defensor de la tesis mecánica del calor fue John Tyndall (1820-1893), quien ideó un experimento mediante el cual se ilustraba la transformación de movimiento en calor al frotar con velocidad adecuada un recipiente que contiene un fluido que, al calentarse, se expande[9].

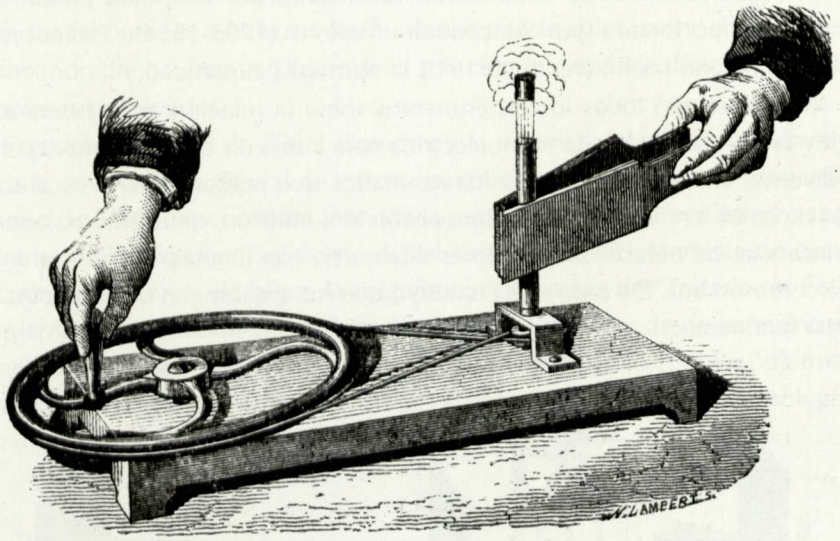


Fig. 41.- Aparato de Tyndall

El último de los grandes descubrimientos sobre el calor realizados a fines del s. XVIII se refiere a la relación entre luz y calor. Desde la Antigüedad se habían estudiado como fenómenos separados, pero Mersenne demostró que los rayos caloricos y luminosos obedecen la misma ley de reflexión; Johann H. Lambert (1728-1777) en su obra sobre pirometría, publicada a título póstumo en 1779, demostró que ambos se propagan en línea recta obedeciendo una ley de intensidad que decrece con el cuadrado de la distancia; William Herschel (1738-1810) observó la diferencia de temperaturas de los colores del espectro solar, y descubrió en 1800 la radiación infrarroja al medir más allá del rojo un ligero aumento de temperatura, de donde dedujo la analogía entre calor radiante y luz. Basándose en estos resultado, Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) buscó rayos más allá del otro extremo del espectro, el violeta, descubriendo en 1801 los rayos ultravioletas, que ennegrecían más rápidamente el cloruro de plata.

9 Tyndall, J. *Heat considered as a Mode of Motion*. Londres. 1863.

La analogía entre calor radiante y luz que se deduce de todos estos experimentos fue interpretada por Thomas Young (1773-1829), quién en contra de la teoría del calórico, defendió que ambos fenómenos puede explicarse como vibraciones del éter interpretadas como ondas que se propagan en este medio. Por otra parte, Leslie, reúne una serie de experimentos sobre las propiedades del calor radiante, con los que demuestra la igualdad entre poder de emisión y absorción de una superficie, la relación entre la intensidad del calor irradiado y el seno del ángulo que forman los rayos, y la proporcionalidad inversa entre el grado de reflectividad de la superficie con el poder de emisión. Al mismo tiempo que se realizaban estos experimentos sobre luz y calor Thomas Johann Seebeck (1770-1831) ideaba un instrumento basado en el efecto termoeléctrico: entre dos metales soldados de diferentes conductibilidades térmicas, como el bismuto y el antimonio, se origina una pequeña corriente eléctrica proporcional al calor aplicado en la soldadura. Si se unen series de estos metales y se ponen en presencia de una fuente de calor, la temperatura de ésta puede leerse en una escala de galvanómetro. El instrumento que reunía estas condiciones fue ideado por Leopoldo Nobili (1787-1835) y perfeccionado por Macedonio Melloni (1798-1854). Posteriormente, Willem Jan Henri Moll inventó en 1913 la termopila superficial.

Melloni reunió todos los experimentos sobre la relación entre luz radiante y calor y la utilidad de la pila termoeléctrica para construir un banco de experimentos diversos en los que ilustraba los resultados que podían obtenerse al someter rayos de calor a reflexión, refracción, absorción, emisión, difusión y polarización, en sustancias de naturalezas y colores diferentes, con fuentes de calor tanto luminoso como oscuro. De todo ello concluyó que luz y calor son dos aspectos de un mismo fenómeno.

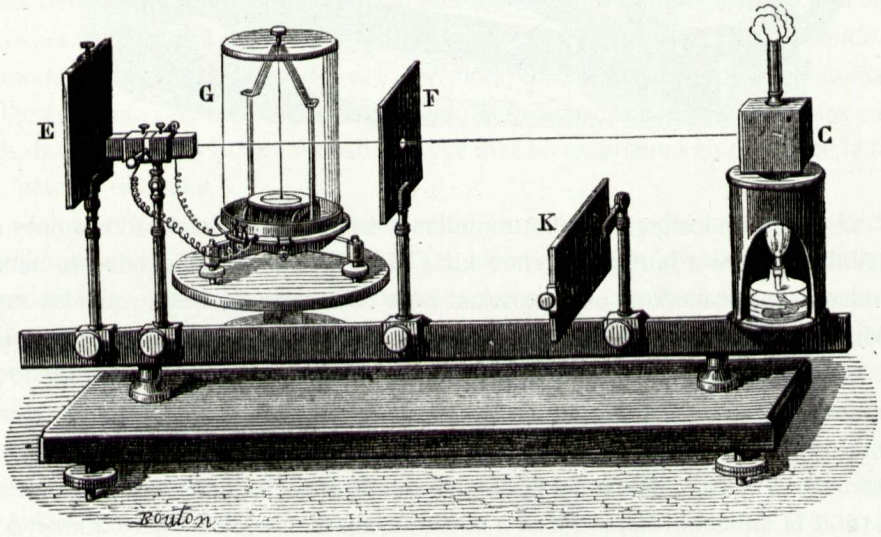


Fig. 42.- Banco de Melloni

Sadi Carnot (1796-1832) establece la relación entre calor y energía mecánica en el año 1824, basándose en el funcionamiento de una máquina de vapor. Partiendo del funcionamiento de una máquina térmica ideal, con sus ciclos de

compresión y expansión, establece la segunda ley de la termodinámica, y con ello da inicio a una nueva disciplina que se consolidará a mediados del s. XIX con el hallazgo y cuantificación del equivalente mecánico del calor y de un conjunto de leyes matemáticas que convierten en regular y predecible lo que hasta ese momento era un conjunto de resultados experimentales inconexos.

El término 'energía', utilizado por primera vez por Young en relación a la capacidad de trabajo de un cuerpo en movimiento, se consolida en el lenguaje de la física, especialmente a través de los experimentos de James P. Joule (1818-1889). Su diseño en 1847 de un calorímetro dotado de unas paletas giratorias que transformaban su movimiento giratorio en calor transmitido al medio acuoso en el que se hallaban, fácilmente detectable con un termómetro, supuso el espaldarazo final a la teoría cinética del calor en detrimento de la material.

En conclusión, la primera mitad del XIX sigue dominada por la consideración sustancial del fuego, la teoría del 'calórico' antes citada, aunque aumentan progresivamente los argumentos en su contra. El modelo de Siméon-Denis Poisson (1781-1840) y Laplace imperante, basado en fuerzas moleculares para la explicación de los fenómenos relativos a los fluidos imponderables, como el calor, se fue abandonando poco a poco en favor de la solución matemática de la teoría analítica propuesta por Fourier.

El programa oficial de Física Experimental establecido por la ley Moyano y publicado en el Boletín Oficial de Instrucción Pública en el año 1846 proponía en el temario de Física Experimental la teoría sustancial del calor, cuyo estudio se presentaba bajo el epígrafe "Calórico"[10]. En el Reglamento del Marqués de Corvera publicado en 1858 se establece la asignatura obligatoria de "Tratado de Fluidos imponderables", donde queda englobado el estudio del calor desde la misma perspectiva sustancialista. Alrededor del año 1900 se establece un nuevo plan en el que la asignatura aparece ya bajo el nombre de "Termodinámica" o "Termología".[11]

10 Moreno González, A. *Una ciencia en cuarentena*. Madrid: CSIC. 1988. Pp. 291-299.

11 *Ibid*, p. 411.

CALOR

Rosa Mª Martín Latorre

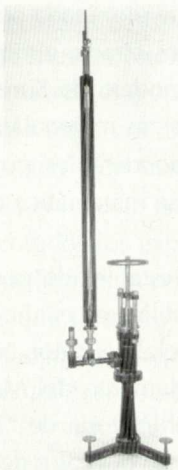


Fig. 43

23. TERMÓMETRO DE AIRE DE JOLY

Nº inv.: 95/31/384
1880-1910
38x32x161,3 cm
Metal, hierro, acero, latón, vidrio
«Max Kohl»; «Chemnitz»

El termómetro de aire de Joly basa su funcionamiento en la dilatación o contracción que sufre una columna de aire cuando aumenta o disminuye su temperatura.

Generalmente una pequeña cantidad de líquido separa el aire en el interior del tubo del aire en el exterior, de manera que cuando el termómetro se ve afectado por algún cambio externo, el líquido sube o baja indicando en la escala la dilatación sufrida por el aire del interior.

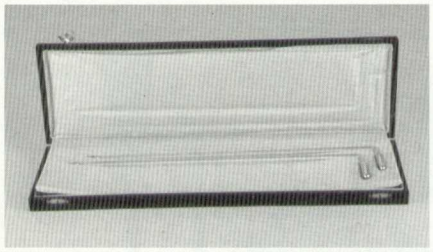


Fig. 44

24. ESTUCHE CON DOS TERMÓMETROS

Nº inv.: 95/31/712
1910-1930
42x14,5x3,3 cm
Madera, papel, tela, vidrio, mercurio, latón
«Tub. non cyl div rectif. syst. Boudin (1920-1)»

Este conjunto está constituido por dos termómetros complementarios de gran precisión, que permiten medir temperaturas comprendidas entre 5° y 25° centígrados, detectando hasta 0,05°, de acuerdo con el sistema de Boudin. Los termómetros llevan los números de serie 19341 y 19342.

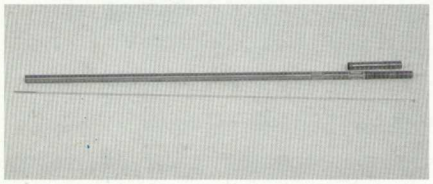


Fig. 45

25. TERMÓMETRO DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/716
1900-1920
Dm.1,5x72 cm
Latón, vidrio, mercurio
«J. Tonnelot à Paris (1904-12) 21197» ; «Thermomètre» / «Nº 21197 (0-100)» / «52» / «PATRON»

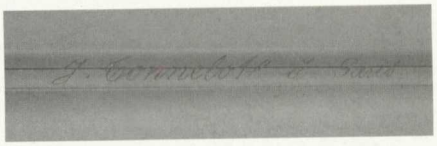


Fig. 46

Este termómetro es un instrumento de gran precisión, pues constituye uno de los modelos que el fabricante francés J. Tonnelot suministraba a la oficina de Pesas y Medidas de París, para servir como termómetro patrón en los diferentes países que en aquella época ya habían adoptado el sistema métrico de medidas. En la Facultad de Ciencias este tipo de instrumentos se empleaban para servir de modelo en la fabricación de otros instrumentos similares, destinados al uso práctico. Tonnelot lo anuncia como termómetro de escala completa, y su graduación va de -8° a 105°.

Fig. 47

26. TERMÓMETRO DIFERENCIAL NORMAL DE BECKMANN

Nº inv.: 95/31/714
1940-1960
Dm.3,2x55,8 cm
Metal, vidrio, mercurio, cartón
"Centigrado. Thermometer nach Beckmann»

Este termómetro, ideado en 1888 por Ernst Beckmann (1853-1923), es uno de los modelos más sensibles hechos en serie. Permite medir bajas temperaturas, comprendidas entre 0° y 6° centígrados, con una precisión de 0,01°, así como temperaturas elevadas, comprendidas entre 20° y 160°. Esto es debido a que el capilar presenta dos zonas de diferente grosor, siendo la de bajas temperaturas de gran sensibilidad debido a la gran finura del capilar. Este termómetro puede utilizarse con el Aparato de Beckmann para determinar los pesos moleculares de las substancias, bien por el método crioscópico, bien empleando el ascenso del punto de ebullición.

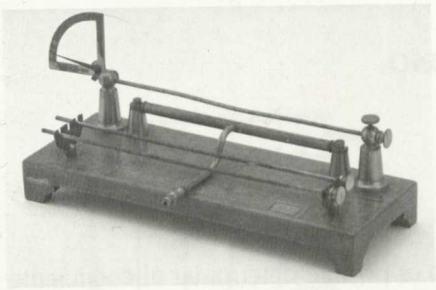


Fig. 48

27. PIRÓMETRO DE CUADRANTE

Nº inv.: 95/31/783
1855-1865
36,5x14,2x14,4 cm
Madera, latón, metal
«BRETON_FRES à PARIS»

El pirómetro de cuadrante se utiliza para mostrar la dilatación lineal experimentada por los sólidos metálicos cuando son afectados por una fuente de calor. El cuadrante graduado nos ofrece un tipo de medida angular, siendo necesario disponer la aguja indicadora en contacto con el extremo de la varilla metálica utilizada en la experiencia. El coeficiente de dilatación lineal viene dado por el aumento que experimenta la unidad de longitud cuando la temperatura se eleva un grado.

Cuando no se aplica calor al sólido, la aguja marca el cero en la escala, correspondiéndose por tanto con la temperatura ambiente. Al calentar la varilla, generalmente con alcohol de quemar, que se introduce en el tubo agujereado, o como en este caso, con una fuente de gas, ésta se va viendo afectada por un incremento de temperatura en toda su longitud. El calor recibido tiene como efecto, más o menos visible, una dilatación del material en todas sus dimensiones, que este aparato tan sólo hace patente en la prolongación lineal sufrida pues, la varilla dilatada presiona la aguja y la obliga a moverse sobre el cuadrante.

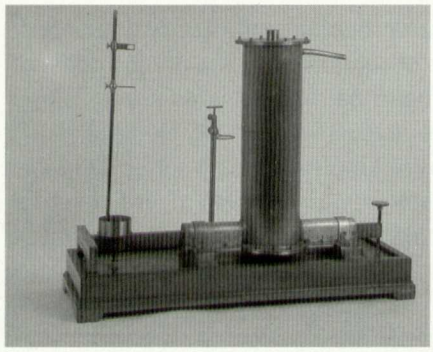


Fig. 49

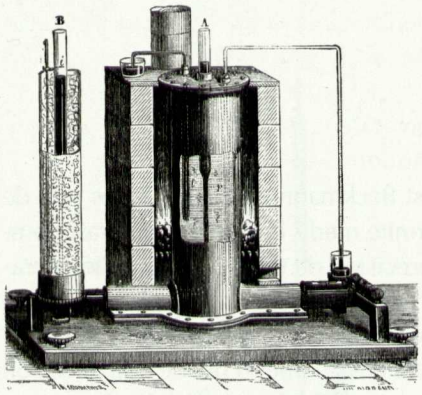


Fig. 50.- Aparato de Dulong y Petit para determinar la dilatación absoluta del mercurio

28. APARATO DE DULONG Y PETIT

Nº inv.: 95/31/474
1850-1870
90x30x76,5 cm
Madera, cobre, latón, acero

Este tipo de aparato, incompleto en parte, y que se utiliza para la determinación del coeficiente de dilatación absoluta del mercurio, está formado, básicamente, por dos columnas de mercurio dispuestas verticalmente, y conectadas por un tubo capilar horizontal. Fue originalmente ideado por Dulong y Petit, y posteriormente mejorado por Henri Victor Regnault (1810-1878).

En sus experiencias, Dulong y Petit se basaron en el principio hidrostático según el cual: «las alturas de dos líquidos en dos vasos comunicantes se hallan en razón inversa de sus densidades», independientemente del diámetro de los vasos y su dilatación. Como se ha señalado, dispusieron verticalmente dos tubos de vidrio unidos por otro capilar y en el interior de sendos cilindros metálicos. El cilindro de menor diámetro se llena de hielo mientras que en el otro se deposita aceite, que se calienta gradualmente por medio de una fuente de calor. Los tubos de vidrio se rellenan con igual nivel de mercurio en el momento que ambos están a la misma temperatura. Cuando en estas condiciones, el cilindro de mayor diámetro se calienta, el mercurio del tubo aumenta de nivel, y según el principio antes enunciado se puede medir el coeficiente de dilatación absoluto del mercurio, que resulta ser el cociente entre la diferencia de alturas que alcanza el mercurio en cada tubo y el producto de la temperatura del segundo por la altura del primero.

Dulong y Petit observaron que este coeficiente no es constante demostrando con ello que los cuerpos líquidos no se dilatan regularmente.

Fig. 51

29. DILATÓMETRO O TERMÓMETRO DE PESO

Nº inv.: 95/31/782
1860-1880
16,5x11,5x3,7 cm
Vidrio, mercurio, madera, paño, papel

Con el dilatómetro o termómetro de peso es posible determinar el coeficiente de dilatación aparente de los diferentes líquidos. Dicho coeficiente varía con la naturaleza del recipiente que lo contiene. En este caso se trata del mercurio y el vidrio.

Para determinar el coeficiente de dilatación aparente del mercurio se procede primeramente al pesado del aparato con y sin el líquido, y a una temperatura de 0°. La diferencia entre los dos datos nos ofrece el peso del mercurio contenido en el termómetro. Cuando se le somete a una temperatura dada cuyo valor nos es conocido, el mercurio se dilata, derramándose cierta cantidad en el pequeño vaso que incorpora el estuche. Pesando el líquido recogido es posible averiguar el coeficiente de dilatación que se busca.

El nombre de "termómetro de peso", con el que también se reconoce a este aparato, proviene de la posibilidad de deducir la temperatura que alcanza el instrumento a partir de la medida del líquido derramado, la masa que contiene el aparato y el conocimiento del coeficiente de dilatación aparente del mismo.

Dulong y Petit determinaron, mediante el procedimiento descrito, el coeficiente de dilatación aparente del mercurio en el vidrio y utilizaron el termómetro de pesos para demostrar que los coeficiente de dilatación cúbica de los distintos metales varían de forma lineal con la temperatura.

30. CALORÍMETRO DE BLACK

Nº inv.: 95/31/346
1910-1930
Dm. 16x18 cm
Metal, ebonita

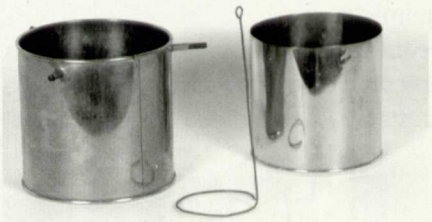


Fig. 52

El calorímetro es un instrumento que permite medir la cantidad de calor absorbido o cedido por un cuerpo que es sometido a influencias externas.

El calorímetro de agua basa su funcionamiento en el método de las mezclas, que consiste en calentar hasta una cierta temperatura el cuerpo cuyo calor específico se desea determinar. Posteriormente, se introduce en el calorímetro, que previamente se ha llenado con una cantidad de agua de la cual se conoce su masa exacta y temperatura inicial. El calor específico del cuerpo se deduce a partir de la temperatura final que alcanza el conjunto. Este modelo concreto de calorímetro de agua es el que se conoce como calorímetro de Black, formado por dos recipientes que han de separarse con un material que sea mal conductor del calor. El agua se deposita en el vaso interior.

Black y Wilcke enunciaron los principios fundamentales de la calorimetría en la segunda mitad del s. XVIII. Si bien, el método de las mezclas era ya empleado en 1750 por Georg W. Richmann (1711-1753), es a Lavoisier y Laplace a quienes se debe la construcción en 1783 del primer calorímetro de utilización práctica.

31. APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CALOR ESPECÍFICO EN LOS METALES

Nº inv.: 95/31/354
1890-1910
34,9x17,5x33,5 cm
Acero, metal, latón, madera
«E. Leybold's Nachfolger» / «Coeln Rhein»

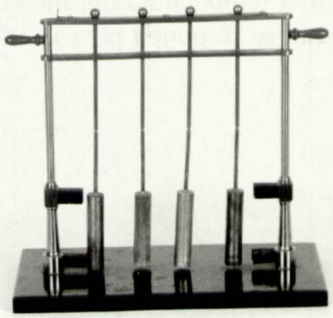


Fig. 53

Este aparato se utiliza para el estudio del calor específico de los diferentes metales, entendiendo por calor específico aquél necesario para elevar un grado la temperatura de la unidad de masa de los cuerpos, resultando ser este valor proporcional a la masa de los mismos.

Con este tipo de aparatos es posible demostrar, de manera sencilla, que cada metal tiene un calor específico diferente. Para ello, se disponen masas iguales de distintos metales a los que se les aplica por igual una misma fuente de calor. Si se colocan sobre una placa de parafina o cera, se observará que todos los cilindros la funden, aunque a distintas velocidades, lo que se explica a partir de los valores del calor específico. Así, el hierro, por ejemplo, derrite la cera a mayor velocidad que el cobre, el bismuto o el plomo, debido a su mayor calor específico.

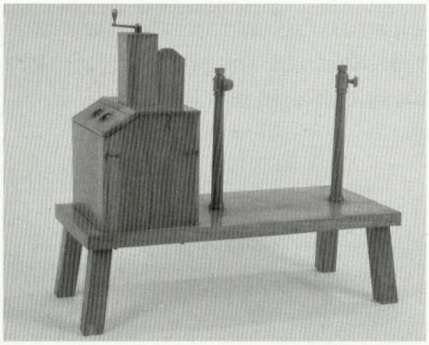


Fig. 54

32. CALORÍMETRO DE MERCURIO DE FAVRE Y SILBERMANN

Nº inv.: 95/31/603
1860-1880
84x34,4x77,5 cm
Madera, acero, metal

Este calorímetro permite determinar la capacidad calorífica de los líquidos y el calor que se desprende en las reacciones químicas.

Entre 1845 y 1853, Favre y Silbermann realizaron numerosas investigaciones termoquímicas, siendo particularmente relevantes sus estudios sobre los calores de combustión y formación de gran número de substancias, con el empleo de su innovador calorímetro de mercurio.

En la preparación de la experiencia se llena el depósito de mercurio a través de la llave situada en la parte inferior del mismo. Un fino tubo capilar graduado se dispone sobre los soportes, en comunicación con el depósito. El émbolo, que se hace funcionar con la manivela, eleva el nivel del mercurio hasta un punto de referencia en el tubo termométrico. Al variar por cualquier circunstancia la temperatura del mercurio del calorímetro, el nivel en el tubo avanza o retrocede, siendo posible determinar este movimiento. Para la medida se sitúa la substancia a estudiar en una probeta y se introduce por uno de los dos orificios del recipiente esférico. El calorímetro actúa entonces como un termómetro con un gran depósito de mercurio y un fino tubo capilar, que le hace muy sensible y en cuya escala no se hace referencia a la temperatura del mercurio sino a las calorías que le ceden las substancias que se disponen para la experiencia en la probeta.

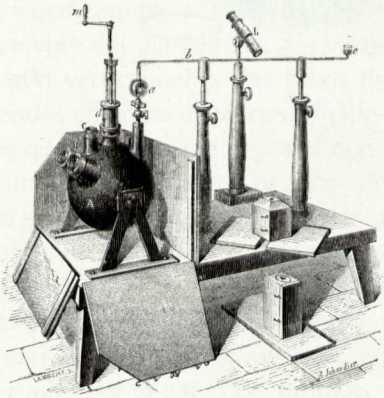


Fig. 55.- Calorímetro de Favre y Silbermann

33. MARMITA DE PAPIN

Nº inv.: 95/31/341
1840-1860
16,5x13,5x36,7 cm
Bronce, acero, latón

Denís Papin, médico francés al que este instrumento debe su nombre, fue el primero en realizar estudios sobre los efectos de la producción de vapor en recipientes cerrados.

Cuando se llena de agua hasta sus dos terceras partes y se le aplica una fuente de calor, el líquido del interior se puede calentar a temperaturas muy superiores a los 100° centígrados, dependiendo de la carga que se disponga en la válvula de seguridad del instrumento, cuyo funcionamiento, tal y como lo ideó Papin, es básicamente el empleado en las actuales válvulas de los aparatos que tienen por fin producir o generar vapor.

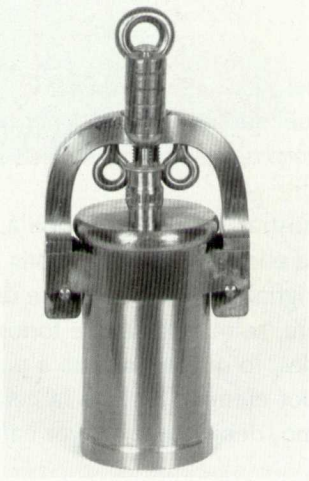


Fig. 56

En mayo de 1679, presenta su "máquina digestora", como así denominó a su aparato, en la Royal Society, bajo los auspicios de Hooke. Su empleo para aumentar la acción disolvente de líquidos, le sirve a Victor Albrecht von Haller para comparar o interpretar el estómago como una especie de máquina de Papin.

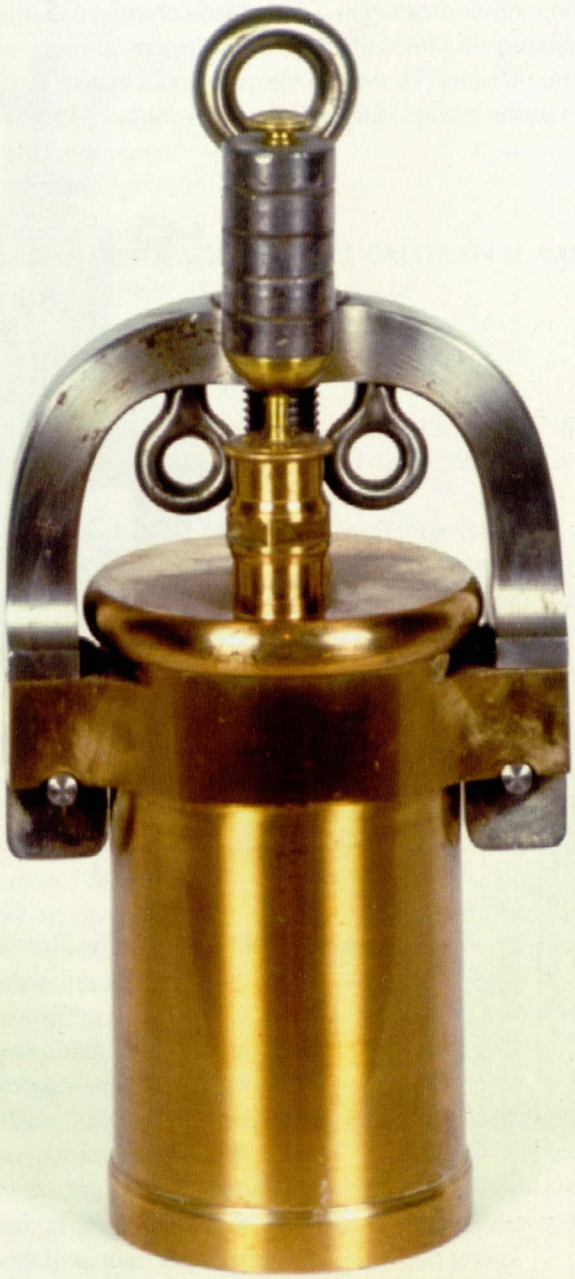


Fig. 56

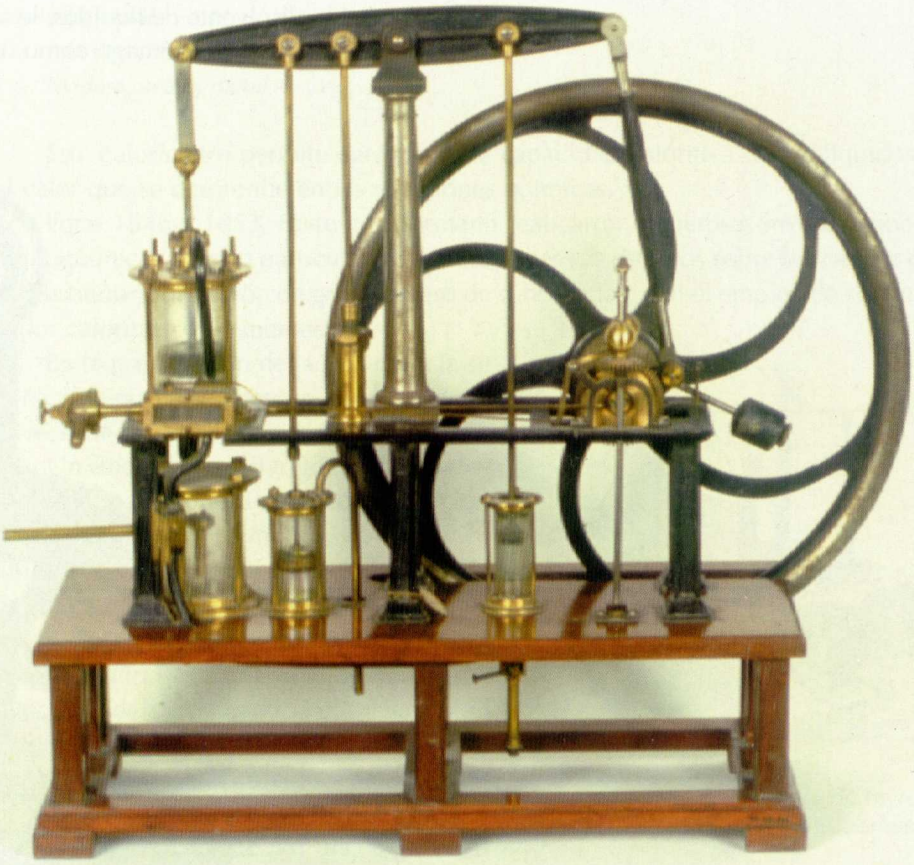


Fig. 57

34. MODELO DE MÁQUINA DE WATT

Nº inv.: 95/31/342
1840-1860
58x21,2x51,5 cm
Madera, acero, hierro, latón, vidrio

Las máquinas de vapor basan su funcionamiento en el aprovechamiento del vapor de agua como fuerza motriz. En la máquina de Watt, este vapor, procedente de una caldera, se dirige al interior de un cilindro, donde la corredera de distribución se encarga de hacer actuar alternativamente el vapor por encima y por debajo del émbolo. De esta acción resulta el movimiento de vaivén del mismo, que se transforma, por medio de un sistema de bielas y excéntricas, en el movimiento de rotación del volante de inercia, cuyo cometido es el de regularizar el movimiento de la máquina, evitando las paradas bruscas o los arranques repentinos que genera el émbolo.

Watt introdujo en sus máquinas un regulador de fuerza centrífuga, que no es otra cosa que un paralelogramo articulado con dos esferas metálicas al cual transmite el árbol motor su movimiento de rotación. Esta pieza permite regular la presión de entrada del vapor a la máquina, evitando que ésta se acelere o retarde por variaciones de tensión en la caldera.

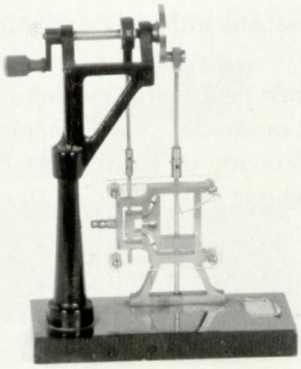


Fig. 58

35. SECCIÓN DE UN CILINDRO DE MÁQUINA DE VAPOR

Nº inv.: 95/31/349
1880-1910
17,8x7,5x24,2 cm
Metal, latón, vidrio, ebonita
«Max Kohl A.G. Chemnitz»

Este modelo, utilizado para la enseñanza y la demostración, constituye la sección de un cilindro de una máquina de vapor. En ella se pueden apreciar los movimientos de los diferentes elementos del mismo. El humo de un cigarrillo, por ejemplo, puede servir como vapor en el experimento, mostrándose cómo se movería éste dentro del cilindro.

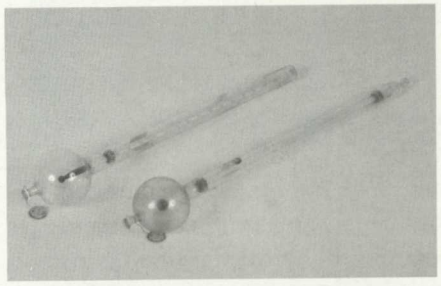


Fig. 59

36. TERMÓMETROS PARA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN EL VACÍO

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/471; 95/31/472
1909
Dm. 5,6x35,3 cm; dm. 5,3x39 cm
Vidrio, algodón
En el termómetro con el nº inv. 95/31/471: «L. Casella. London 32518»; «Nº 106-78»; «Centigrade». En el termómetro con el nº inv. 95/31/472: «Casella London. 1909»

Con este tipo termómetros, B. Thompson (conde de Rumford), evidenció que el calor radiante se verifica igualmente a través del espacio vacío que de cualquier otra substancia. Para ello introdujo un termómetro en el interior de un globo de vidrio, de manera que, hecho posteriormente el vacío, observó el tiempo que tardaba en descender una determinada temperatura cuando rodeaba el globo de una mezcla frigorífica.

Realizó después el experimento contrario, es decir, midió el tiempo que tardaba el termómetro en subir la misma temperatura. Resultó que ambos valores coincidían, por lo que concluyó que el calor se transmitía del termómetro al globo de vidrio y de éste al termómetro a través del vacío.

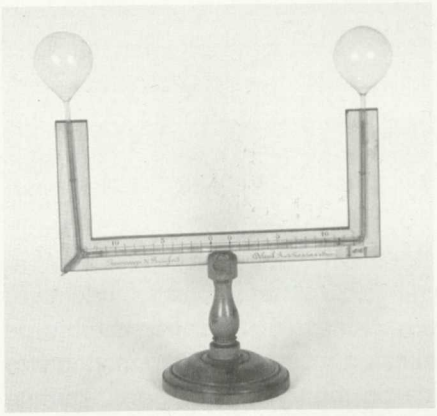


Fig. 60

37. TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE RUMFORD

Nº inv.: 95/31/344
1850-1870
37x13,4x40 cm
Madera, vidrio, metal
«Thermoscope de Rumford»; «Deleuil Rue du pont de Lodi 6. à Paris».

El termómetro de Rumford se utiliza para medir pequeños cambios de temperatura en experiencias de calor radiante. El término diferencial se debe a que nos ofrece diferencias de temperatura entre puntos muy cercanos.

En el interior del tubo hay una cierta cantidad de líquido, generalmente alcohol, que actúa de indicador. Si las dos ampollas se encuentran a la misma temperatura el líquido del tubo ocupa exactamente la posición central del mismo. Cuando una de las esferas se acerca a una fuente de calor el aire en su interior se dilata provocando que el alcohol se desplace una determi-

nada longitud, que puede ser medida y que nos indica la variación de temperatura.

Este aparato, cuyo nombre se debe al conde de Rumford, es de características análogas al termómetro diferencial de Leslie, mostrado a continuación, salvo por la mayor longitud del brazo horizontal y la posición de la escala graduada en el mismo, a diferencia del modelo de Leslie en el que son dos las escalas y se disponen en cada brazo vertical.

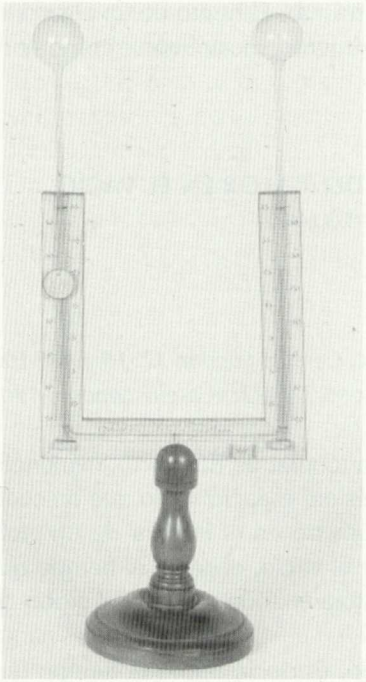


Fig. 61

38. TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE LESLIE

Nº inv.: 95/31/345
1850-1870
20,1x13,2x48,5 cm
Madera, vidrio, metal
«Thermomètre Diferencial de Leslie / Deleuil. Rue du pont-de-Lodi, nº. 6, à Paris»

Al igual que el termómetro diferencial de Rumford, este aparato se emplea para medir pequeños cambios de temperatura en experiencias realacionadas con el calor, siendo su funcionamiento esencialmente el mismo.

El líquido indicador, como en el caso anterior, alcohol o ácido sulfúrico coloreado, se eleva hasta aproximadamente la mitad de las ramas verticales cuando las dos ampollas se encuentran a la misma temperatura. Al aproximar uno de los bulbos del aparato al foco de calor, el aire en su interior se dilata y el líquido indicador se desplaza una determinada longitud. La diferencia de altura que alcanza la columna de líquido en ambas ramas nos indica la diferencia de temperatura entre las dos ampollas.

Para graduar el termómetro se hace que el líquido alcance la misma altura en ambas ramas, siendo preciso conseguir que las dos ampollas tengan la misma temperatura. En ese punto se marca el cero de la escala. Después, una de las esferas se la calienta 10 grados manteniendo la otra a cero. El aire dilatado de la primera empujará el líquido por lo que éste se elevará en la segunda rama. En el punto donde se quede estacionario se marca con un 10 a cada lado y posteriormente se divide el espacio en diez partes iguales y se continúan estas divisiones a lo largo de cada rama.

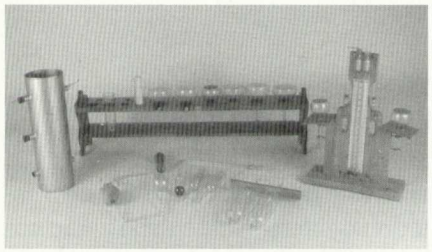


Fig. 62

39. TERMOSCOPIO DOBLE DE LOOSER

Nº inv.: 95/31/552
1920-1940
12,6x36,2x48,1 cm
Madera, vidrio, plástico, metal

Este es un instrumento didáctico que se emplea para numerosas experiencias: dilatación de los cuerpos, conductibilidad, variaciones del calor por cambio de estado y otras experiencias relacionadas con el calor; y también como manómetro sensible en otros ensayos, para lo cual consta de múltiples accesorios. Permite observar desde ambos lados del aparato las oscilaciones de las dos columnas líquidas, y la lectura de la diferencia de altura sobre la escala, dada en medios centímetros, para ser vista simultáneamente por profesor y alumnos.

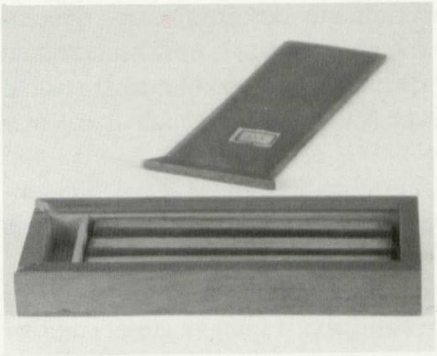


Fig. 63

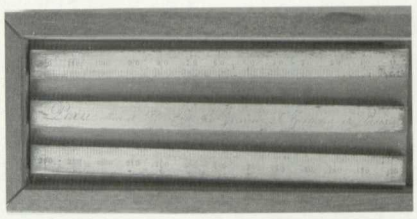


Fig. 64

40. PIRÓMETRO DE WEDGOOD

Nº inv.: 95/31/711
1835-1855
9x22x3 cm
Madera, metal
«Pixii, Père et Fils Rue de Grenelle St. Germain 18 Paris»

Este instrumento fue diseñado por Wedgood en 1782 para medir temperaturas muy elevadas, en este caso entre 10° y 240°, con el objeto de poder controlar procesos industriales. Se basa en la capacidad de una muestra de arcilla de contraerse al calentarse, siendo esta diferencia en volumen medible y dependiente de la temperatura. Tras sacarla del horno se deja enfriar y se mide su contracción situándola entre las barras de metal. Podrá avanzar tanto más hacia la parte más estrecha cuanto mayor haya sido la temperatura del horno. La equivalencia que empleó Wedgood es 1032° por 6,25 divisiones del pirómetro, con una composición determinada para la arcilla. Éste constituyó el primer intento de medir temperaturas muy elevadas y fue ampliamente utilizado durante el s. XIX.

Fig. 65

41. APARATO DE TYNDALL

Nº inv.: 95/31/320
1880-1900
69,7x29,3x20 cm
Madera, acero, latón, corcho

Este aparato, similar al ideado por Tyndall, se utiliza para demostrar que el rozamiento de dos cuerpos produce una cantidad de calor tanto mayor cuanto más rápido es el movimiento y la presión que se realiza.

En la experiencia es necesario disponer de una pinza de madera, entre cuyas placas, y en contacto con las mismas, se encuentra el tubo de metal que previamente se ha llenado, en parte, con agua.

Cuando a éste se le aplica un movimiento de rotación, el rozamiento que se produce entre la pinza y el metal genera un calor, que rápidamente eleva la temperatura del agua alcanzándose el punto de ebullición. El vapor producido en el interior del tubo presiona el tapón de corcho haciendo que éste salte bruscamente.

Fig. 66

42. PILA TERMOELÉCTRICA SUPERFICIAL DE MOLL

Nº inv.: 95/31/36
1930-1960
15,5x11x5,5 cm
Metal, pasta, vidrio
«KIPP» / «DELFT-HOLLAND»

La pila termoeléctrica convierte directamente la energía calorífica en energía eléctrica. La temoelectricidad se funda en un mismo principio que produce efectos contrarios.

Según el *efecto Seebeck*, al calentar la soldadura de dos metales con diferentes conductividades térmicas, parte del calor absorbido se transforma en corriente eléctrica. Los dos metales constituyen un par termoeléctrico con el que es posible medir temperaturas, ya que la corriente producida es proporcional al calentamiento en la soldadura.

La pila termoeléctrica es un conjunto de pares termoeléctricos acoplados convenientemente. Con este tipo de aparato es posible detectar, por ejemplo, la radiación de calor de la mano a una distancia de varios metros.

Debemos a T. J. Seebeck el descubrimiento del fenómeno termoeléctrico en 1822, descubrimiento que tuvo lugar mientras estudiaba la influencia del calor en elementos galvánicos.

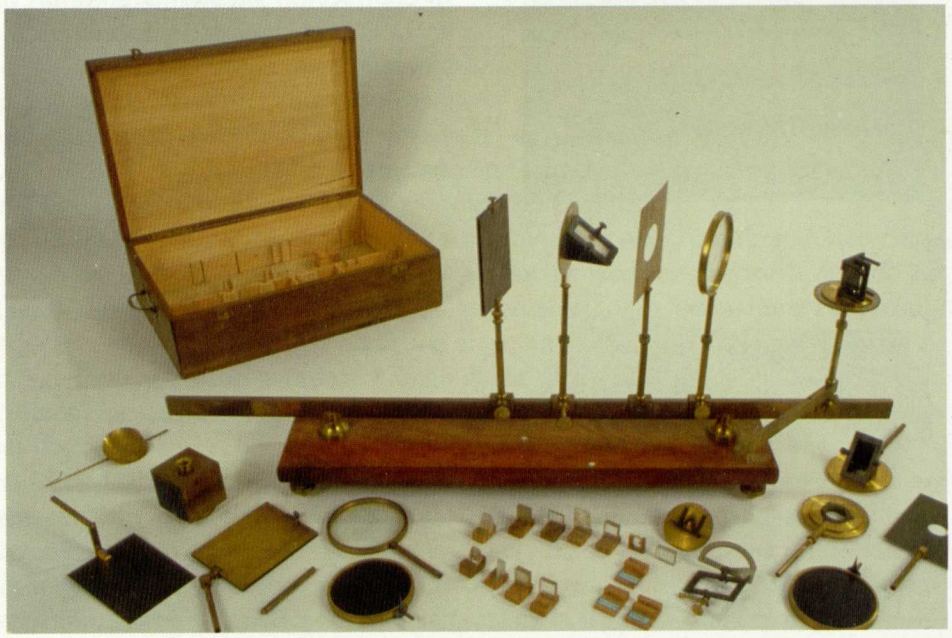


Fig. 67

43. BANCO DE MELLONI

El banco de Melloni, nº inv.: 95/31/11, las muestras cristalinas, nº inv.: 95/31/343
1840-1860 (banco); 1840-1860 (muestras)
102x16,3x13 cm; 3x2,2x4,5 cm (cada muestra)
Madera, latón, vidrio, minerales, corcho
«DELEUIL A PARIS»

El banco con sus diversos accesorios está concebido para demostraciones relacionadas con el calor radiante, y se usa de la misma manera que un banco de óptica. Con este grupo de aparatos es posible reproducir algunos de los experimentos realizados por Melloni en la década de 1830 sobre la transmisión, reflexión y polarización del calor. La idea general que inspiró estos trabajos fue la comparación entre los fenómenos relacionados con la transmisión de la luz y los del calor.

En la fotografía se puede observar además, un conjunto de muestras cristalinas como las habitualmente utilizadas para la realización de experiencias con este tipo de bancos.

ELECTRICIDAD

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE
BIBLIOTECA

DE LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS ELÉCTRICAS AL DESCUBRIMIENTO DEL GALVANISMO Y LA PILA VOLTAICA: LA EXPERIMENTACIÓN EN MEDIOS LÍQUIDOS Y GASES ENRARECIDOS

Rosa Mª Martín Latorre

Hasta el s. XVII, los conocimientos acerca del fenómeno eléctrico no habían progresado mucho con respecto a lo que el filósofo griego Tales de Mileto (c. 625-545 a.C.) había experimentado en el s. VII a.C. acerca de las propiedades eléctricas del ámbar[1] frotado. Desde entonces y sólo hasta el 1600, año en el que William Gilbert (1544-1604) publicara su *De Magnete*, la electricidad se había mantenido en un plano cercano a la magia y en continua confusión con los fenómenos magnéticos.

En la obra del científico inglés se puede observar por primera vez una evidente distinción entre el tipo de atracción debida a la piedra imán y la mostrada por el ámbar, diferenciando ambas disciplinas, la electricidad y el magnetismo, a partir de las causas que las motivan. Gilbert utilizaba una causa material para el efecto del ámbar: un efluvio de partículas que los cuerpos electrizados por frotamiento emitirían y que en su retorno portaría cierta clase de materiales ligeros como pequeños trozos de papel, y otra formal y no material para la causa del magnetismo, que tiene que ver con la conformación de la Tierra, y que se manifiesta además de forma permanente, a diferencia del primer caso en el que los efectos son de tipo temporal. Con ayuda de su *versorium*[2], el primer electroscopio de la historia, realizaría multitud de experiencias en las que encontraría, que otras sustancias como el vidrio, azufre o la resina ofrecían las mismas cualidades que el ámbar al ser frotado. Con este sencillo aparato conseguiría confeccionar una primera clasificación de los cuerpos en "eléctricos" y "no eléctricos".

Durante el s. XVII tiene lugar una revolución científica ya iniciada en el siglo anterior. Si en física, entre otros científicos de renombre, Newton desarrolló nuevas formas de investigación que habrían de ser claves de la moderna ciencia, en el ámbito de la electricidad, a lo largo del s. XVIII, destacamos en su primera mitad a Charles-François de Cisternai Dufay (1698-1739) y Stephen Gray (1666-1736), cuyos trabajos e investigaciones fueron continuados, mediado el siglo, fundamentalmente, por Benjamin Franklin (1706-1790), y ya en las últimas décadas por Charles Augustin Coulomb (1736-1806), Luigi Galvani (1737-1798) y Alessandro Volta (1745-1827).

[1] En griego ámbar significa *elecktron*, origen del término *electricidad*. Tales de Mileto había comprobado que el ámbar frotado atraía cuerpos ligeros por lo que se pensaba que era una sustancia "maravillosa".

[2] Gilbert, W., *De Magnete*, trad. de P. Fleury Mottelay in 1893, New York: Dover Publications, Inc., (primera publicación en 1958), p. 79. El *versorium* de Gilbert estaba formado por una pequeña aguja metálica, ligera y móvil en torno a un eje vertical que pasara por su centro. Cuando se aproximaba a uno de sus extremos un cuerpo cualquiera electrizado, la aguja sufría una desviación, desviación ésta que no tenía lugar cuando el cuerpo que se acercaba no podía ser electrizado, o lo que es igual se trataba de un material no "eléctrico", según la interpretación ofrecida por Gilbert.

La producción de carga y su almacenamiento durante los ss. XVII y XVIII: los primeros avances en la determinación del fenómeno eléctrico

A partir de las observaciones experimentales de Gilbert es posible diferenciar tres periodos en el estudio del fenómeno eléctrico a lo largo de los ss. XVII y XVIII: una primera etapa desde 1600 hasta aproximadamente los años 1740, en la que los esfuerzos se concentran en la producción de electricidad y que se cerraría con el descubrimiento de la conducción eléctrica; un periodo intermedio que comenzaría desde esta fecha, con el perfeccionamiento en Alemania de las máquinas de fricción y el descubrimiento de la botella de Leiden, y terminaría hacia 1790, con el enunciado de la ley de acción entre cargas; y finalmente, un tercer y último periodo, que se iniciaría con el descubrimiento del galvanismo y culminaría con la invención de la pila voltaica en 1800. A partir de este momento entramos de lleno en el s. XIX, donde las investigaciones sobre la electricidad se multiplican con la experimentación en medios líquidos y gases enrarecidos y, cómo no, con el descubrimiento del electromagnetismo y el desarrollo de la electrodinámica.

Algunos historiadores de la ciencia han considerado como primera forma de producción eléctrica de importancia el globo de azufre ideado por Otto von Guericke en 1660. Este aparato estaba formado por una esfera de dicho material, del tamaño de la cabeza de un niño, como así lo describe, que se disponía sobre un eje horizontal que permitía su giro y sobre el que se colocaban las manos para su fricción. Con la máquina de Guericke era posible mostrar fenómenos de atracción y repulsión sobre pequeños cuerpos como el papel o finas láminas de oro.

Sin embargo, considerar este aparato, que no sería descrito hasta 1672 en sus *Experimenta nova Magdeburgica*, como la primera máquina electrostática es un error[3], pues el uso original del inventor nada tenía que ver con la investigación del fenómeno eléctrico, y sí con las concepciones cosmológicas de la época, en virtud de las cuales, hacia 1600 Gilbert, por ejemplo, había experimentado con sus *terrellas* (imanes esféricos semejando la forma de la Tierra), que han servido a ciertos autores para ir más lejos y realizar ciertas analogías buscando asociar el globo de azufre con una especie de *terrella* "eléctrica".

De cualquier forma lo que sí parece claro es que Otto von Guericke construyó su globo con azufre y no con otro material, no por capricho, sino porque consideraba que este elemento mezclado con otros minerales era el más importante y abundante constituyente de la Tierra, y por tanto podría con su esfera reproducir todos los comportamientos del planeta, y que la confusión de describir el globo de azufre en términos de un generador electrostático viene de muy antiguo, en concreto por parte de Priestley quien en su obra *The History of Electricity,* publicada en 1767, se refirió al aparato de Guericke como tal. Además, el hecho de que en los *Experimenta,* obra formada por siete libros, de los cuales tan sólo dedica un pequeño capítulo en el libro IV a detallar sus "observaciones eléctricas", término nunca por él empleado, prueba hasta qué punto Otto von Guericke habría de quitarle importancia a un estudio más sistemático de los fenómenos derivados de la fricción del globo, dejando simplemente constancia escrita de sus importantes observaciones y experiencias, más o menos fortuitas o llevadas a cabo de una forma no intencionada.

[3] Véase la obra: Hackmann, W, D., *Electricity from Glass: the History of the Frictional Electrical Machine 1600-1850,* The Netherlands: Sijthoff & Noordhoff International Publishers B.V., 1978, pp. 20-25.

Avanzado ya el s. XVIII tiene lugar el primer descubrimiento de importancia en materia de electricidad: el conocimiento del fenómeno de la conducción eléctrica por parte de Gray en Inglaterra a partir de una observación casual en febrero de 1729. Consistía la citada experiencia en frotar un tubo de vidrio cerrado por sus extremos con sendos corchos. Al aproximar una pluma al tubo ésta se veía atraída hacia el corcho. La única explicación posible debía ser que el corcho pudiera adquirir electricidad del tubo. Para certificar sus sospechas, Gray repitió la experiencia pero utilizando una bola de marfil que ataba a varillas de madera, hilos de metal o cordeles, y que disponía en los corchos del tubo. Tras múltiples observaciones encontró que la transmisión de la "virtud eléctrica" se producía o no dependiendo del material empleado. Aunque no utilizó el concepto de conductor y aislante, sí que había encontrado el fenómeno de la conducción eléctrica y la electrización por influencia, probando con ello la creencia, extendida a lo largo de la práctica totalidad del siglo, sobre la existencia de un fluido imponderable para la naturaleza del fenómeno eléctrico.

El siguiente avance en la ya no tan nueva ciencia de la electricidad sería el llevado a cabo por Dufay, quien varios años después de Gray desarrolló de forma más sistemática los experimentos de aquél. De los resultados obtenidos, publicados en una serie de memorias en 1733, concluyó que la electricidad era una propiedad universal de la materia y que todos los cuerpos podían en mayor o menor grado ser electrizados, demostrando la existencia de las dos electricidades: "vítrea", como así denominó a la electricidad "positiva" ofrecida por el vidrio al ser frotado, y "resinosa", a la "negativa" en el caso de la ebonita, caucho o cualquier tipo de resina. Posteriormente, en un trabajo realizado en 1737, habría de utilizar un nuevo aparato que resultó ser el precedente de los electrómetros de bola de saúco con panes o hilos de oro. Dufay se sirvió de un hilo cuyos extremos colgaban libremente y se separaban en mayor o menor ángulo dependiendo de la "fuerza eléctrica", de modo que el fenómeno daba a conocer el grado con el que ésta actuaba.

Si bien Dufay nunca se refirió explícitamente a la existencia de dos fluidos eléctricos distintos en la interpretación de los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica, limitándose a mostrar de forma detallada y descriptiva los dos tipos de electricidades que surgían de sus experiencias, es ésta la principal conclusión que se extrae de las observaciones por él realizadas y que traerían consigo posteriores avances teóricos.

Sería el abate Jean Antoine Nollet (1700-1770), uno de los primeros y más conocidos divulgadores científicos de la época, discípulo y colaborador de Dufay, el que interpretara la naturaleza de las atracciones y repulsiones eléctricas en función de la existencia de dos fluidos opuestos[4]: el "efluyente", un flujo divergente que salía del cuerpo electrizado y el "afluyente", más uniforme y dirigido hacia el mismo. Su teoría de las afluencias y efluencias fue muy popular durante algún tiempo.

El perfeccionamiento de las máquinas eléctricas hacia la segunda mitad del s. XVIII, como todo perfeccionamiento técnico, trajo consigo grandes avances en el conocimiento de la electricidad. La máquina de Francis Hauksbee (c. 1666-1713)[5], primer generador electrostático de la historia, abrió el camino del posterior desa-

[4] Nollet, J. A., *Essai sur l'electricité des corps*, seconde edition, Paris: chez les Freres Guerin, 1753, p. 89.

[5] El globo de Hauksbee ideado en 1705, consistía en una esfera de vidrio en la que practicaba el vacío, hacía girar y era frotada con la mano. En ella introducía varios hilos que actuaban al igual que el *versorium* de Gilbert de indicadores del estado eléctrico del globo.

rrollo de este tipo de aparatos que en sus orígenes no resultaron ser demasiado operativos para la práctica de la investigación. Así, entre 1737 y 1745 y fundamentalmente en Alemania, se modificaron y perfeccionaron los diseños originales e introdujeron modelos más potentes. Las máquinas de Georg Matthias Bose (1710-1761), Johann Heinrich Winkler, Christian Gottfried Helmund o la de Andreas Gordon son algunos de estos ejemplos[6].

Con el electróforo de Volta, ideado por este físico italiano en 1775, se desarrollaría una nueva forma de generador electrostático: la máquina de influencia. Estos generadores basados en el fenómeno de la influencia eléctrica serían mejorados a lo largo del s. XIX a partir del modelo diseñado por Wilhelm Holtz (1836-1913) en 1865, y que se convertiría en el primer aparato productor de alto potencial. Los posteriores diseños del ingeniero francés Ferdinand Phillippe Carré (1824-1900) de 1868 o el del británico James Wimshurst (1832-1903), ideados hacia 1880, son ejemplos del desarrollo de este tipo de máquinas, que desde su aparición sustituyeron a los viejos generadores de frotamiento.

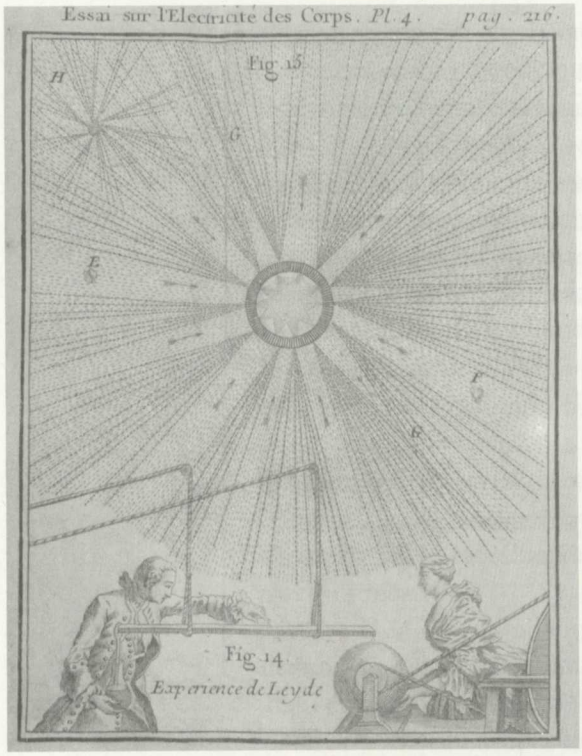
Uno de los acontecimientos clave para el desarrollo de los conocimientos sobre electricidad en el curso del s. XVIII fue la invención del condensador eléctrico. La capacidad para almacenar la carga generada por las máquinas electrostáticas fue descubierta independientemente por Ewald Jürgen von Kleist (c. 1700-1748) en octubre de 1745 y Musschenbroek, profesor de Física en la Universidad de Leiden, en enero de 1746. La botella de Leiden, ideada por éste último ha pasado a formar parte de la historia como el primer condensador eléctrico de utilidad práctica. En la experiencia de Kleist, éste situaba una botella con agua y un conductor metálico sumergido parcialmente en ella y que atravesaba el tapón de la misma. Con la botella en una mano puso en contacto el clavo con una máquina eléctrica y la acercó después a un objeto no aislado. Saltó una chispa muy violenta que relacionó con alguna característica propia del cuerpo humano, que debía intervenir de alguna forma en el proceso. Musschenbroek repitió la experiencia pero con la botella situada en una mesa de madera, excluyendo de la misma el contacto directo con el cuerpo. Al obtener los mismos resultados demostró que el fenómeno nada tenía que ver con la intervención del cuerpo del experimentador y lo identificó como un proceso meramente físico.

Poco tiempo después, el agua de la original botella de Leiden fue sustituida por dos armaduras conductoras, una exterior y otra interior. Además, la conexión de varias de estas botellas permitía almacenar más cantidad de carga, lo que significó nuevas posibilidades de experimentación que aceleraron la necesidad de cuantificar de alguna forma la capacidad de las mismas y traería consigo el desarrollo de nuevos instrumentos para tal fin.

Franklin y el fluido único

Una vez demostrada la posibilidad de almacenamiento y propagación de la "virtud eléctrica", mediado el s. XVIII, el concepto de fluido eléctrico se comenzó a manejar de forma generalizada. Uno de los personajes claves para ello sería

6 Para un más amplio conocimiento sobre las máquinas eléctricas de fricción, véase la obra de Hackmann, *opus cit.*



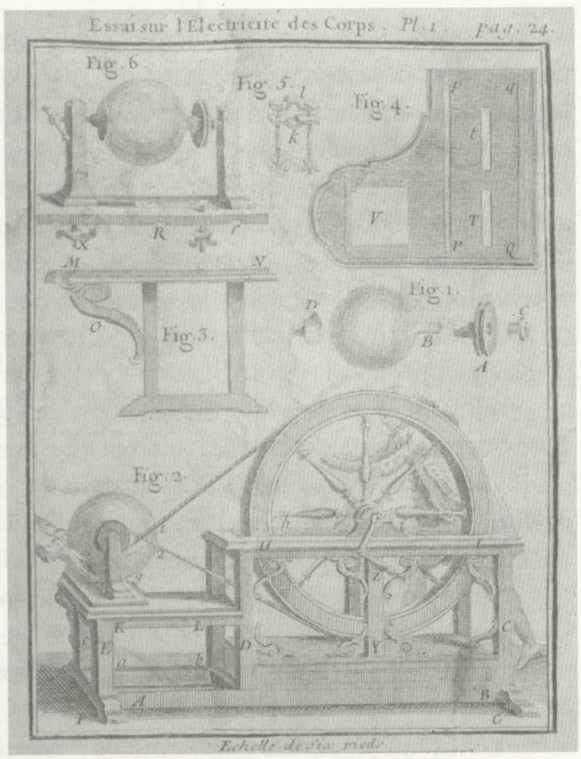


Fig. 68.- Máquina de Nollet
A la derecha
Fig. 69.- Experiencia de Leiden

Franklin, primer científico americano de reputación internacional, y artífice de importantes avances en el estudio de la electricidad. Fue el introductor de los términos científicos de "carga", "positivo" y "negativo", formuló el principio de conservación de la carga eléctrica y analizó la distribución de la misma en la botella de Leiden observando además, que en el interior de una cavidad metálica no se manifiesta fenómeno eléctrico alguno, lo que en términos actuales significaríamos como campo eléctrico nulo.

Las primeras experiencias eléctricas realizadas por Franklin tuvieron lugar en Philadelphia durante la década de los años 1740. Su primer descubrimiento fue acerca del fenómeno eléctrico en los cuerpos puntiagudos y que más tarde le llevó a inventar el pararrayos, aparato éste por el que alcanzó gran popularidad. En julio de 1750 da a conocer su teoría sobre el "fluido único" en un artículo titulado *Opinions and Conjectures concerning the Propeties and Effects of electrical Matter, arising from Experiments and Observations, made at Philadelphia*[7]. En su escrito define por primera vez el concepto de materia eléctrica, que está formada por partículas extremadamente sutiles con capacidad de penetrar cuerpos densos, explicando la existencia de los dos tipos de electricidades en términos de una abundancia o insuficiencia de este fluido. Escribe, además, su teoría sobre el "poder de las puntas" basada en el concepto de "atmósfera eléctrica"[8] y observa el fenómeno del "viento eléctrico".

Con los trabajos de Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802) y Charles Augustin Coulomb (1736-1806), y la introducción definitiva de los conceptos newtonianos en electricidad, la idea de las "atmósferas eléctricas" de Franklin acabaría por desaparecer. En este sentido, merece destacarse la obra del primero, su El *Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi* (1759), menos conocida que la de

[7] Este artículo puede consultarse en su traducción al castellano en la edición recopilatoria de los escritos más importantes realizados por Franklin sobre la Electricidad y reunidos bajo el título: Franklin, B., *Experimentos y observaciones sobre electricidad*, Madrid: Alianza Editorial S.A., 1988, pp. 93-122.

[8] Franklin mantenía la idea de que la materia ordinaria contenía toda la materia eléctrica que podía contener y que si se le añadía más, ésta habría de situarse en la superficie formando lo que él denominaba como "atmósfera eléctrica" y que definía el estado eléctrico del cuerpo. Véase, Franklin, *opus cit*, p. 94.

sus contemporáneos, pero que ocupa su lugar en la historia de la ciencia, pues no en vano realizaría la primera exposición acerca del fenómeno eléctrico basado en las fuerzas a distancia además de contener uno de los precedentes en el análisis cuantitativo del condensador.

Por otra parte, Priestley realizaría importantes observaciones, al margen de sus aportaciones en Química, en el campo de la Electricidad. Fue el que primero realizó mediciones de las conductividades en diferentes sustancias. En su *History* observa, al igual que Franklin, que las bolas de corcho no son afectadas por el campo eléctrico en el interior de un conductor hueco cargado, planteando, a modo de conjetura, la ley del "inverso del cuadrado de la distancia", por lo que algunos historiadores le atribuyen la paternidad de la ley que varios años después enunciaría de forma definitiva Coulomb.

Si el concepto de carga eléctrica había sido concretado por Franklin, el paso de concepciones cualitativas al terreno cuantitativo, es decir, la medida de las fuerzas eléctricas y su ley de acción sería desarrollada por Coulomb.

Antes de la obra de este último, Henry Cavendish (1731-1810) escribió en los *Philosophical Transactions* dos memorias que fueron publicadas en 1771 y 1776, trabajos previos al grueso de su obra, que no sería publicada hasta 1879, prácticamente cien años después de ser escritas, y tras ser descubiertas por James Clerk Maxwell (1831-79). De sus observaciones y experimentos, Cavendish dedujo la ley de atracción y repulsión entre partículas eléctricas es decir, la ley del inverso del cuadrado, ley que supuso inicialmente en razón inversa de una potencia enésima menor que 3, y que posteriormente demostró debía ser 2, como ya había supuesto Priestley. Ofreció las primeras nociones de un concepto básico en Electrostática, el "potencial", como así sería posteriormente denominado, y los de capacidad de un condensador y conductividad de los hilos metálicos, en cierta forma un adelanto de la posterior ley enunciada por Ohm, ya en el s. XIX.

A pesar de lo peculiar del personaje, la mayor parte su obra permaneció inédita por deseo propio, Cavendish puede ser considerado como uno de los científicos destacados del XVIII, pues sus escritos y observaciones en electricidad, que por tal motivo no han ocupado mayor lugar en la historia, se adelantarían cincuenta años a los trabajos realizados por físicos posteriores.

Con anterioridad a los trabajos de investigación de Cavendish se habían desarrollado una serie de aparatos cuya importancia radicó, fundamentalmente, en la detección de la carga eléctrica más que para la obtención de una medida precisa de la fuerza eléctrica, que sólo con la balanza de Coulomb, ya en las últimas décadas del s. XVIII, tendría lugar. Hablamos de los electrómetros[9], que tienen sus antecedentes en el ya citado *versorium* de Gilbert o el electroscopio de hilos de Dufay.

Hacia mediados del s. XVIII se empiezan a idear modelos algo más sofisticados que ofrecían medidas de las fuerzas de atracción. En este sentido encontramos a J. H. von Waitz, quien en 1745 utiliza dos placas metálicas suspendidas de un hilo de seda; John Ellicott (c.1706-1772) y Daniel Cralath (1708-1767), que con ayuda de una balanza intentan, en 1746 y 1747, "pesar" la fuerza eléctrica; Patrick Le Chevalier d'Arcy (1725-1779) y Jean Baptiste Le Roy (1720-1800) idean en 1749 un electrómetro formado por un flotador y un conductor de metal con un

[9] Véase Hackmann, W. D., "Electroscope", en Bud, R. ; Warner, D. J. (eds.), *Instruments of Science*, New York & London: Garland Publishing, Inc., 1998, p. 219. El término "electrómetro" fue introducido por el abate Nollet en 1747, quien en una carta a Franklin sugiere que la divergencia de los hilos podía ser utilizada como una medida de la electricidad, denominando a su aparato como tal. Sin embargo, puntualiza que debería ser llamado mejor "electroscopio" pues no ofrece con exactitud la relación entre el grado de divergencia y la magnitud de la electricidad. Las variaciones en el diseño de este tipo de aparatos a lo largo del s. XVIII pueden agruparse en cuatro clases: los que operan en base a fuerzas de atracción y repulsión, los que ofrecen una medida de la fuerza de la descarga, los que miden la longitud de la descarga y finalmente los que miden los efectos caloríficos de la descarga.

platillo, que sumergían en agua a modo de areómetro y que tras recibir la influencia eléctrica de una máquina electrostática emergía, siendo preciso disponer sobre el platillo una serie de pesos para devolverlo a su posición inicial, pesos éstos que ofrecían una medida de la fuerza eléctrica; el electroscopio de John Canton (1718-1772) diseñado en 1753 dispone, en lugar de los hilos de Dufay, de sendas esferas de corcho que encierra en el interior de una caja de madera. El primer electrómetro de descarga fue el ideado por Thomas Lane en 1766 y el que primero utilizó el calor desprendido en el fenómeno fue Ebenezer Kinnersley (1711-1778) con su "termómetro eléctrico" de 1761. Algunos años después William Henley (-1779) desarrollaría en 1770 el "electrómetro de cuadrantes" consistente en una escala semicircular dividida en grados sobre la que una aguja puede pivotar y señala la divergencia. Con el "plato condensador" de Volta (1780), en esencia su electroscopio con el conductor superior formado por un condensador con el platillo móvil, la sensibilidad de este tipo de aparatos se verá aumentada significativamente.

Coulomb y la ley de acción entre cargas

Los trabajos llevados a cabo por Coulomb en el campo de las aplicaciones mecánicas, sus estudios sobre la fricción, la torsión de hilos metálicos, y por supuesto la electricidad y el magnetismo, le han convertido en uno de los investigadores más importantes del s. XVIII. Como buen conocedor de las leyes de la mecánica y las matemáticas, buscó aplicar los modelos mecánicos al estudio de la electricidad y el magnetismo, estudios que le habrían de conducir a formular de forma definitiva las leyes fundamentales de la electrostática y la magnetostática. Su balanza de torsión[10], básicamente una aguja imanada que suspendía libremente de un hilo metálico, y que menciona por primera vez en una memoria escrita en 1777 y titulada *Recherches sur la meilleure manière de fabriquer les aiguilles aimantées,* sus primeros escritos sobre la torsión, sería el aparato básico en su experimentación. En este trabajo Coulomb demuestra que la fuerza de torsión es proporcional al ángulo de giro y expone la posibilidad de aplicar la torsión de los hilos como método de medida de fuerzas muy pequeñas, utilizando este principio para medir las fuerzas magnéticas.

De su memoria del 9 de septiembre de 1784 titulada *Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsión et sur l'elasticité des fils de métal,* en la que enunciaría su teoría sobre la torsión habrían de surgir sus posteriores investigaciones en física. Así, en 1785 escribe su primera memoria fundamental sobre la Electricidad: *Construction et usage d'une balance électrique,* con el subtítulo, *Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les élemens des corps électrisés du même genre d'électricité se repossent mutuellement.* En ella presentaría los detalles de su balanza adaptada al estudio de la electricidad, aparato que con una precisión muy superior a la ofrecida por los electrómetros en uso, le permitiría demostrar de forma definitiva la ley del inverso del cuadrado de la distancia para las fuerzas entre dos cuerpos cargados con electricidades de igual signo. En

10 Sobre la balanza de Coulomb, véase la obra: Blondel, C. ; Dörries, M. (eds.), *Restaging Coulomb. Usages, controverses et réplications autour de la balance de torsion,*Florencia: Leo S. Olschki, 1994.

una segunda memoria, en 1787, haría extensiva esta ley para el caso de las fuerzas atractivas.

Posteriormente, dedicó tres memorias, la realizadas entre 1787 y 1790, a examinar la carga eléctrica y su distribución en la superficie de los conductores metálicos. Con su plano de prueba, aparato formado por un pequeño disco conductor fijo a un mango aislante, y su balanza eléctrica, precisaría el concepto de densidad eléctrica y demostraría que la distribución de la carga no depende de las afinidades químicas sino de la mutua repulsión entre cargas de igual signo, la geometría y posición de los cuerpos, localizándose la carga en la superficie exterior de los mismos y no en su interior[11].

Con los trabajos de Coulomb, las teorías sobre la electricidad y el magnetismo se convirtieron en una extensión de la mecánica newtoniana en estas ramas de la física. El retraso en el desarrollo de ambas ciencias, con respecto a la mecánica de sólidos y fluidos, la óptica o la mecánica celeste, se explica en parte, por lo complejo y novedoso de las experiencias que habían de tener lugar a lo largo del s. XVIII. Ya en el s. XIX llegaría el perfeccionamiento de los métodos de experimentación y de cálculo y, una singularidad que marcaría el inicio de una inesperada "revolución" en la ciencia; el descubrimiento de la pila y la electricidad dinámica.

Galvani, Volta y los fenómenos electrolíticos

Todo comienza con Galvani y sus estudios sobre anatomía, especialmente acerca de los nervios y músculos, realizados en la Universidad de Bolonia. En 1780 observa de forma casual las contracciones de los músculos de una rana por la inducción a distancia de una máquina eléctrica. Esta experiencia no fue publicada hasta 1791 en su memoria *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* y al comprobar que era posible reproducir el mismo fenómeno sin la participación de una fuente de electricidad externa, sino con la simple unión del músculo y el nervio por medio de un arco conductor, descubrió una nueva forma de producción de la electricidad distinta de las por entonces conocidas: influencia electrostática y frotamiento. Galvani la llamó "electricidad animal" y significó para él la confirmación de la creencia extendida en la época en cuanto a que por los nervios de los animales debía de circular un "fluido sutil" similar al de la electricidad ordinaria. La causa de la contracción, en analogía con la descarga en la botella de Leiden, sería el resultado de la descarga entre el nervio o armadura interna y el músculo que actuaría de armadura externa.

Lógicamente, su explicación acerca del fenómeno, que en honor a su descubridor se conocería como "galvanismo", se encuentra lejos de la interpretación ofrecida por Volta, quien en 1793, y tras una minuciosa experimentación, explica que la electricidad generada es el producto de un contacto entre conductores diferentes a través de un medio acuoso. Tras varias combinaciones realiza una clasificación de los metales en función de su "fuerza electromotriz" confirmando que el fenómeno sólo tiene lugar cuando el contacto se realiza entre conductores[12] diferentes. Parece que ya en 1796 disponía de todos los datos necesarios para crear su

[11] Para el estudio experimental de la distribución de la carga, Coulomb empleó conductores de diferentes tamaños y formas, como los cilindros y esferas conductoras, la esfera hueca, etc.

[12] En una primera clasificación, Volta había denominado a los diferentes metales como conductores de primera clase, siendo los medios acuosos o húmedos, aquellos definidos como de segunda clase.

"pila", pero no sería hasta 1800, cuando en una carta dirigida a Sir Joseph Banks (1743-1820), presidente de la Royal Society de Londres, y publicada en los *Philosophical Transactions*, diera luz pública a las características de su invento[13].

En septiembre de 1801 da a conocer su memoria acerca de la identidad del fluido eléctrico con el galvánico en la Academia de París, lectura a la que acudió Napoleón y a cuya propuesta le fue concedida la medalla de oro de la Institución francesa. Varios años antes, hacia 1777, Volta había introducido una modificación en la forma de análisis por métodos eudiométricos. Con el "eudiómetro de chispas" por él diseñado, consiguió la síntesis del agua por medio de la descarga eléctrica, descubrimiento éste que se convirtió en uno de los más importantes del s. XVIII.

Si en 1800, Anthony Carlisle (1768-1840) y William Nicholson (1753-1815) habrían de descubrir de forma casual la descomposición del agua por electrólisis, y Davy anunciar en 1807 sus importantes análisis sobre las sales fundidas en los que logró descomponer con la corriente eléctrica la sosa y la potasa separando el sodio y el potasio de las mismas, el más profundo y sistemático estudio realizado sobre el fenómeno de la electrólisis sería llevado a cabo, algún tiempo después, por Michael Faraday (1791-1867).

El conocido científico inglés había dedicado la primera y segunda serie de sus *Experimental Researches* al conocimiento de las relaciones entre la electricidad y el magnetismo, y en 1832 comenzaría sus investigaciones acerca de la identidad entre las electricidades producidas por los generadores electrostáticos y las pilas voltaicas. Para ello diseña una serie de aparatos[14] que le permitirán comprobar cuantitativamente que la descarga electrostática y la corriente voltaica descomponen el agua, y que la cantidad de electricidad necesaria para ello está relacionada con los productos de la descomposición química que tiene lugar en el proceso de electrólisis. Así, Faraday enunciaría las dos leyes fundamentales del fenómeno electroquímico: la acción química o el poder de descomposición es exactamente proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la solución y que la masa de sustancia depositada o disuelta por una misma cantidad de electricidad es proporcional a su equivalente químico.

Las experiencias de Faraday acerca de la descomposición de los líquidos por la corriente, le llevan a investigar la acción del campo eléctrico en todo tipo de materiales. Dedicó a este tema cuatro series de sus *Researches* y con su conocida "jaula", descubrió el fenómeno de las pantallas eléctricas y verificó el principio de conservación de la carga enunciado por Franklin.

Sobre las descargas eléctricas en gases

Las primeras observaciones acerca de las descargas eléctricas en gases fueron realizadas durante el s. XVII cuando, de manera casual, Jean Picard (1620-1682), astrónomo francés de contrastado prestigio, se fijó en la luminiscencia azulada proveniente de un barómetro que transportaba. A este destello lo llamó "luz barométrica" y relacionó su procedencia con los movimientos más o menos bruscos del mercurio, encontrando en el ámbito de la química una explicación satisfacto-

13 El dispositivo de Volta estaba formado por una serie de discos de plata y zinc separados por piezas de cartón o piel humedecidas en agua salada o cualquier otro líquido buen conductor. Una pila de tamaño medio podía estar construida con cuarenta o cincuenta pares de conductores así formados.

14 El voltámetro fue el aparato ideado por Faraday para la medida de las cantidades de electricidad. En su aparato original utilizaba el agua acidulada y electrodos de platino, recogiendo por tanto una medida del volumen de oxígeno e hidrógeno desprendido en el proceso.

ria de la observación realizada. El hecho tenía lugar a comienzos de 1676 y no sería hasta 1705 cuando Hauksbee, tras sus estudios sobre el fenómeno, ofreciera una interpretación de carácter eléctrico.

A mediados del s. XIX comenzó a investigarse de forma exhaustiva la conducción eléctrica en gases enrarecidos y ello tuvo lugar gracias a dos avances técnicos importantes: el carrete o bobina de inducción ideada por Hienrich Daniel Rühmkorff en 1851, capaz de producir altas tensiones a partir de las corrientes generadas por una pila, y la bomba de vacío de mercurio inventada por Johan Heinrich Wilhelm Geissler (1815-1879) hacia 1855.

Los tubos construidos por Geissler y que llevan su nombre, eran ampollas de vidrio con dos electrodos de platino que permitían descargas eléctricas a baja presión. Los tubos ofrecían espectaculares efectos de color que fascinaban a las audiencias que acudían a las demostraciones de la época, especialmente entre los años 1860 y 1870. El uso con fines científicos de los tubos de Geissler fue muy diverso. En 1858 Julius Plücker (1801-1868) descubrió que la fluorescencia que se apreciaba en la parte del tubo donde se localiza el ánodo, dispuesto frente al cátodo, podía desplazarse bajo la acción de un imán. Su discípulo Johan Wilhelm Hittorf (1824-1914) completó los estudios de aquél, comenzando sus investigaciones en 1869. Construyó un tubo en forma de "L" y dispuso los electrodos en los extremos. Encontró que la fluorescencia del vidrio es debida a una radiación procedente del cátodo que se desplaza en línea recta y cuya dirección de salida no dependía de la posición del ánodo.

Los resultados de las investigaciones de Hittorf le sirvieron diez años después a William Crookes (1832-1919) para realizar una serie de experimentos con los tubos por él mismo diseñados y que recibieron el nombre, como en el caso de Geissler, de su inventor. Las brillantes experiencias realizadas por Crookes confirman que la radiación estudiada por Hittorf es perpendicular a la superficie del cátodo; utilizando cátodos cóncavos demuestra que la radiación se focaliza en un punto donde la temperatura alcanza valores suficientes como para fundir una lámina de platino; comprueba que dicha radiación excita la fosforescencia de ciertos minerales y confirma que los campos magnéticos son capaces de desviar los haces de la hasta el momento desconocida radiación. Sus experiencias le llevan a sostener que la materia radiante formaba un cuarto estado de agregación: el estado ultragaseoso. Eugen Goldstein (1850-1930) fue quien en 1876 llamó rayos catódicos a esta radiación procedente del cátodo y quien, en 1886 descubre, mediante un cátodo agujereado, los rayos canales o rayos positivos, llamados así originalmente por la aparente "canalización" surgida de los agujeros practicados en el cátodo.

La naturaleza de los rayos catódicos fue descubierta por Joseph John Thomson (1856-1940) en 1897, y la de los rayos canales se la debemos a Wilhem Wien (1864-1928). El primero encontró que los rayos catódicos estaban formados por partículas universales de naturaleza eléctrica, pues determinó que la relación entre la caga eléctrica que presentaban y su masa no dependía del tipo de gas en el que tenía lugar la descarga; había descubierto el electrón. El segundo demostró que los rayos canales eran partículas cargadas positivamente y que dependían del gas en

el interior del tubo, por lo que dedujo que se trataba de iones positivos de los átomos o moléculas del mismo.

Antes de que tuviera lugar el descubrimiento del electrón se produjo una observación de importantes consecuencias. En noviembre de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) advierte una fosforescencia en unos cristales de platinocianuro de bario, dispuestos a cierta distancia de un tubo de Crookes con el que estaba experimentando. Esta radiación se producía al chocar los rayos catódicos contra el vidrio del tubo de descarga. Röntgen denominó rayos X a esta nueva y desconocida radiación que significó un gran avance en el conocimiento de la física de los átomos, por no hablar de sus implicaciones en el ámbito de las aplicaciones médicas y demás utilidades radiológicas.

En esta sección hemos reunido aquellos aparatos propios de un gabinete de física del s. XIX destinados al estudio de los fenómenos eléctricos, desde las primeras experiencias hasta el descubrimiento del electromagnetismo y el desarrollo de la electrodinámica, que se tratará en el capítulo siguiente. Se han incluido ciertos instrumentos cuya invención es posterior a este descubrimiento pero que hemos considerado debían de formar parte de este capítulo fundamentalmente por una mayor homogeneidad en el diseño del siguiente, que de esta forma estará dedicado exclusivamente a los aparatos relacionados con experiencias electromagnéticas y electrodinámicas, así como sus primeras aplicaciones prácticas.

La mayoría de las piezas han sido fabricadas en la segunda mitad del s. XIX y primeras décadas del XX y su estudio nos mostrará: modelos de máquinas electrostáticas de frotamiento, influencia o de transporte mecánico de la carga; botellas de Leiden y otros condensadores eléctricos; cilindros y esferas conductoras; excitadores; aparatos para ejemplificar fenómenos de influencia como el granizo eléctrico; otros que ilustran los efectos de la descarga eléctrica de forma vistosa como los cuadros mágicos o los tubos centelleantes; los taladratarjetas y la prensa para mostrar los efectos caloríficos de la descarga; electrómetros, pilas y voltámetros, eudiómetros; instrumentos de medida como el puente de Wheatstone y el de Kohlrausch, cajas de resistencias; los citados tubos de Geissler, Crookes, o rayos X, con el aparato portátil de rayos X Sánchez como generador del alto potencial requerido para el funcionamiento de los mismos, y finalmente, aquellos aparatos destinados al estudio de los efectos termoeléctricos.

ELECTRICIDAD

Rosa Mª Martín Latorre

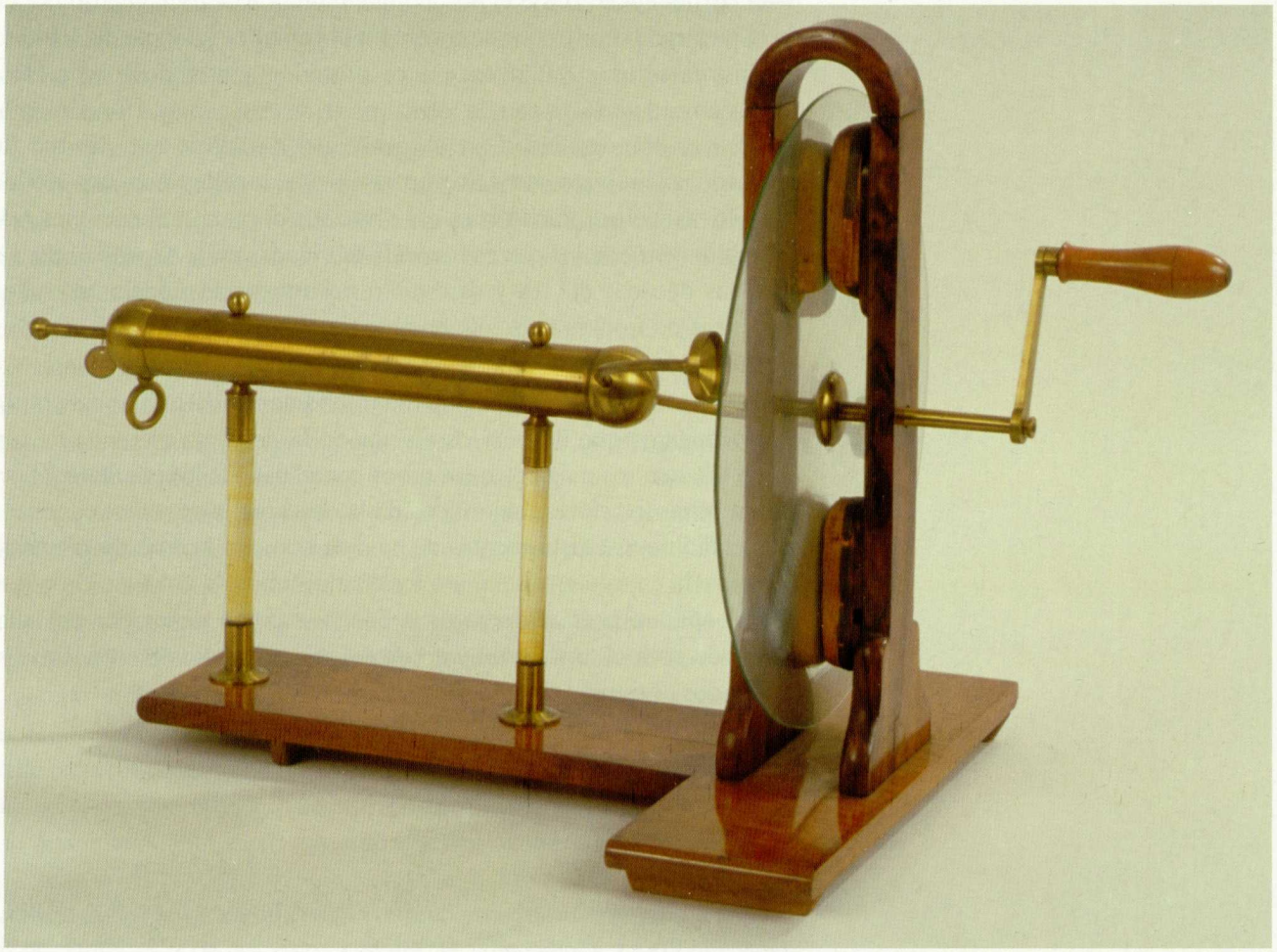


Fig. 70

44. MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE UN CONDUCTOR

Nº inv.: 95/31/127
1840-1870
87,5x46,5x56 cm
Madera, latón, vidrio, cuero

Las máquinas eléctricas o generadores electrostáticos constituyen una forma de transformar la energía mecánica en eléctrica. Se dividen en dos grandes grupos; las de frotamiento y aquellas de inducción o multiplicadores eléctricos.

La máquina electrostática de un conductor como la que aquí se presenta pertenece al primero de los grupos citados y funciona por tanto, produciendo carga eléctrica por frotamiento.

Para ello, el disco de vidrio debe rozar, en su movimiento de rotación, con las almohadillas de cuero dispuestas a tal efecto hacia la mitad del mismo. De esta forma adquiere carga positiva, pues la negativa producida en el cuero se pierde al estar ambas almohadillas conectadas a tierra. Conforme la carga generada aumenta, lo hace también el campo eléctrico en las proximidades de las puntas del conductor, de manera que llega un momento en el que pasa carga negativa del conductor al disco, neutralizando éste y quedando aquél cargado positivamente. Si en este momento se acerca la mano al cilindro, se produce una fuerte chispa, consecuencia de la diferencia de potencial entre el mismo y la mano.

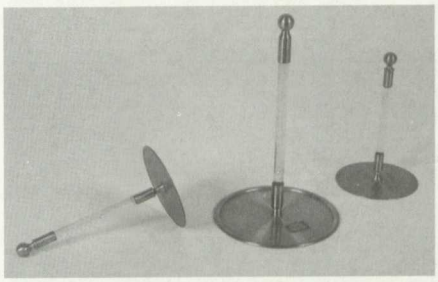


Fig. 71

45. ELECTRÓFOROS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/95; 95/31/96; 95/31/97
1880-1900
Dm.12x20,5 cm; dm.17x30 cm; dm.12,1x21 cm
Latón, vidrio, metal
1870-1890

En la fotografía se muestran tres electróforos de similares características. Este aparato, ideado por Volta en el último cuarto del s. XVIII, constituye la primera máquina eléctrica por influencia. Se utiliza por tanto, para generar electricidad por medio del fenómeno de la influencia eléctrica, resultando su funcionamiento más sencillo que el de las máquinas de frotamiento.

Para ello, era preciso disponer de un disco de resina o ebonita, que se conseguía tras fundir dicho material en el molde formado con una caja de madera. Para obtener electricidad era necesario, en primer lugar, frotar la resina con un tejido de lana o una piel de gato, de manera que ésta se cargara con electricidad negativa. Posteriormente, se situaba sobre la misma el electróforo, que en ocasiones era construido con madera o escayola forrada con papel de estaño. Por influencia, la ebonita, cargada negativamente, atrae las cargas positivas del disco metálico hacia la superficie en contacto con la misma, quedando en la otra cara de éste toda la carga negativa. Si con la mano tocamos esta parte del electróforo, perderá la carga negativa por lo que permanecerá electrizado positivamente.

Fig. 72.- Manejo del electróforo

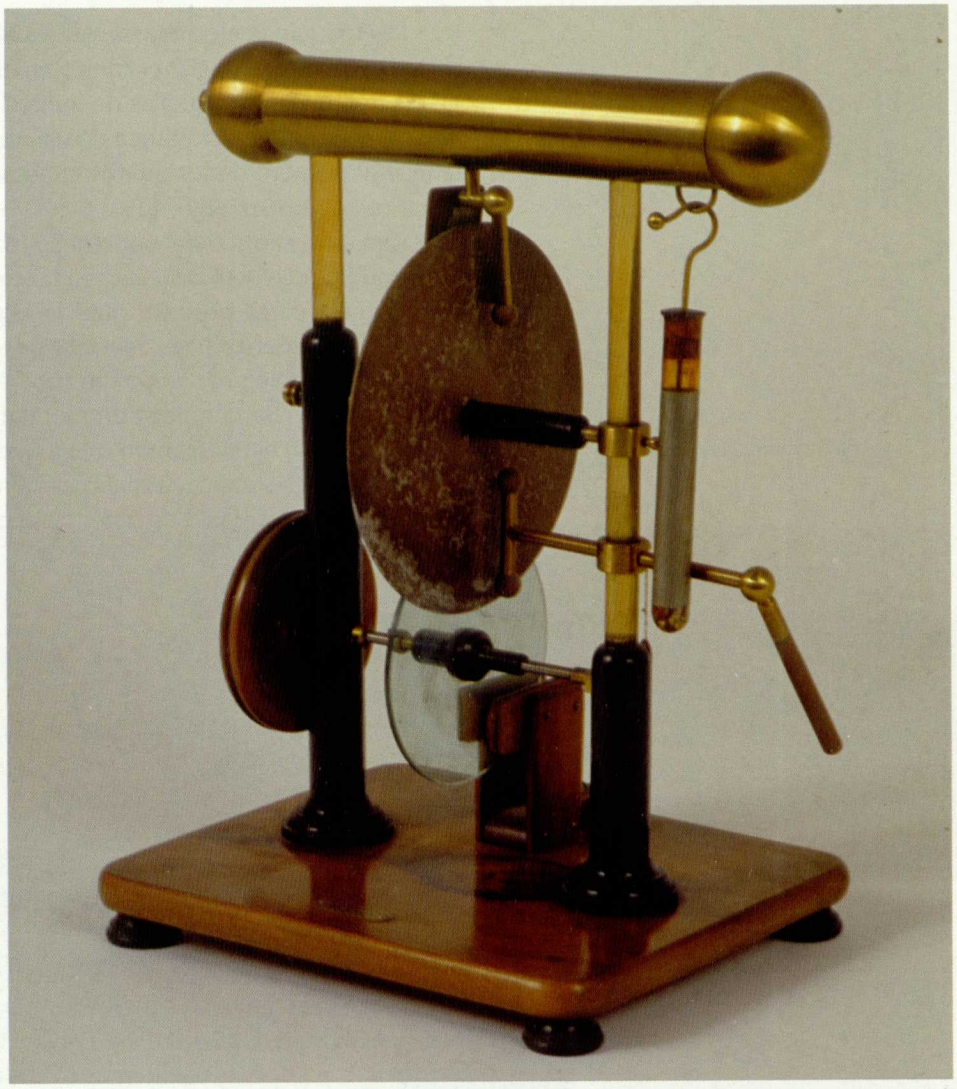


Fig. 73

46. MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE CARRÉ

Nº inv.: 95/31/124
1880-1900
27,1x32,5x46,8 cm
Madera, latón, ebonita, vidrio, metal, cuero
«TALLER DE MECANICA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

La máquina electrostática de Carré está formada por un disco de vidrio y otro de ebonita, de mayor diámetro que el primero, y dispuesto por encima de aquél. Ambos se sitúan verticalmente, solapándose en parte, y de forma que pueden girar en sentidos contrarios gracias a un sistema de poleas. Al rotar el disco de vidrio entre las dos almohadillas de cuero, éste adquiere carga positiva, que provoca en el disco de ebonita una reordenación de cargas por influencia. La cara exterior del mismo quedará por tanto cargada positivamente. Esta carga positiva atrae la negativa del peine inferior, y el electrodo correspondiente queda por tanto cargado positivamente, siendo entonces negativa la carga neta del disco de ebonita. A través del contacto superior, el cilindro pierde la carga positiva nece-

saria para neutralizar la negativa del disco de ebonita, por lo que quedará cargado negativamente, permitiéndose con ello, la aparición de chispas entre ambos electrodos.

La máquina conserva una pequeña botella de Leiden para el almacenamiento de la carga producida.

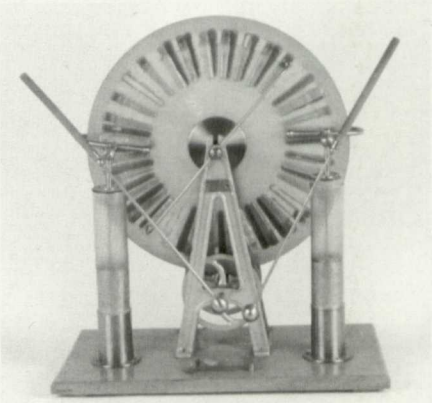


Fig. 74

47. MÁQUINA DE WIMSHURST

Nº inv.: 95/31/126
1890-1910
34,5x54,8x67 cm
Madera, latón, estaño, metal, ebonita
«Vda. DE ARAMBURO» / «Fábrica de aparatos de precisión» / «Príncipe 12.» / «MADRID»

La máquina de Wimshurst es un ejemplo de máquina electrostática de inducción, que se ceba a sí misma, gracias a los sectores metálicos dispuestos radialmente en la superficie de los discos, y que tienen por objeto la inducción inicial sobre las varillas, en rozamiento con los mismos. En su funcionamiento, ambos discos se dividen en dos mitades, cada una de las cuales adquiere carga igual pero de signo contrario, debido a la colocación diametral y perpendicular de las escobillas. Con esta configuración, cada mitad de disco induce en la zona correspondiente del otro una carga igual y de signo contrario. A la altura de unos peines metálicos situados sobre la horizontal, las cargas en los dos discos son del mismo signo, de manera que al repelerse mutuamente, se favorece que dichos peines la recojan y la almacenen en las dos botellas de Leiden.

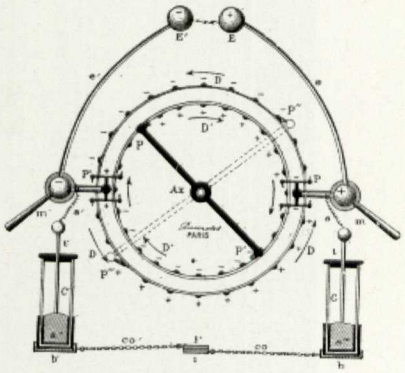


Fig. 75.- Esquema para la teoría de la máquina de Wimshurst

El propósito de estas máquinas era conseguir, de manera ininterrumpida, electricidad de ambos signos y elevadas tensiones. Las máquinas de Wimshurst fueron los generadores de influencia más habituales en los Gabinetes de Física de finales del XIX, sin embargo, el rendimiento de los mismos no era el más adecuado, pues si bien resulta ser proporcional al número de discos y al diámetro de éstos, tienen el inconveniente de su accionamiento manual, que propicia un movimiento irregular, causa de un voltaje variable, al ser éste proporcional a la velocidad del giro de los discos. Además, con la humedad y los descensos de temperatura el funcionamiento de la máquina de Wimshurst se resiente en gran medida.

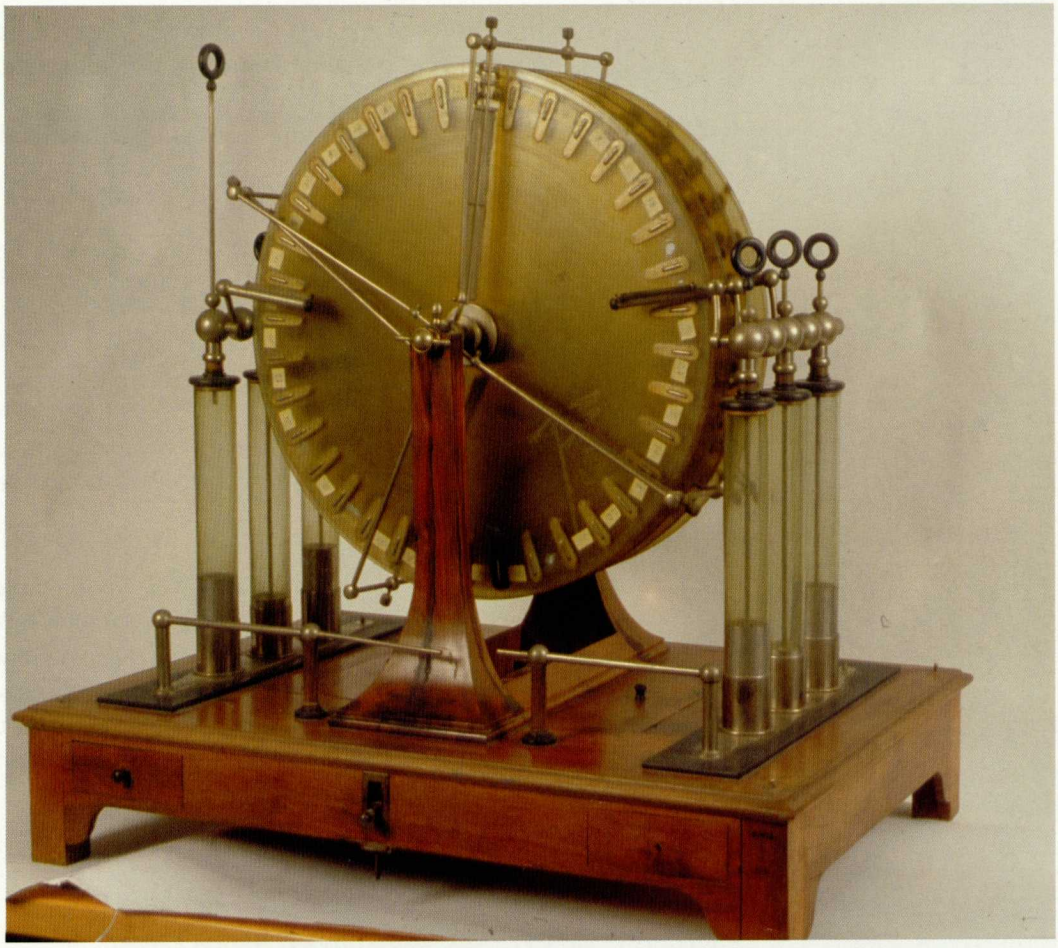


Fig. 76

48. MÁQUINA DE WIMSHURST DE OCHO DISCOS

Nº inv.: 95/31/128
1901
73x105x103 cm
Madera, vidrio, metal
«LA CENTELLA» / «DEL PROFESOR E. CUADRADO» / «ZAMORA» / «Nº 99» / «1901»

Esta máquina de Wimshurst constituida por ocho discos de grandes dimensiones es, por su tamaño y número de elementos, un potente generador de carga. Su funcionamiento es pues el mismo que el de la máquina anterior, formada tan sólo por dos discos. Al igual que aquella, se trata por tanto de una máquina electrostática de inducción, cuyo funcionamiento se basa en la disposición de las escobillas y configuración final de la máquina.

Fig. 77

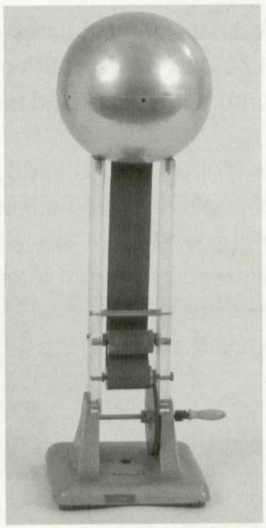


Fig. 78

49. GENERADOR ELECTROSTÁTICO DE VAN DER GRAAFF

Nº inv.: 95/31/129
1930-1960
18x18x56,5 cm
Hierro, madera, goma, plástico
«LEYBOLD»

En la fotografía se muestra uno de los dos modelos de generador de Van de Graaff que se conservan en la colección. Este aparato, ideado hacia 1931 por Robert Jemison Van der Graaff (1901-1967), basa su funcionamiento en un hecho diferente al de la fricción o la influencia eléctrica.

Al actuar sobre la polea, la correa, fabricada con un material aislante, toma en su extremo inferior la carga proveniente de una bateria, transportándola hacia la parte superior del aparato, gracias a la acción de dos cilindros con posibilidad de giro en torno a sus ejes horizontales. Una vez allí, un colector retira la carga de la cinta y la deposita en la esfera metálica. La esfera se comporta entonces como un gran condensador esférico, siendo la carga transportada mecánicamente la fuente de corriente que lo alimenta. La sucesiva aportación de cargas es la causa del aumento de potencial en la esfera, que cuando alcanza la tensión de ruptura del entorno próximo, produce una fuerte descarga.

Fig. 79

50. BOTELLAS DE LEIDEN

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/119; 95/31/120
1850-1880
Dm. 9,4x23,7 cm.; dm.11x28,5 cm
Latón, vidrio, lacre, metal, corcho

En la figura se presentan dos botellas de Leiden de similares características. Este aparato, ideado por Musschenbroek en 1745, es un dispositivo utilizado para almacenar carga eléctrica, y constituye por tanto, el primer condensador eléctrico de la historia.

Está formado por dos medios conductores, por un lado la varilla de latón y las láminas de pan de oro del interior, y por otro el papel de estaño que rodea a la botella, separados ambos mediante un medio dieléctrico: el vidrio de la botella. La carga se almacena gracias a la influencia ejercida por el conductor interno, que recibe la carga de una máquina electrostática, sobre el externo, conectado a tierra. El resultado es que ambos conductores adquieren cargas opuestas, pero de igual valor.

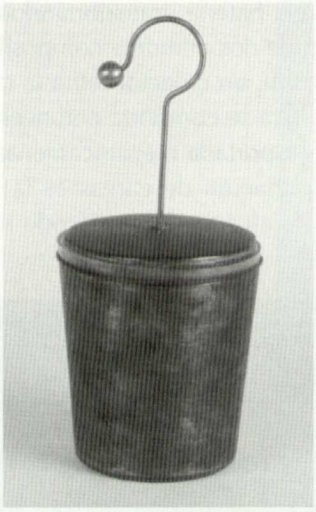


Fig. 80

51. BOTELLA DE LEIDEN DE ARMADURAS MÓVILES

Nº inv.: 95/31/121
1860-1890
Dm. 13,9x30 cm
Metal, vidrio, latón

Con esta botella de Leiden, formada por tres partes como las que se observan en el grabado de la Fig. 81, es posible mostrar cómo se distribuye la carga en el interior de la misma, y comprobar que buena parte se almacena en el vidrio, y no sólo en las armaduras de metal. Para ello, se procede a cargar la botella de Leiden. Posteriormente, utilizando accesorios aislantes, se desmonta el dispositivo y se contacta por separado con cada una de las armaduras metálicas. Esto equivale a conectarlas a tierra y, por tanto, a descargarlas. Un vez armado de nuevo el aparato se observa que, mediante el uso de un excitador, se produce una chispa casi tan fuerte como la que generaba al principio, mostrando así que el vidrio cumple también funciones de almacén de carga.

Fig. 81.- Botella de Leiden de armaduras móviles

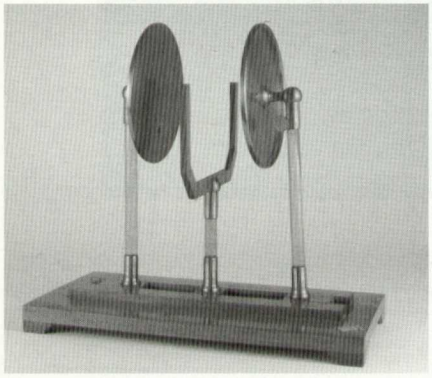


Fig. 82

52. CONDENSADOR DE AEPINUS

Nº inv.: 95/31/689
1870-1890
49x24,3x44 cm
Madera, latón, vidrio

El condensador ideado por Aepinus en 1759 está formado por dos platillos circulares metálicos aislados por mangos de vidrio, entre los que se sitúa una lámina dieléctrica, que en este caso no se conserva. Para cargarlo se pone en contacto uno de los platillos con una máquina eléctrica, mientras que el otro se comunica con tierra. Este último se carga por influencia del primero con carga negativa en su cara

interior, hecho que puede observarse situando sendos péndulos de médula de saúco en cada platillo. Una lámina de vidrio interpuesta entre los dos conductores permite evitar la descarga espontánea del aparato.

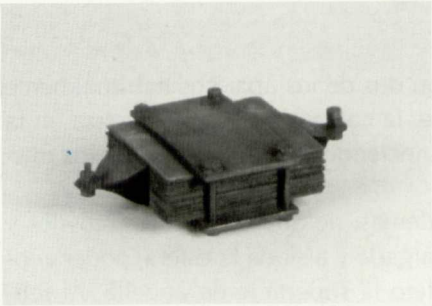


Fig. 83

53. CONDENSADOR

Nº inv.: 95/31/459
1890-1910
18x11,3x4,9 cm
Latón, papel, estaño

En general existen dos tipos bien diferenciados de condensadores eléctricos; los de capacidad fija y aquellos de capacidad variable. Este aparato en concreto, que en ciertos tratados y manuales de física aparece como condensador de Fizeau, pertenece al primero de los grupos definido, y se caracteriza por tener construidas sus armaduras con hojas de estaño separadas por papel parafinado y unidas en dos grupos: uno de número par y el otro de número impar.

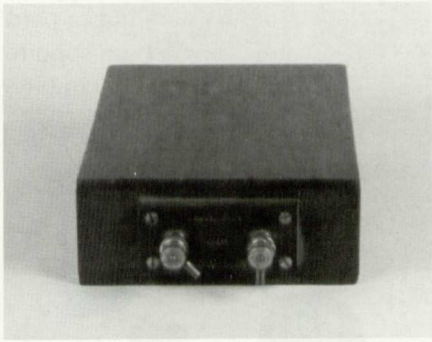


Fig. 84

54. CONDENSADOR DE 2 MICROFARADIOS

Nº inv.: 95/31/171
1890-1910
33x20x8 cm
Madera, ebonita, latón, metal
«2 Microfaradios» / «7751-1» / «J. Carpentier. Paris»

Este modelo de condensador de capacidad fija es uno de los diseños más habituales para este tipo de aparatos a finales del s. XIX. Construido por la casa Jules Carpentier de París, se caracteriza por presentar las dos armaduras en el interior de una pesada caja de madera.

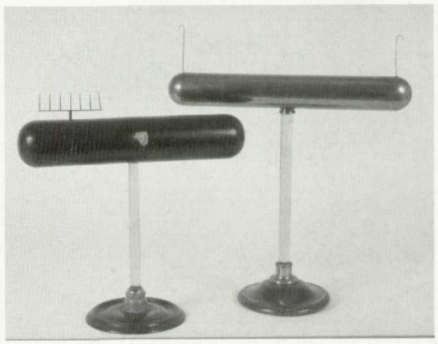


Fig. 85

55. CILINDROS CONDUCTORES

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/89; 95/31/90
1890-1910; 1880-1900
19,8x44,5x46 cm; 20x49x48,5 cm
Metal, latón, vidrio, madera

Este tipo de conductores metálicos con formas geométricas simples fueron ampliamente utilizados en demostraciones de tipo experimental sobre diferentes fenómenos eléctricos.

Con el cilindro que incorpora el accesorio en forma de «peine» es posible observar el "poder de las puntas», o cómo los conductores con terminaciones puntiagudas dan salida por dichas partes a la electricidad que acumulan, fenómeno éste descubierto por Franklin. Por otra parte, con el segundo cilindro y dos péndulos de esferillas de médula de saúco en sus extremos se muestra la electrización por influencia de un cuerpo en estado neutro, cuando se encuentra en presencia de otro cargado eléctricamente.

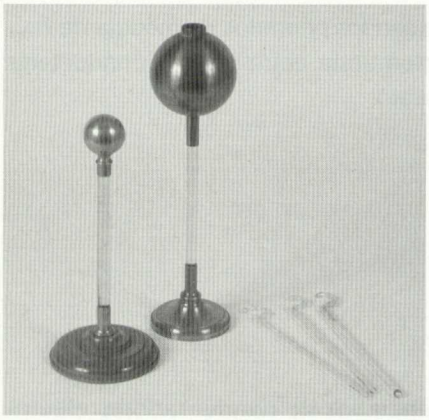


Fig. 86

56. ESFERA CONDUCTORA, ESFERA HUECA Y VARILLAS AISLANTES

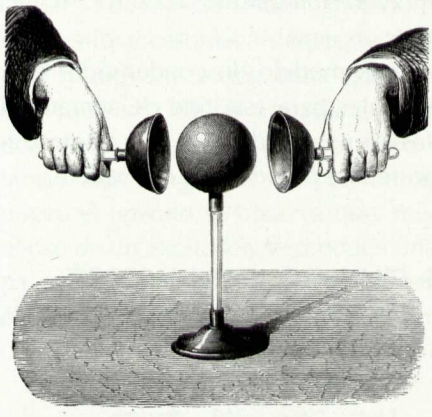
De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/91; 95/31/94; 95/31/255; 95/31/256; 95/31/257
1880-1900 (esfera conductora); 1870-1890 (esfera hueca); 1900-1910 (varillas)
Dm. 15x35 cm; dm. 12x44 cm; 1x3,5x29,5 cm. (cada varilla)
Latón, vidrio, madera

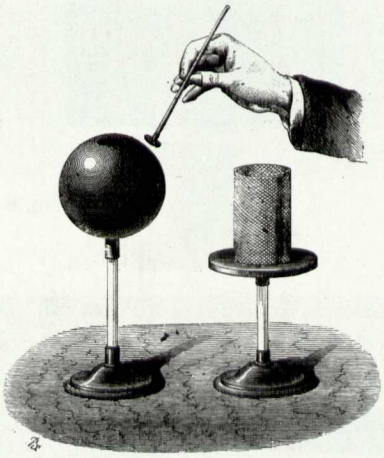
La esfera conductora y la esfera hueca son dos de los aparatos habitualmente empleados en electricidad para demostrar que, la carga eléctrica se localiza en la superficie exterior de los conductores, permaneciendo la cara interna de los mismos vacía de cargas.

En el primer caso, es preciso disponer, además, de dos hemisferios móviles y huecos, con mangos aislantes, para una vez cargada y aislada la esfera, poder acoplarlos de forma que éstos cubran por completo la superficie de aquella. Al retirarlos, se observará que la esfera se encuentra descargada y no así los dos hemisferios, que se habrán electrizado, pues la carga se sitúa en la superficie externa del conductor que forman el conjunto de la esfera y los hemisferios. Con la esfera hueca y las varillas de vidrio se comprueba igualmente el fenómeno antes descrito, siendo preciso en tal caso utilizar una esferilla metálica que se haría colgar de las varillas a modo de péndulo eléctrico.

En el grabado de la Fig. 88 se muestra la experiencia de la esfera hueca pero utilizando un *plano de prueba*, y un cilindro de metal enrejado sobre un soporte de latón aislado, lo que se conoce como "jaula de Faraday", aparato también empleado para la misma demostración sobre la distribución de las cargas.

Fig. 87.- Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores
A la derecha
Fig. 88.- Distribución de la electricidad en la superficie de una esfera hueca y en la "jaula de Faraday".





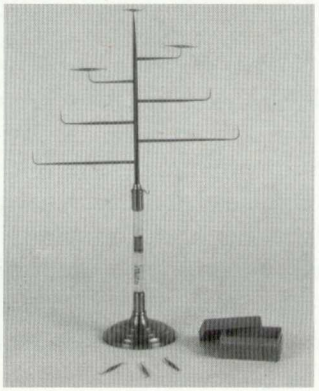


Fig. 89

57. EFECTO ELÉCTRICO EN PUNTAS

Nº inv.: 95/31/102
1870-1900
7,8x21,3x35 cm
Vidrio, latón, cartón

Este aparato funciona de forma similar a como lo hace el molinete eléctrico, no en vano procede movido por el mismo fenómeno que aquél, conocido habitualmente como el «poder de las puntas» y que opera en base a dos principios claros: la conservación del momento lineal y la distribución de la carga eléctrica

en los conductores metálicos. Es un hecho demostrado que la carga se acumula de una forma notable en las zonas de los conductores con forma de punta, originando intensos campos eléctricos en su entorno. Dichos campos pueden llegar a ser de una magnitud tal que ionicen el aire alrededor de las puntas. De esa forma, puesto que cada una de las pequeñas piezas con los extremos doblados puede girar, si se cargan mediante una botella de Leiden, por ejemplo, los fuertes campos eléctricos en las proximidades de los extremos ionizan el aire circundante. La reacción a este efecto de ionización se manifiesta por medio de una rotación de estos conductores ya que, si los iones positivos son repelidos y los negativos atraídos, o viceversa, la conservación del momento lineal obliga al dispositivo a girar. Este movimiento persiste hasta que las puntas quedan descargadas.

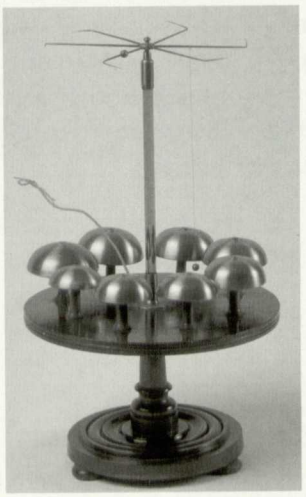


Fig. 90

58. CAMPANARIO ELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/103
1870-1890
Dm. 25,5x44 cm
Madera, latón, vidrio

El campanario eléctrico se utiliza, al igual que la pieza anteriormente descrita, para mostrar el fenómeno del «poder de las puntas». En este caso la parte superior del aparato forma el clásico molinete eléctrico que gira una vez se ha cargado suficientemente. En su movimiento de rotación, la pequeña esfera de metal que pende de uno de los radios, golpea las campanillas, produciendo diferentes sonidos, efecto éste por el que se le dió el nombre de campanario eléctrico al aparato

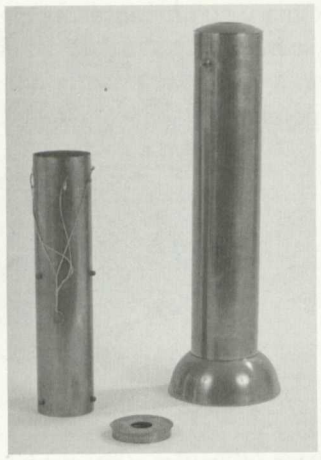


Fig. 91

59. CILINDRO DE FARADAY

Nº inv.: 95/31/266
1870-1890
Dm. 22,5x73,5 cm
Latón, ebonita

Con este aparato de grandes dismensiones, es posible demostrar, de forma experimental, cómo un conductor electrizado rodeado completamente por otro cuerpo conductor descargado, induce sobre la superficie interior de éste una carga de igual magnitud y de distinto signo a su propia carga. Así mismo, pueden mostrarse los efectos de apantallamiento que un conductor conectado por su cara exterior a tierra produce sobre otro conductor interior cargado.

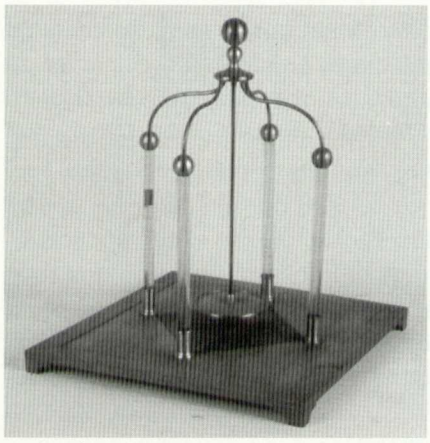


Fig. 92

60. TEMPLETE PARA DANZA ELÉCTRICA

Nº inv.: 95/31/101
1860-1880
40,3x40,3x46 cm
Madera, vidrio, latón

El templete para danza eléctrica y el granizo eléctrico presentado a continuación son dos de los clásicos aparatos utilizados para mostrar los efectos que tienen lugar al introducir en el seno de un campo eléctrico un material fácilmente electrizable. En el caso del templete se dispone, entre el platillo de latón y la lámina de estaño de la base, un muñeco realizado con médula de saúco. Si se conectan a diferentes potenciales electrostáticos ambos terminales, éstos adquieren una carga eléctrica de distinto signo. Parte de la carga de la lámina de estaño pasa al muñeco de médula de saúco el cual, atraído por el platillo y repelido por la lámina, se elevará hacia el primero. Al tocarlo, el muñeco no sólo se descarga, sino que adquiere carga contraria y el efecto es el opuesto: repulsión por parte del platillo y atracción por parte de la lámina. Al caer de nuevo, se repite el proceso hasta que el sistema queda descargado. Este movimiento recuerda una danza y de ahí el nombre del aparato.

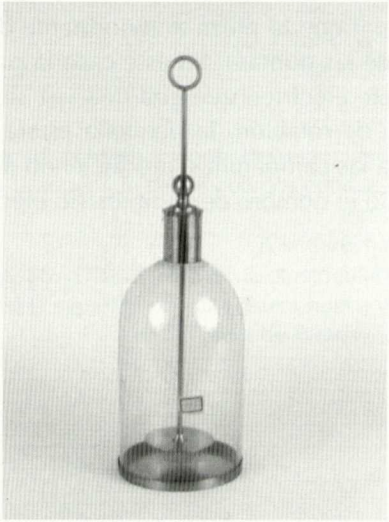


Fig. 93

61. GRANIZO ELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/100
1850-1870
Dm.14x52 cm
Vidrio, latón

Como en el caso del templete eléctrico, el granizo se utiliza para mostrar los efectos del campo eléctrico sobre un cuerpo cargado. En este aparato son las esferas de médula de saúco las que adquieren parte de la carga de la base, previamente cargada, y sobre la que se sitúan inicialmente. Al encontrarse a diferente potencial en relación al disco metálico situado por encima y como consecuencia del campo eléctrico establecido, las pequeñas esferas se mueven hacia el disco hasta entrar en contacto con el mismo, perdiendo su carga y tomando parte de la de éste. El proceso se repite una y otra vez hasta que los potenciales se igualan y cesa el movimiento de las esferillas.

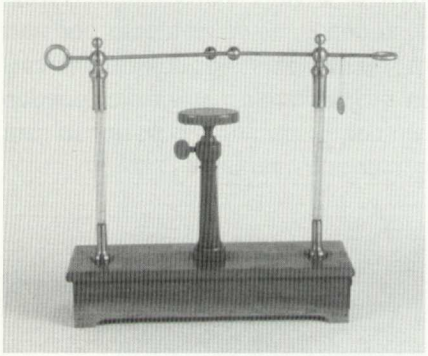


Fig. 94

62. EXCITADOR UNIVERSAL

Nº inv.: 95/31/104
1860-1880
13,5x38x38,5 cm
Madera, latón, vidrio

El excitador era uno de los clásicos aparatos utilizados para mostrar los efectos de una descarga eléctrica, al atravesar un determinado objeto o incluso pequeños seres vivos. Con este fin, se situaba la prueba sobre la plataforma, y se conectaban las argollas de las barras metálicas a los dos bornes de una batería. En el momento en que se producía la conexión, si la distancia entre las dos pequeñas

esferas era lo suficientemente corta, saltaba una chispa que atravesaba la muestra. En ocasiones, el cuerpo colocado era un metal muy fino, comprobándose, tras la descarga, cómo éste era fundido debido a la enorme resistencia eléctrica que oponía al paso de la carga.

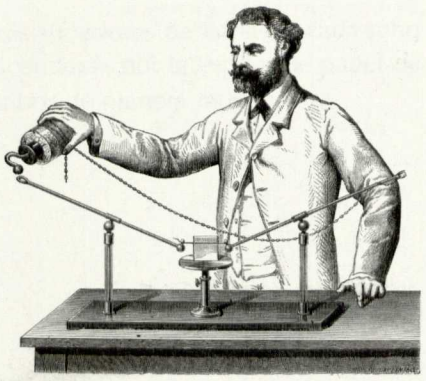


Fig. 95.- Excitador universal

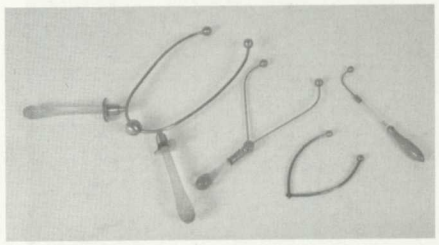


Fig. 96

63. EXCITADORES CON MANGOS DE VIDRIO, MADERA Y EXCITADOR SENCILLO

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/105; 95/31/106; 95/31/108; 95/31/110
1870-1890
6,2x50x59 cm; 3,5x23,5x43,5 cm; 1,8x15x21,3 cm; dm. 2,9 x 33,7 cm
Vidrio, latón, madera

En la foto se muestran un grupo de excitadores de características muy similares. Este tipo de aparatos eran utilizados para provocar la descarga instantánea de los condensadores e igualar su potenciales, en concreto las botellas de Leiden, sin que el experimentador sufriera daño alguno. Para ello, y en el caso del excitador con dos mangos de vidrio, basta con poner en contacto una de las esferitas de latón con una armadura del condensador, y aproximar la otra esferita a la segunda armadura. Al comunicar ambos terminales salta la chispa que descarga el condensador. Con el excitador que dispone de una sola esfera conductora era posible tranportar la carga de un medio conductor a otro.

Fig. 97

64. EXCITADOR MICROMÉTRICO

Nº inv.: 95/31/113
1880-1900
35x16,2x34,5 cm
Madera, latón, metal, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

A diferencia de los clásicos excitadores anteriores, este modelo dispone, como su propio nombre indica, de un tornillo micrométrico que permite regular la distancia a la que se ha de producir la fuerte descarga, y de una caja de protección en la que se introducen ambos terminales, con el fin de evitar posibles accidentes para el experimentador.

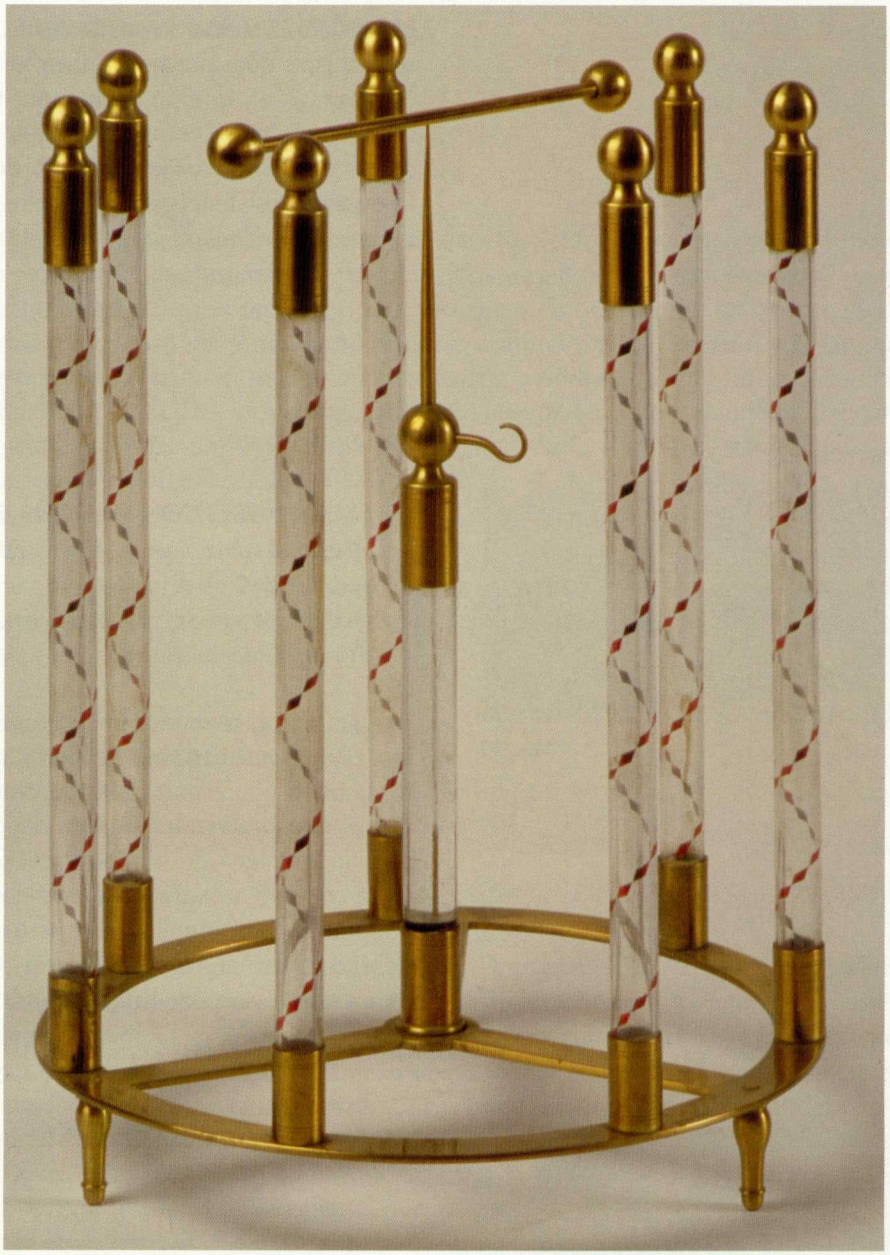


Fig. 98

65. TUBOS CENTELLEANTES

Nº inv.: 95/31/114
1860-1890
Dm. 31,2x42,2 cm
Latón, vidrio, estaño

Este curioso aparato de demostración permite observar el fenómeno de la descarga eléctrica de una forma muy llamativa. Una vez conectados los conductores de una máquina electrostática a los dos electrodos del aparato: el mástil central y la base en forma de anillo o aro plano, se consigue una diferencia de potencial entre ambos. En estas condiciones, al hacer girar la barra horizontal, que se encuentra al mismo potencial que el mástil central, se producirán descargas eléc-

tricas en forma de chispa entre ésta y las piezas superiores de latón de cada tubo de vidrio. Cada descarga, «descenderá» o «ascenderá» por la espiral de papel de estaño hasta llegar a la base, iluminando los tubos de manera muy vistosa.

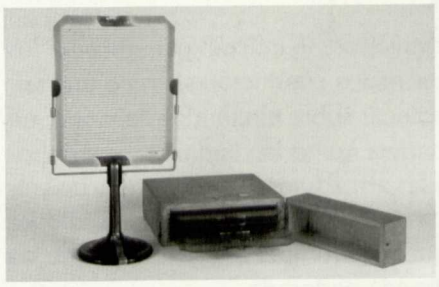


Fig. 99

66. CUADROS MÁGICOS

Nº inv.: 95/31/115
1880-1900
15,5x24,5x35 cm
Madera, latón, vidrio

Al igual que en el caso de los tubos centelleantes, el cuadro mágico es uno de esos aparatos fundamentalmente didácticos. En cada una de las placas de vidrio se han dibujado con papel de estaño, diversas figuras que se iluminan vivamente, gracias a las descargas en forma chispa que se producen entre los cortes practicados a la línea de estaño, cuando se conectan los bornes del cuadro a las armaduras de una botella de Leiden.

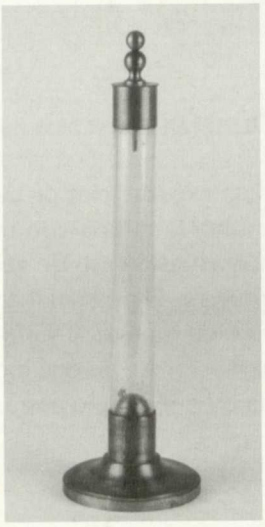


Fig. 100

67. TUBO PARA FUSIÓN DE HILOS METÁLICOS

Nº inv.: 95/31/533
1860-1890
Dm. 12x40,5 cm
Latón, vidrio, metal

Este aparato responde a uno de los diversos modelos ideados para mostrar los efectos caloríficos de la descarga eléctrica, en este caso en el seno de un líquido. Cuando se sumerge un hilo metálico lo suficientemente fino en un fluido que opone gran resistencia al paso de la corriente, la descarga de una batería es suficiente como para que el conductor se caliente y llegue a fundir con facilidad.

El hilo permanece tirante dentro del tubo por el peso de una esfera que se mantiene en contacto con la que se encuentra fija en la base del aparato. Para realizar la experiencia se conectan los extremos de éste a una fuente de corriente produciéndose la descarga en el interior.

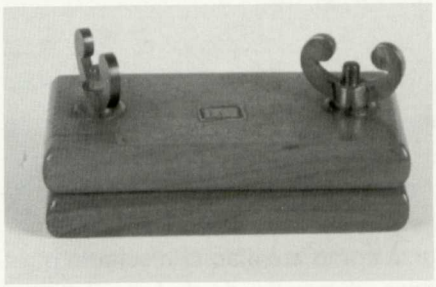


Fig. 101

68. PRENSA PARA EFECTOS CALORÍFICOS EN CONDUCTORES

Nº inv.: 95/31/131
1840-1870

Este aparato se utiliza en experiencias relacionadas con los efectos caloríficos producidos por el paso de la electricidad en metales y, en particular, para obtener los llamados «retratos eléctricos». Estos se logran realizando un calado de un dibujo sobre una cartulina. A ambos lados del mismo se colocan sendas láminas de estaño, y sobre ellas una muy fina de oro en contacto con las dos de estaño. Debajo de todo ello se dispone una lámina de seda. Situando toda la zona del calado en la prensa y haciendo pasar una corriente a través de las láminas de estaño, el oro se funde debido a la gran resistencia eléctrica que opone, depositándose el polvo de oro resultante sobre la seda.

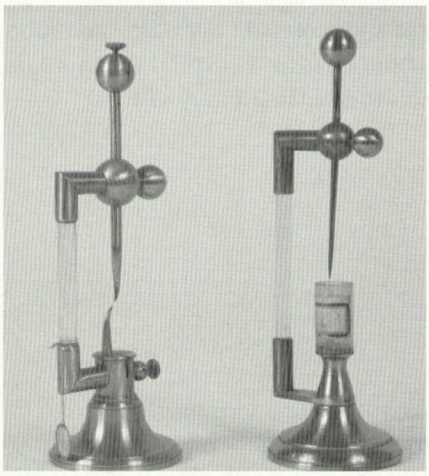


Fig. 102

69. TALADRATARJETAS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/275; 95/31/276
1850-1880
6,4x6,4x19,7 cm; 6,5x6,7x20,3 cm
Latón, vidrio

Los dos taladratarjetas, de similares características, se utilizan para mostrar los efectos de una descarga eléctrica sobre cuerpos malos conductores, como una tarjeta de cartulina o un naipe. Para ello, basta colocar sobre el cilindro de vidrio, en el espacio intermedio de las dos puntas, una tarjeta como la citada. En esta disposición, si se conecta cada una de las varillas a las armaduras de una botella de Leiden salta una chispa que atraviesa la cartulina. Este efecto sucede sólo si la diferencia de potencial entre las puntas es suficiente para romper el dieléctrico que las separa; aire y cartón, en cuyo caso la tarjeta queda perforada.

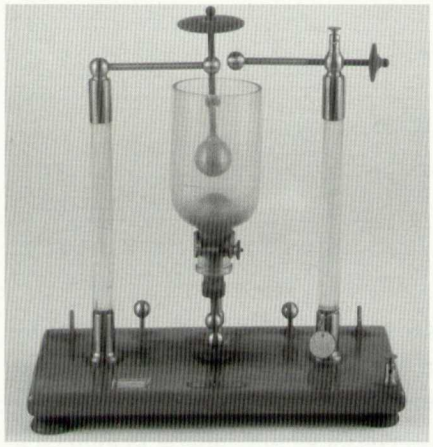


Fig. 103

70. APARATO PARA DESCARGAS

Nº inv.: 95/31/277
1870-1890
30x17x34,5 cm
Madera, latón, vidrio
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Con este tipo de aparatos es posible realizar experiencias de descarga en distintos medios dielétricos, demostrando como salta la chispa con mayor o menor intensidad, dependiendo del tipo de conductor, en este caso de geometría esférica, la distancia entre ambos, y el medio interpuesto. El potencial a partir del cual se produce la descarga se denomina explosivo o de ruptura, y varía con el tipo de dieléctrico. Con este modelo es posible comparar cómo y en qué momento se produce la descarga tanto en medios líquidos como en el propio aire.

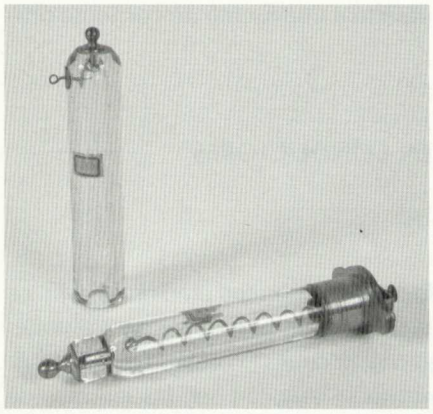


Fig. 104

71. EUDIÓMETROS DE DESCARGA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/633; 95/31/746
1860-1890
Dm. 5x22,7 cm; 28x8,5x5,2 cm
Vidrio, metal, latón

En la fotografía se muestran dos modelos de eudiómetro de chispa o de descarga. Este aparato se utiliza para realizar análisis volumétricos de las mezclas de gases o la síntesis de algunas sustancias cuyos componentes son gaseosos. Su funcionamiento se basa en el fenómeno por el cual, una descarga eléctrica generada entre los dos electrodos del interior del tubo, es capaz de producir una combinación entre el gas de su interior y el que se utiliza como auxiliar. El resultado puede ser un compuesto tanto líquido como gaseoso, dependiendo de los productos utilizados. En el caso del aire, compuesto mayoritariamente por nitrógeno y oxígeno, se procede mezclándolo con cierta cantidad de hidrógeno. Después de producirse la descarga se observa la aparición de agua, mientras que desaparece una parte del volumen de gas. Con ayuda de este aparato era posible medir la pureza

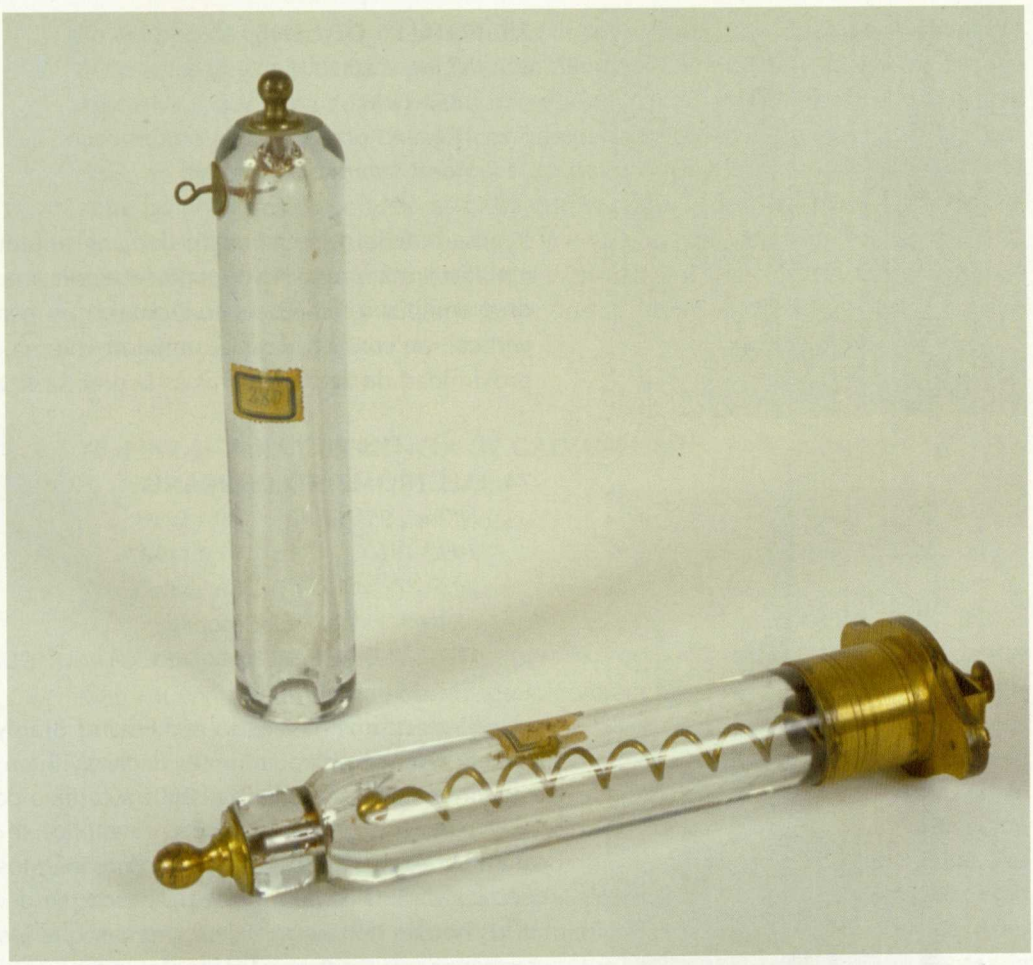


Fig. 104

del aire, determinando la cantidad de oxígeno en el mismo. Ambos eudiómetros carecen de escala, por lo que eran utilizados fundamentalmente como aparatos de demostración.

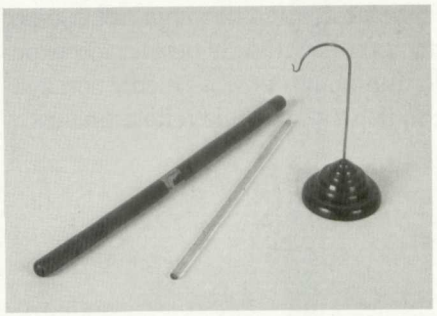


Fig. 105

72. PÉNDULO ELÉCTRICO CON BARRA DE EBONITA Y DE VIDRIO

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/118; 95/31/703; 95/31/742
1880-1900; 1900-1910; 1870-1890
Dm. 1,9x40,7 cm; dm. 0,8x31 cm; dm. 8,6x19 cm
Ebonita, vidrio, madera, latón

El péndulo eléctrico es uno de los aparatos más simples utilizados en el estudio de los fenómenos de atracción y repulsión eléctrica. Con él se pueden realizar diferentes experiencias, como mostrar si un cuerpo está electrizado, o el tipo de carga que posee, por lo que es en realidad un sencillo electroscopio. Para hacer patentes estos fenómenos se utilizan, generalmente, esferas de médula de saúco que cuelgan de un hilo de seda desde la parte superior de péndulo. Como fuente de electricidad se puede utilizar una barra de vidrio o de resina previamente electrizada, tras ser frotada con un paño de lana. Cada barra se carga con electricidad de signo contrario, el vidrio con carga positiva y la de ebonita con carga negativa.

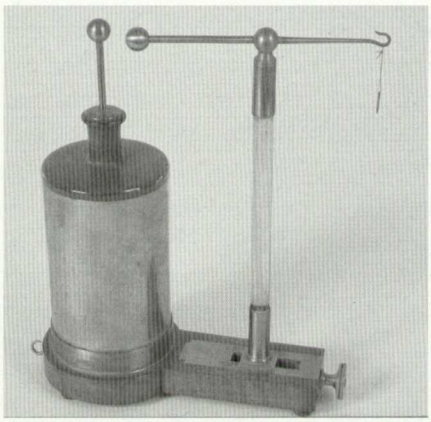


Fig. 106

73. BOTELLA DE LANE

Nº inv.: 95/31/111
1850-1880
11,6x27,5x32,5 cm
Vidrio, latón, metal, madera

La botella o electrómetro de Lane se utiliza para medir diferencias de potencial. Su armadura exterior comunica con una esfera aislada que se dispone sobre un tornillo micrométrico horizontal, que permite su acercamiento al conductor vertical, en contacto con la armadura interna. Cuando la diferencia de potencial y proximidad de ambas esferas es la precisa se produce una descarga.

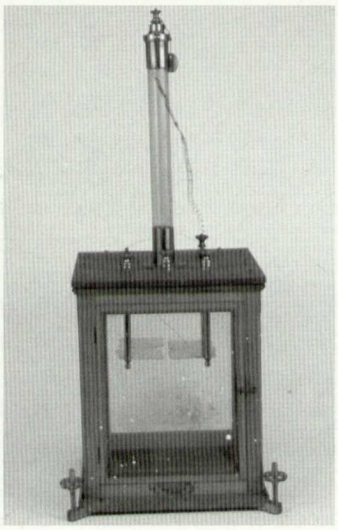


Fig. 107

74. ELECTRÓMETRO DE BRANLY

Nº inv.: 95/31/142
1890-1910
24,5x27,3x61 cm
Madera, vidrio, latón, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

El electrómetro ideado por Eduard Branly (1844-1940), es una modificación del electrómetro de cuadrantes de Sir William Thomson (Lord Kelvin; 1824-1907), ideado en la década de los 1860. Se utiliza para determinar el potencial eléctrico o la carga de los conductores. Para ello, se ponen en comunicación mediante alambre de cobre, dos a dos y en diagonal, los tornillos de amarre de los que penden las varillas de latón. Además, cada par de tornillos así conectados, van unidos a los bornes de una pila de forma tal, que los sectores opuestos del electrómetro se mantienen a potenciales iguales, pero con signos contrarios. En esta disposición, la pequeña plancha de aluminio en forma de «8» que cuelga de la parte superior del tubo de vidrio mediante un hilo de platino no sufrirá movimiento alguno, pues se encuentra en estado neutro. Por contra, si ponemos en contacto mediante un conductor, el alambre de platino por el extremo superior del tubo de vidrio con el cuerpo cuyo potencial queremos averiguar, la plancha sufrirá una desviación a los sectores positivos o negativos. De esta forma sabemos el tipo de carga del cuerpo, mientras que su potencial puede ser calculado con el ángulo de desviación experimentado por la plancha de aluminio, ángulo éste que es posible medir con ayuda de un pequeño espejo que gira solidario con la plancha y que refleja una escala graduada sobre la que se sitúa un anteojo.

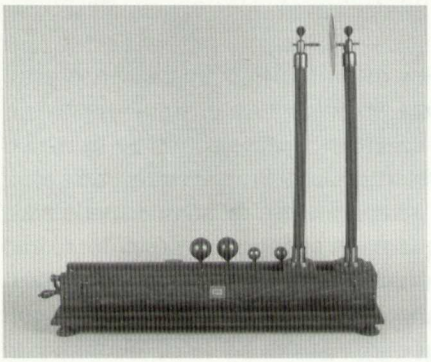


Fig. 108

75. ESPINTERÓMETRO

Nº inv.: 95/31/112
1880-1900
74,5x21,5x66,5 cm
Madera, latón, cobre, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Al aproximar suficientemente dos conductores a diferente potencial se observará como entre ambos salta un chispa, de mayor o menor intensidad, dependien-

do del tipo de geometría y la proximidad de los mismos. La chispa eléctrica se produce entre dos conductores a una cierta diferencia de potencial que se denomina explosiva y que varía con el medio interpuesto. Con el espinterómetro, dispositivo constituido por conductores esféricos que pueden ser aproximados de forma gradual, es posible determinar tensiones de ruptura. Para ello, se varía la distancia entre las dos esferas conductoras hasta que salta la primera chispa. Se mide la distancia a la que ha ocurrido la descarga y, con ayuda de una serie de tablas en las que se ofrecen las diferentes tensiones explosivas en función de la distancia de separación, para distintos diámetros, es posible determinar el potencial aplicado entre ambos conductores.

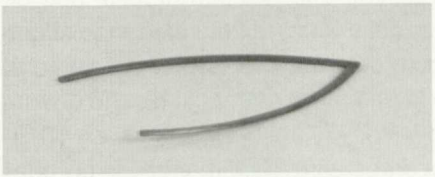


Fig. 109

76. PINZAS PARA EXPERIENCIA DE GALVANI

Nº inv.: 95/31/607
1860-1880
0,8x13x18,7 cm
Cobre, zinc

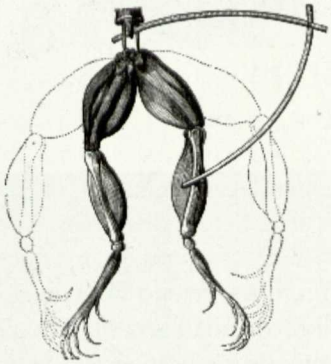


Fig. 110.- Experiencia de Galvani.

Este tipo de accesorio se utiliza para reproducir la experiencia realizada por Galvani en 1786 en la que observaba la contracción de los músculos de las patas posteriores de una rana, al poner en contacto por medio de las pinzas los nervios lumbares con los músculos crurales. Para explicar la experiencia, Galvani supuso la existencia de una electricidad inherente al animal, que denominó «fluido vital» que circulaba de los nervios a los músculos por el arco metálico. La explicación correcta la proporcionó Volta algunos años más tarde: no existía tal fluido vital. Las pinzas actuaban como si fueran una pila, de tal manera que los electrodos eran cada una de sus ramas y el electrolito el medio acuoso del interior de la rana. Además, para que la contracción de los músculos tenga lugar, es condición necesaria que ambas partes de la pinza tengan potenciales electroquímicos diferentes.

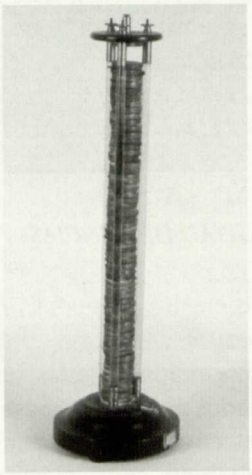


Fig. 111

77. PILA DE VOLTA

Nº inv.: 95/31/202
1890-1910
Dm. 17x55 cm
Madera, vidrio, cobre, zinc, paño

Cuando se introducen dos metales distintos en un electrolito presentan una determinada diferencia de potencial, por lo que al ser conectados por medio de un conductor exterior se producirá una corriente eléctrica. Este tipo de pilas son las conocidas como pilas hidroeléctricas, también llamadas voltaicas o galvánicas. En el caso de la pila de columna de Volta se alternan los discos de cobre y zinc, separados por rodajas de paño empapadas en agua acidulada. El primer elemento de la pila en su parte inferior es de cobre, que se carga de electricidad negativa, mientras que el último de los discos es de zinc y toma carga positiva. Las sucesivas modificaciones que han ido cambiando la configuración original de la pila de Volta tienen como propósito evitar, en el mayor grado posible, el fenómeno de la polarización de los electrodos que trae como consecuencia un menor rendimiento de la misma.

Fig. 112

78. PILA DE WOLLASTON

Nº inv.: 95/31/672
1860-1890
12,8x11,5x24,3 cm
Vidrio, zinc, cobre, madera, latón

La pila de Wollaston, es una notable modificación de la pila de corona. A diferencia de ésta, la lámina de zinc se encuentra rodeada de una de cobre que la cubre por completo sin llegar a tocarla en ningún momento. Esta disposición hace que sea una de las pilas más potentes, pues es mayor la superficie de cobre y zinc en contacto con el agua acidulada, y con ello la cantidad de fluido descompuesto por la acción química es considerablemente mayor. Otra ventaja de este tipo de pilas es la posibilidad de extraer ambas láminas del vaso mediante el mango al que van sujetas, de esta manera se evita el desgaste del zinc y el cobre, así como el empobrecimiento del agua acidulada cuando la pila no se utiliza. El diseño de esta pila se debe a físico inglés William Hyde Wollaston (1766-1828) quien, en 1815, reparó en la mejora que tal configuración procuraba en el rendimiento de las pilas de la época.

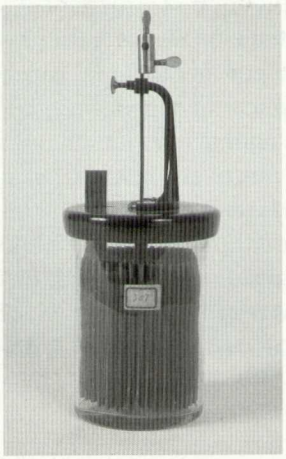


Fig. 113

79. PILA REYNIER

Nº inv.: 95/31/203
1890-1910
Dm. 12,6x33,2 cm
Madera, vidrio, cobre, zinc, latón
«SYSTEME REYNIER B_TE S.G.D.G.»

Este tipo de pila de cobre y zinc tiene un forma y diseño muy peculiar, pues el cobre se dispone en forma de pliegues en torno a una barra de zinc. Su configuración ofrece, al igual que en el caso de la pila de Wollaston, una gran superficie de contacto con el agua acidulada.

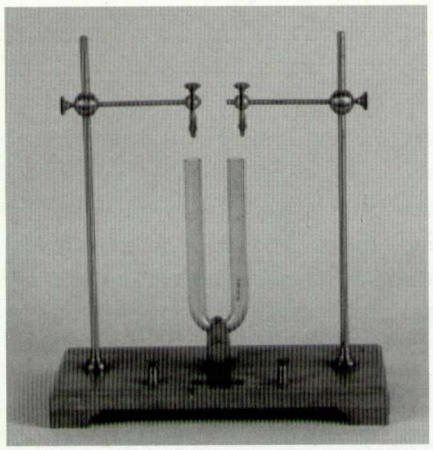


Fig. 114

80. APARATO PARA EXPERIENCIAS DE ELECTRÓLISIS

Nº inv.: 95/31/220
1880-1900
31x15,5x35 cm
Madera, vidrio, latón, cobre, hilo
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Este aparato se utiliza para comprobar los efectos químicos producidos por el paso de una corriente eléctrica cuando atraviesa compuestos conductores. El fenómeno de la electrólisis consiste en la descomposición de estas sustancias, llamadas electrólitos, que generalmente están formados por ácidos, bases o sales disueltas en agua. El paso de la corriente por el electrólito produce la división de las moléculas que lo forman en dos partes de diferente carga eléctrica: los aniones, que se acumulan en la superficie del ánodo en contacto con el polo positivo del generador, y los cationes, que hacen lo propio en el cátodo o polo negativo del generador. En el caso de la electrólisis de una sal o una base, el catión lo forma el

metal contenido por la misma, mientras que en un electrólito acidulado el catión es su hidrógeno. Así, por ejemplo, en la electrólisis del agua acidulada, el cátodo desprende hidrógeno y el ánodo oxígeno.

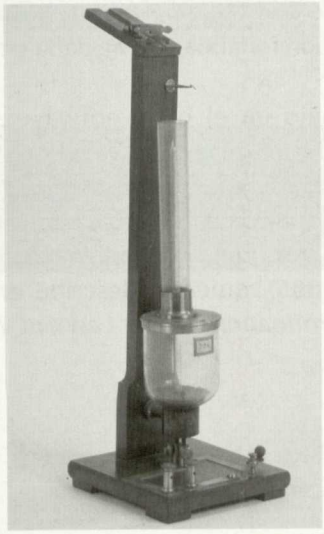


Fig. 115

81. VOLTÁMETRO

Nº inv.: 95/31/528
1870-1890
26x18,8x56,5 cm
Madera, latón, vidrio, ebonita, cobre, pasta, metal
«E. Ducretet a Paris»

El voltámetro se emplea en experiencias de electrólisis para medir una cierta cantidad de electricidad. Su funcionamiento se basa en la cantidad de materia que la propia corriente es capaz de liberar por electrólisis en un electrodo.

Este modelo de voltámetro resulta uno de los diseños más adecuados para este fin. En el caso de la descomposición del agua acidulada por medio de corriente continua se recoge el gas liberado en uno de los electrodos, y gracias a la escala graduada se puede conocer el volumen del mismo, dato éste con el que es posible calcular la cantidad de materia descompuesta por la corriente y por consiguiente la corriente que ha circulado. El gas desprendido del otro electrodo sale directamente al exterior a través de un pequeño orificio en la placa de latón que cierra el vaso de vidrio del aparato.

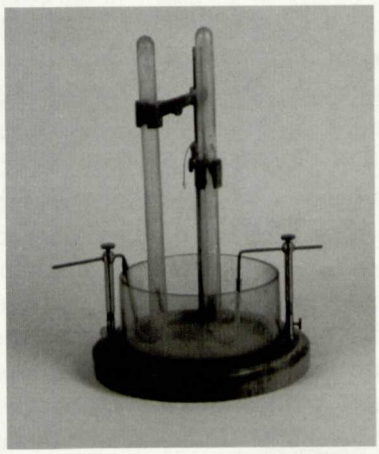


Fig. 116

82. VOLTÁMETRO

Nº inv.: 95/31/211
1890-1910
27x23x35 cm
Madera, vidrio, metal, latón

Como se ha señalado con anterioridad, en la descomposición del agua acidulada por medio de corriente continua se desprende oxígeno e hidrógeno, que en este aparato son recogidos en sendas campanas de vidrio. Sin embargo, este modelo de voltámetro, a diferencia del primero descrito, no resulta el más adecuado para la medida de corrientes, pues el volumen de gas desprendido es muy pequeño y resta precisión al aparato.

Fig. 117

83. PUENTE DE WHEATSTONE

Nº inv.: 95/31/152
1890-1910
116x17,7x13 cm
Madera, ebonita, metal, latón, cobre

El puente de Wheatstone se utiliza para determinar el valor de una resistencia eléctrica. Para ello se emplean resistencias auxiliares conocidas, una escala métrica, un hilo conductor que tiene la misma resistencia por unidad de longitud en toda su extensión, una pila eléctrica o un generador de corriente continua y un

un galvanómetro. Un cursor conectado al galvanómetro y que se mueve sobre el hilo conductor, estableciendo contacto en cada uno de sus puntos, se desplaza hasta que en el cuadro del galvanómetro no se produzca ninguna desviación, momento éste en el que el puente se encuentra en equilibrio y la resistencia desconocida, situada con anterioridad entre dos bornes, es proporcional a la relación de longitudes entre los dos segmentos de hilo que separa el cursor, cuyas dimensiones se miden en la regla graduada. La proporcionalidad viene dada por la resistencia auxiliar de comparación.

En 1843 Wheatstone publica un trabajo en el que verifica experimentalmente la ley de Ohm. Para la realización del mismo fue necesario el desarrollo de nuevo instrumental para la correcta medida de resistencias y corrientes, ideando para ello el reóstato o como popularmente se conoce, el "puente de Wheatstone", aparato que parece que fue originalmente inventado, por el también británico Samuel Christie (1784-1865), quien lo describe en un artículo de 1833 titulado, *Experimental Determination of the Laws of Magneto-electric induction...*

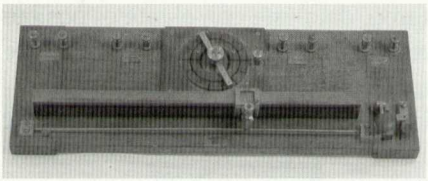


Fig. 118

84. PUENTE DOBLE DE THOMSON

Nº inv.: 95/31/155
1880-1900
68x24x12 cm
Madera, ebonita, latón, metal
«J. Carpentier» / «Paris»

En los puentes de hilo sencillos, la resistencia cuyo valor se desea conocer, ha de ser lo suficientemente grande como para que las resistencias de contacto en los bornes que fijan los diferentes elementos del puente sean despreciables frente a ésta, en cuyo caso, el efecto sobre la medida no tiene importancia. Para medir resistencias pequeñas en las que sí es determinante el problema anterior, se utiliza el puente doble de Thomson. En éste, la resistencia de medida y comparación se sitúan en serie, mientras que los extremos de ambas se unen por medio de resistencias variables o de proporción. El galvanómetro se deriva entre los dos puentes así formados. Las resistencias de proporción se toman de un reóstato circular doble, y la de comparación gracias al cursor que se desliza sobre el conductor metálico. En tal caso tenemos el puente de Thomson de hilo con cursor, en el que el equilibrio se verifica manteniendo constante la relación entre las resistencias variables y suprimiendo la corriente en el galvanómetro, variando la resistencia de comparación. En este punto la resistencia que se desea calcular resulta ser proporcional a la relación entre las resistencias de proporción, siendo la constante de proporcionalidad la propia resistencia de comparación.

Esta modificación del puente de Wheatstone fue llevada a cabo por Sir W. Thomson que mostró siempre un gran interés en el desarrollo del instrumental científico y en concreto aquél relacionado con los fenómenos eléctricos; prueba de ello son su electrómetro de cuadrantes o los diseños de galvanómetros de gran sensibilidad en la detección de corrientes sumamente débiles.

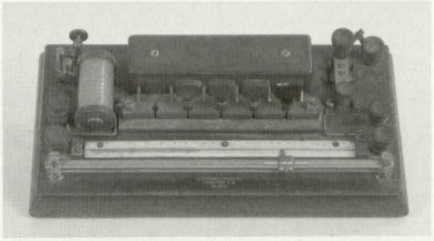


Fig. 119

Fig. 120

85. PUENTE DE MEDIDA UNIVERSAL DE KOHLRAUSCH

Nº inv.: 95/31/157
1890-1910
34,5x18,4x10,5 cm
Madera, latón, cobre, ebonita, metal, plástico
«HARTMANN & BRAUN A.G.» / «FRANKFURT A.M.» / «No. 1828.»

Este aparato se utiliza para medir las resistencias eléctricas de los líquidos. Basado su funcionamiento en el puente de Wheatstone, pero empleando la corriente alterna producida por una pequeña bobina de inducción, es posible determinar con este tipo de instrumentos la resistencia de los electrólitos, ya que una corriente de este tipo no produce descomposición alguna en los mismos. En este caso, el galvanómetro del puente de Wheatstone es sustituido por un teléfono que produce un menor o mayor sonido según se alcance o no el equilibrio en el puente. Cuando éste se consigue, el teléfono no emite sonido alguno o resulta prácticamente imperceptible.

En 1868 el físico y químico alemán Friedrich Wilhelm Georg Kolhlrausch (1840-1910) comienza sus estudios sobre la conductividad de las soluciones electrolíticas y los problemas de polarización en los electrodos, desarrollando técnicas de medida con el empleo de corrientes alternas.

Fig. 121

86. SOPORTES CON BORNAS PARA MÚLTIPLES CONEXIONES

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/586; 95/31/701
1880-1900; 1890-1910
Dm. 16,2x39,5 cm; 35,3x21,2x41 cm
Madera, metal, latón

Este tipo de accesorios, que en los catálogos de las casas fabricantes y diferentes manuales denominan como pinzas con pie de Holtz, son un tipo de borne muy concreto y práctico que se utilizan en numerosas experiencias eléctricas, ya que permiten realizar conexiones entre varios elementos con suma facilidad.

Fig. 122

87. REOCORDIO DE POGGENDORFF

Nº inv.: 95/31/151
1880-1900
127x14,2x9,5 cm
Madera, ebonita, metal, latón

El reocordio de Poggendorff es una forma particular de reóstato en el que dos alambres de platino, que se ponen en contacto gracias al mercurio que se encuentra en la cavidad del cursor, son atravesados por la corriente en una longitud tanto mayor cuanto más lejos de los bornes se encuentre el cursor, determinando con ello una mayor o menor resistencia al paso de dicha corriente.

Fig. 123

88. CAJA DE RESISTENCIAS

Nº inv.: 95/31/135
1880-1900
Dm. 29,5x22,2 cm
Latón, ebonita, hierro, madera, hilo

La caja de resistencias es un aparato muy utilizado en los laboratorios de física, pues permite seleccionar de manera sencilla el valor deseado para una resistencia.

Este modelo, de característico diseño, basa su funcionamiento, como todos los aparatos de este tipo, en permitir el paso de la corriente eléctrica por los carretes, de resistencia conocida, dependiendo del valor de la resistencia que quiera ser introducido. Como es conocido, la resistencia eléctrica que ofrece un cable conductor de un determinado material es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección. La constante de proporcionalidad, la resistividad, depende exclusivamente del material conductor. En particular con este aparato es posible conectar al menos cuatro resistencias en serie correspondientes a las de unidad, decena, centena y millar. Las resistencias de unidad son las que tienen los cables del carrete de mayor sección y menor longitud y, lógicamente, aquellos carretes de menor sección y mayor longitud se han de corresponder con las resistencias de millar.

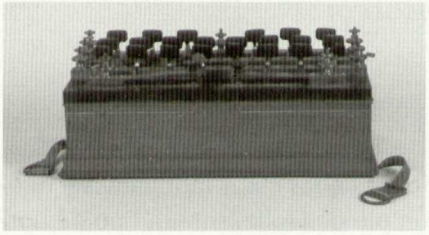


Fig. 124

Fig. 125

89. CAJA DE RESISTENCIAS

Nº inv.: 95/31/136
1870-1890
22,5x43x16,7 cm
Madera, latón, ebonita, cobre, cuero
«MAISON BREGUET PARIS»

Este modelo de caja más clásico quizás que el anteriormente descrito, funciona a partir de la acción de las piezas de latón dispuestas sobre la superficie de la misma, de escasa y, en la práctica, despreciable resistencia eléctrica, debido por una parte a la elevada sección transversal de las mismas y por otra a la alta conductividad eléctrica del latón. La caja de resistencias cuenta en su interior con veintidós arrollamientos de cable. En función de la longitud del mismo, de su sección transversal y del propio material con el que esté construido, cada arrollamiento posee una resistencia bien conocida. Cada uno de éstos se conecta con los dos vecinos por medio de sendos cables que, a su vez, están en contacto eléctrico con una de las piezas de latón situadas sobre la superficie. Si, estando todas las clavijas puestas se hace pasar una corriente, la resistencia que ésta encuentra a su paso es la de las piezas de latón, que como hemos dicho antes es muy baja y, en la práctica, despreciable. En estas condiciones, la cantidad de corriente que atraviesa los arrollamientos es «casi» nula. Sin embargo, al quitar una clavija se corta el circuito formado por las piezas de latón y se obliga a la corriente a atravesar uno de los carretes, de resistencia conocida. Al retirar sucesivas clavijas, se conectan resistencias en serie en el circuito hasta alcanzar el valor deseado.

Fig. 126

90. SHUNT PARA GALVANÓMETRO

Nº inv.: 95/31/188
1899
16,3x11,7x14,6 cm
Madera, latón, ebonita
«F. de C.» / «Galv. aperiódico» / «I.G. Martí - 1899 - M. Gil»

El *shunt* o reductor de los galvanómetros se emplea en las mediciones galvanométricas cuando el aparato utilizado es tan sensible que sólo puede recibir corrientes muy pequeñas. El *shunt* permite que por el galvanómetro pase una corriente lo suficientemente débil como para no deteriorarlo, actuando de reductor y permitiendo de esta forma un uso menos limitado de galvanómetros sensibles como los de Sir W. Thomson (Fig. 165) o el ideado por los franceses Marcel Deprez (1843-1918) y Arsène D'Arsonval (1851-1940) (Fig. 168). El *shunt* aquí presentado tiene la particularidad de haber sido construido en 1899 por los profesores de la entonces Facultad de Ciencias de Madrid; Don Ignacio González Martí y M. Gil.

Fig. 127

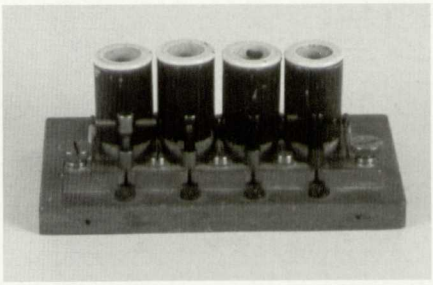


Fig. 128

91. REÓSTATO

Nº inv.: 95/31/195
1890-1910
17x10x6,5 cm
Madera, latón, metal, papel, ebonita, corcho, porcelana

Los reóstatos son resistencias variables a voluntad que se intercalan en los circuitos eléctricos con fines de medida y regulación. El que aquí se presenta es un reóstato metálico formado por un hilo de alta resistividad convenientemente dispuesto, de manera que pueda seleccionarse según se precise una parte del mismo. Como a mayor longitud de hilo mayor resistencia es introducida en el circuito, con este tipo de aparatos se actúa de manera controlada y muy fácilmente sobre dicha variable. Las resistencias se disponen en forma de bobinas o carretes conectados en serie, de manera que la elección del valor que se desea introducir se realiza por medio de clavijas que seleccionan uno o varios de estos carretes, así la corriente recorre, en función del número de bobinas elegidas, más o menos longitud de hilo, introduciendo con ello más o menos resistencia al paso de la corriente eléctrica.

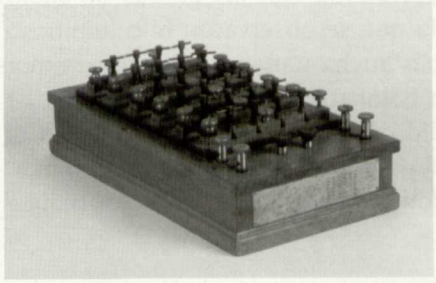


Fig. 129

92. CAJA PUENTE

Nº inv.: 95/31/138
1890-1910
37,2x20,1x11,9 cm
Madera, latón, ebonita

Con este modelo de caja puente es posible determinar experimentalmente el valor de una resistencia, conocidos los valores de otras tres. El circuito interno que

se forma es el del puente de Wheatstone, del que se ha hablado con anterioridad, y el método seguido por tanto se basa en «equilibrar» el circuito, es decir, lograr que la diferencia de potencial entre dos puntos del mismo sea nula, de manera que la corriente que circula entre ambos resulte ser cero.

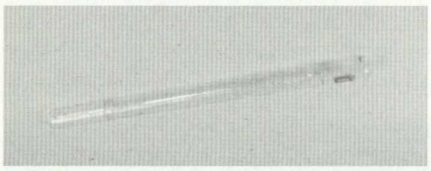


Fig. 130

93. TUBO DE VACÍO

Nº inv.: 95/31/634
1890-1910
Dm. 3x52,7 cm
Vidrio

Este aparato de demostración consistente en un tubo de vidrio con una cavidad en forma de espiral en su interior en la que se ha practicado el vacío, ofrece llamativos efectos luminosos tras ser frotado con un paño; la espiral se ilumina vivamente con luz de color naranja sólo mientras se está frotando el tubo, desapareciendo en el momento en que dejamos de actuar sobre él.

El fenómeno descrito encuentra su explicación en la electrización, debida a la fricción, que en la superficie del mismo se está produciendo y que tiene como consecuencia el origen de diferencias de potencial, cuyo valor es lo bastante grande como para provocar choques entre los iones y átomos del gas enrarecido de la espiral, alterándose por tanto sus configuraciones electrónicas. La desexcitación tiene lugar con la emisión energética en forma de luz.

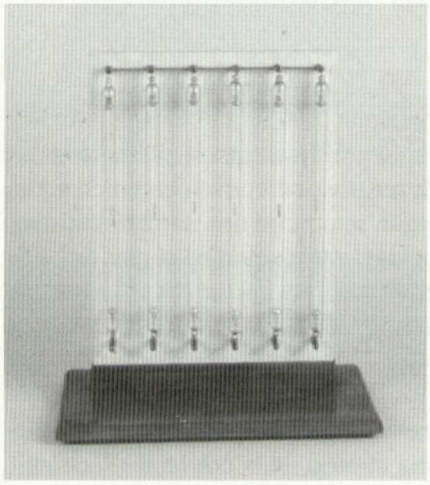


Fig. 131

94. ESCALA DE VACÍO

Nº inv.: 95/31/249
1920-1940
18,5x32,1x37,1 cm
Madera, metal, vidrio, plástico

La escala de vacío es uno de los clásicos aparatos de descarga en los que se demuestra cómo varía el potencial necesario para provocar una descarga en el interior de un tubo de vacío, a medida que varía el enrarecimiento del aire contenido en él. Cuanto mayor es el grado de vacío conseguido en el tubo, mayor es la resistencia eléctrica al paso de la corriente, o lo que es igual, menor es la conductibilidad eléctrica del gas en el interior del mismo.

Este fenómeno se hace visible por las distintas formas de iluminarse cada tubo, así, los tubos con el vacío más bajo se iluminan en rojo y los de un alto vacío en blanco. Esta escala ha sido confeccionada con los grados de vacío correspondientes a: «40 mm.», presión en la que se observa un hilo luminoso rojo; «10 mm.», la banda del hilo resulta más ancha y menos intenso su color rojizo; «6 mm.», el tubo se ilumina con un color rojo muy tenue y difuso; «3 mm.», la luz adquiere tonalidades rosa pálido y resulta más difusa que en el caso anterior; «0,14 mm.», luz de color azul pálido, y finalmente, «0,03 mm.», vacío próximo al de los tubos de rayos X, donde la luz resulta de color blanca verdosa.

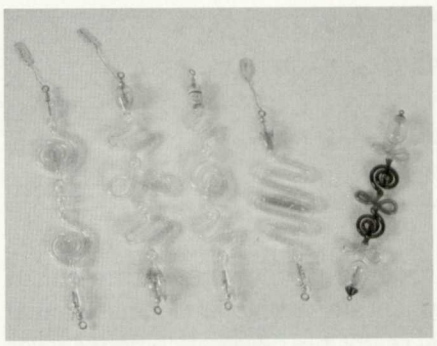


Fig. 132

95. TUBOS DE GEISSLER

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/250; 95/31/251; 95/31/252; 95/31/253; 95/31/254
1910-1930
30,5x4,3x1,8 cm; 31x7,9x2,3 cm; 31x5,1x1,8 cm; 24,6x7,8x1,7 cm; 26,4x5,2x2,3 cm
Vidrio, metal

Los tubos de Geissler, delicadas piezas en vidrio con formas caprichosas que contienen un gas enrarecido o líquidos tintados en su interior, fueron ideados por el fabricante e inventor alemán Geissler hacia 1858. Cuando en sus electrodos se produce una descarga de alta tensión, aparecen diversos efectos radiantes, dependiendo del gas en el tubo y la presión a la que esté sometido, por lo general no mayor de 0,5 mm. Si ésta es lo suficientemente baja se puede llegar a producir radiación catódica, fuente de otro tipo de rayos, como los rayos X. De los cinco tubos, dos de ellos contienen un gas concreto en su interior: oxígeno y neón, un tercero dispone de cierta cantidad de mercurio, mientras que los dos restantes no contienen un gas determinado sino tan sólo aire enrarecido, siendo uno de ellos el que se observa con el vidrio coloreado. Los efectos ópticos que se producen en ellos son muy llamativos resultando ser, en esencia, los antecedentes de los actuales tubos de neón.

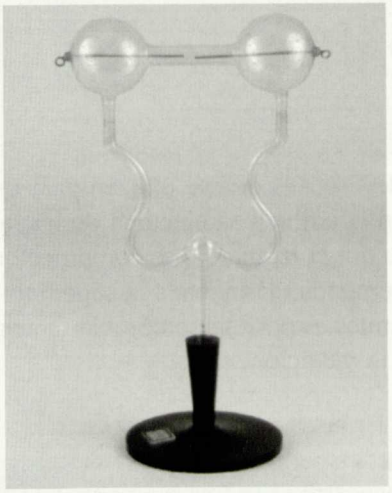


Fig. 133

96. TUBO DE RODEO

Nº inv.: 95/31/544
1910-1930
24,5x8x31 cm
Vidrio, metal

Este tubo de vacío se utiliza para estudiar el comportamiento de la descarga eléctrica en condiciones de vacío elevado, comprobándose en este caso, que la radiación se desplaza, en contra de lo que pueda parecer, recorriendo el camino más largo.

Como hemos visto en la escala de vacío, los tubos a los que se les ha practicado un mayor vacío, adquieren también una mayor resistencia eléctrica al paso de la corriente, iluminándose en color blanco intenso. Este tubo dispone en su parte superior de dos conductores metálicos muy próximos entre sí, y que se conectan a los terminales o electrodos de platino que se aplican a la fuente generadora de alto potencial. Es lógico pensar que la descarga se ha de realizar entre ambos contactos, buenos conductores de la electricidad, ya que por este camino encontramos menos resistencia al paso de la corriente que en el resto del tubo, que como hemos señalado goza de alta resistencia debido a su elevado vacío. Sin embargo, al contrario de lo que parece debe ocurrir, al conectar la fuente de corriente, ésta se desplaza por el camino más largo en lugar de hacerlo a través de los conductores metálicos, debido a que la descarga que debe tener lugar entre los extremos de dichos conductores no se produce, al verse impedida por la electricidad estática del tubo que los rodea.

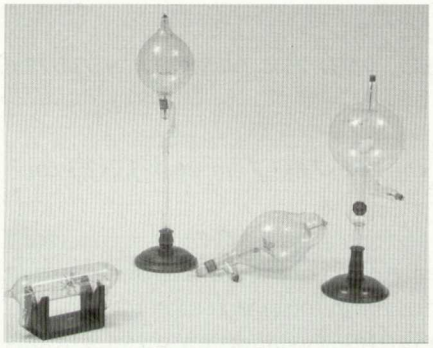


Fig. 134

97. TUBOS DE CROOKES

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/244; 95/31/245; 95/31/246; 95/31/247
1900-1920; 1925-1950 (95/31/247)
23x6,5x10 cm; dm. 12,1x45 cm; 27x12,5x12,5 cm; 35x17x14 cm
Vidrio, metal, aluminio, platino, cuarzo, madera
"RAYOS X SÁNCHEZ" / "136" (95/31/247)

En la foto se muestran cuatro tubos de Crookes de diferentes características para hacer patentes diversos efectos y propiedades de la materia radiante. Con el primero de ellos, empezando por la izquierda, es posible observar como los rayos catódicos producidos entre ambos electrodos del tubo, ejercen presión suficiente sobre las paletas del molinete como para desplazarlo a lo largo del rail. En el segundo se muestran los efectos caloríficos que el haz catódico produce en el centro del tubo donde se localiza el obstáculo fijo que constituye la lámina de platino y que puede adquirir temperaturas suficientes como para llegar a fundir. Finalmente, en los dos tubos restantes se producen distintos efectos fosforescentes, que aparecen en determinadas sustancias cuando son excitadas por la radiación catódica.

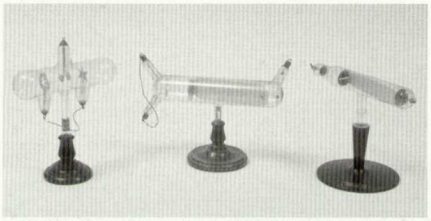


Fig. 135

98. TUBOS DE CROOKES

De izquierda a derecha, nº inv.:95/31/248; 95/31/707; 95/31/708
1900-1920; 1925-1935 (95/31/708)
21,5x9,2x26,5 cm; 30,1x12x21 cm.; 27,5x16x20 cm
Vidrio, metal, platino, aluminio, madera
"CULTURA" / "EIMLER-BASANTA-HAASE (S.A.)" / "MADRID" (95/31/708)

En la fotografía se muestran tres tubos de Crookes que se utilizan para comprobar diversas propiedades relacionadas con la naturaleza eléctrica de los rayos catódicos. En el primero de ellos, empezando por la izquierda, se comprueba que el haz catódico se propaga en línea recta y perpendicularmente a la superficie del cátodo emisor, mientras que con los dos restantes es posible comprobar la acción de los campos eléctricos y magnéticos sobre la radiación.

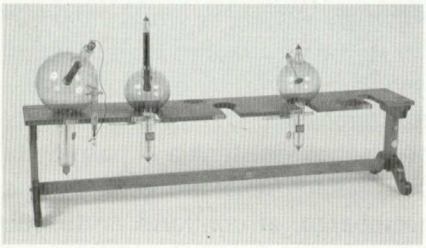


Fig. 136

99. TUBOS DE RAYOS X EN BANCO SOPORTE

El banco soporte, nº inv.: 95/31/554, los tubos de rayos X, de izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/705; 95/31/706; 95/31/242
1900-1920; 1920-1940 (95/31/705)
98x23,4x24,8 cm; 32x22x15,5 cm; 27,5x16x1 cm
Madera, fieltro, vidrio, metal, plástico, corcho

En la figura se muestra un banco soporte para tubos de rayos X y tres de estos aparatos. Los rayos X, descubiertos por Röntgen en 1895, se originan cada vez que un haz de rayos catódicos choca bruscamente contra un material sólido que actúa de anticátodo o blanco, y son consecuencia de la caída de los electrones de las capas más externas a capas más profundas en los átomos del mismo. Cada uno de los tres tubos de rayos X presentados en la fotografía muestran particularidades diferentes; el situado en el extremo izquierdo se caracteriza por tener un blanco de

Fig. 136

gran tamaño, el del centro por disponer de dos ánodos con blanco similar al anterior y finalmente, el del extremo derecho también bianódico pero de menores dimensiones. Todos ellos disponen de un sistema de osmo-regulación para la regeneración de las impurezas producidas en el interior del tubo como consecuencia de su uso.

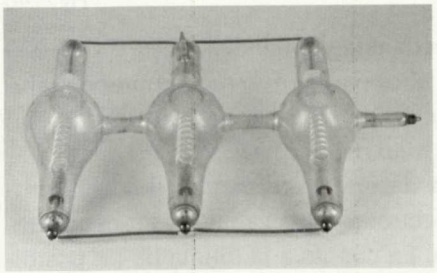


Fig. 137

100. TUBO DE RAYOS X

Nº inv.: 95/31/545
1910-1930
50x10x42 cm
Vidrio, metal

Este tipo de tubo de rayos X tiene unas características muy particulares ya que está formado por tres ampollas independientes comunicadas entre sí, por lo que el tipo de radiación desprendida es mayor que en el caso de un solo tubo. Para disminuir el enrarecimiento del gas en el interior del tubo, que con el uso se acentúa, se utiliza lo que se denomina, osmo-regulador, que consiste en una varilla de platino introducida en un tubo de vidrio y en comunicación con el interior de la ampolla. Al calentarse esta varilla, se produce hidrógeno puro que disminuye el nivel de impurezas en el interior.

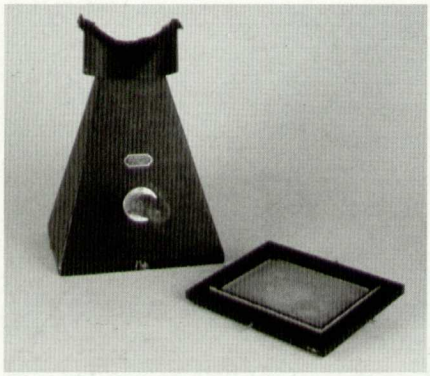


Fig. 138

101. FLUOROSCOPIO CON PANTALLA FLUORESCENTE

Nº inv.: 95/31/258
1880-1910
24,5x32,5x37 cm
Madera, fibra, metal, cartón
«MAX KOHL A.G.» / «Werstätten für Präzisionsmechanik» / «CHEMNITZ I. Sa.»

Este tipo de pantallas fluorescentes está formada por un recubrimiento de platinocianuro de bario o cualquier otra sustancia similar. Generalmente, los visores de estas características eran utilizados en medicina como método de exploración para examinar partes del organismo, basando su funcionamiento en la propiedad que tienen los rayos X de impresionar ciertos cuerpos. En la (Fig. 142) se puede observar la manera de operar con este aparato.

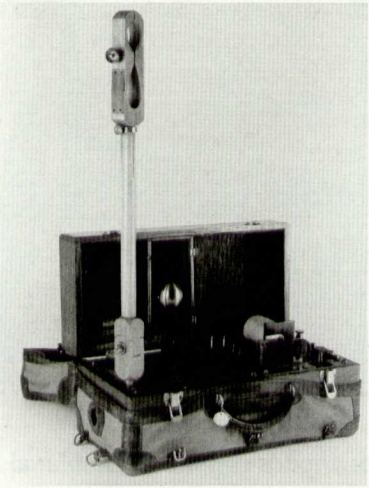


Fig. 139

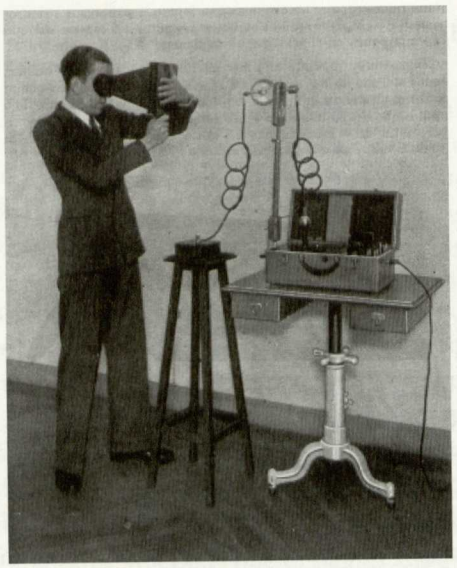
102. APARATO PORTÁTIL DE RAYOS X SÁNCHEZ

Nº inv.: 95/31/473
1910-1920
47x46,5x71 cm
Madera, tela, cuero, latón, baquelita, metal
«APARATO PORTATIL DE» / «RAYOS X SANCHEZ» / «PATENTADO 31 DICIEMBRE 1909» / «CONSTRUIDO POR» / «LABORATORIO ELECTRICO SANCHEZ» / «PIEDRABUENA «ESPAÑA»

El aparato portátil de «rayos X Sánchez» diseñado y construido por el ingeniero español Mónico Sánchez Moreno (1880-1961), constituye uno de los pocos ejemplos de aportación técnica e industrial española de principios de siglo. Este aparato, caracterizado por su facilidad de transporte y sencillez de manejo, puede funcionar tanto con corriente continua como con alterna. Está constituido básicamente por un condensador eléctrico de gran capacidad y una inductancia asociada en serie, un conmutador, un interruptor electromagnético, con terminales de descarga y un tornillo de presión que actúa de regulador, y que permite manejar intensidades más o menos grandes de corriente primaria, así como generar corrientes de alta frecuencia y potencial; hasta 7.000.000 Hz y 100.000 voltios, sin ningún riesgo para el operador debido a la propia naturaleza de las corrientes producidas, que resultan ser de muy baja intensidad. Un pie de madera desmontable posibilita fijar el tubo de rayos X.

Fig. 140

Son múltiples las aplicaciones prácticas de este instrumento, desde la producción de ozono y rayos X, aplicaciones electromédicas varias, hasta demostraciones electrofísicas en centros de enseñanza. En cuanto a la última de las posibilidades citadas, los laboratorios y gabinetes de física, disponían con este generador, de una cómoda fuente de potencial con la que iluminar todo tipo de tubos Geissler, Crookes, rayos X y globos de vacío. Vistosas experiencias que facilitaban de manera clara el estudio de los diferentes tipos de radiación; rayos canales, catódicos y rayos X.



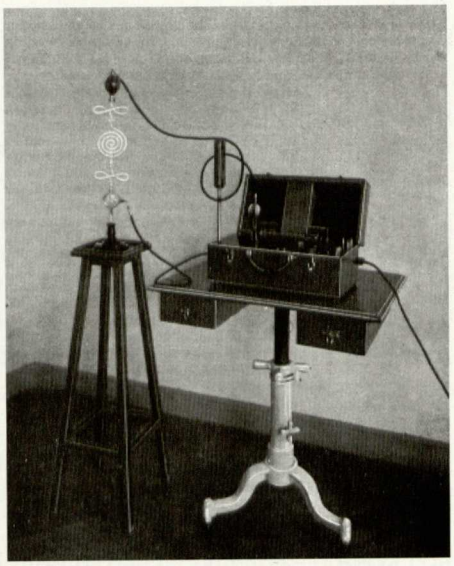


Fig. 141.- Disposición radioscópica
Fig. 142.-Técnica de la demostración del tubo vacuo
A la derecha

Fig. 143

103. AUTOCONDENSADOR

Nº inv.: 95/31/843
1910-1920
Dm. 35x12 cm
Tela, algodón, baquelita, metal

Esta pieza, fabricada también en el desaparecido Laboratorio Eléctrico Sánchez, constituye lo que el propio fabricante denominó como un autocondensador. El diseño de este tipo de condensador eléctrico se corresponde con la finalidad del mismo, que no era otra que su empleo en experiencias o demostraciones de tipo electrostático. Esta especie de cojín se situaba en un taburete de madera, y sobre el mismo se disponía la persona objeto de la demostración. Cuando se conectaba el terminal a una fuerte generadora de alto potencial y frecuencia, como el aparato portátil de rayos X Sánchez anteriormente descrito, la persona sufría los efectos de la electricidad estática, adquiriendo un elevado potencial con el que la misma persona era capaz de iluminar multitud de tubos de Crookes y demás tubos de vacío, con tan sólo sujetarlos por uno de sus extremos, o incluso sin contacto alguno, manteniéndolos a cierta distancia. Estos experimentos se realizaban sin peligro alguno para la persona, demostrándose con ello la insensibilidad del cuerpo humano a las corrientes de alta frecuencia y potencial, y baja intensidad, como las proporcionadas por el Aparato Sánchez, de apenas unas milésimas de amperios. Al margen de las aplicaciones más o menos ilustrativas del autocondensador en los gabinetes de física de la época, se empleaba, además, en diversos tratamientos de tipo médico.

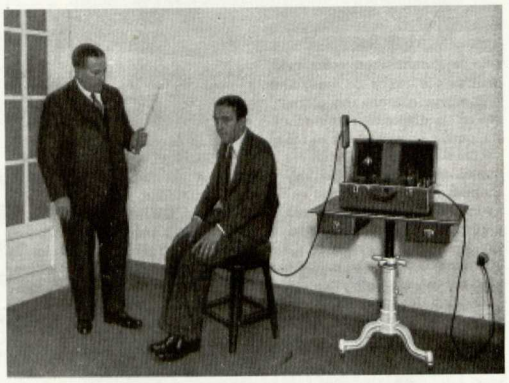


Fig. 144.- Técnica de la demostración de los efectos de autocondensación

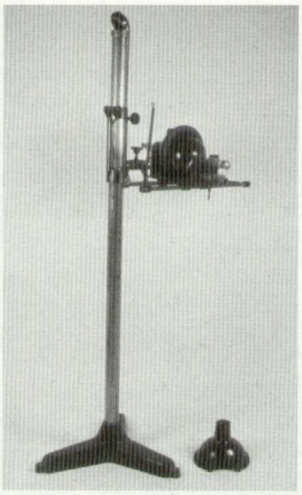


Fig. 145

104. TUBO DE COOLIDGE

Nº inv.: 95/31/243
1960-1980
78x60x184 cm
Metal, vidrio, madera, baquelita, porcelana
«MEDIUM» / "COOLIDGE» / «VICTOR» / «TUBE» / «MADE IN U.S.A.» / «58998».
«GENERAL ELECTRIC CO» / «SCHENECTADY, N.Y., U.S.A.».

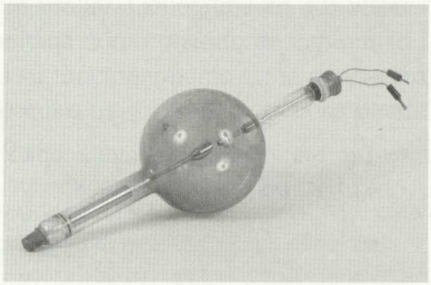


Fig. 146

El tubo de rayos X diseñado por el físico americano William David Coolidge y que lleva su nombre se caracteriza por su gran intensidad y poder de penetración.

Básicamente, sustituyó el cátodo tradicional de un tubo de Crookes por un hilo de tungsteno. Este tipo de cátodo se calienta por medio de una corriente exterior y como resultado se obtienen rayos X de mayor penetración. Con su «cátodo caliente», Coolidge revolucionó la tecnología de los rayos X siendo su diseño el más utilizado en el campo de las aplicaciones médicas durante el s. XX.

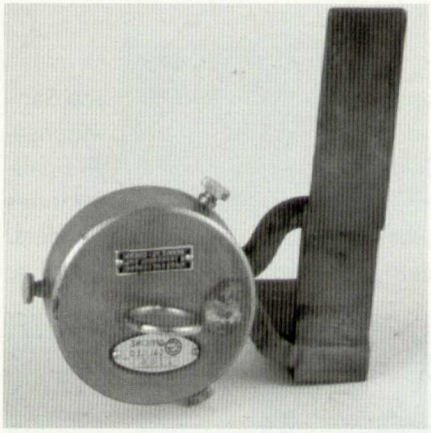


Fig. 147

105. ELECTROIMÁN TERMOELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/541
1950-1965
16x15x14 cm
Acero, cobre, metal
«OFFICINE» / «GALILEO» / «II65».

Este instrumento se emplea para mostrar la existencia de las corrientes termoeléctricas a través de sus efectos magnéticos, fenómeno descubierto por T. J. Seebeck, consistente en la generación de electricidad a partir del calor aplicado a la soldadura de dos metales con diferentes conductividades térmicas.

Consta de un electroimán en el que el campo magnético es producido al circular una corriente eléctrica por el núcleo de cobre. A su vez, esta corriente eléctrica se obtiene a partir del denominado *efecto Seebeck*, por el cual, una parte del calor absorbido por el circuito que forman los dos metales soldados se convierte en energía eléctrica. Dicho efecto se hará patente cuando, como consecuencia del calentamiento de la soldadura, el electroimán se active y sea capaz de atraer el peso de acero.

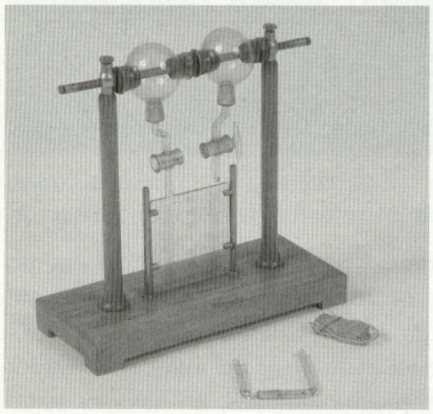


Fig. 148

106. APARATO TERMOELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/238
1930-1960
21x89x21,1 cm
Madera, vidrio, metal, goma, hilo

A parte del *efecto Seebeck*, fenómeno termoeléctrico que puede hacerse patente con el "electroimán" anteriormente descrito, existen otros dos efectos,

que igualmente relacionan el calor con la electricidad, hablamos de los efectos *Peltier* y *Joule*.

El *efecto Peltier*, es un fenómeno termoeléctrico inverso al *efecto Seebeck*, es decir, al circular una corriente eléctrica por un circuito formado con la soldadura de dos metales diferentes, una de las uniones se calienta y la otra se enfria. El que sea una u otra la unión que se caliente dependerá del sentido de la corriente que circula. El *efecto Joule*, según el cual, un conductor desprende calor al paso de una corriente eléctrica por el mismo, es el tercero de los fenómenos citados y que a diferencia de los anteriores, se excluye de los fenómenos termoeléctricos.

Este aparato está formado por una barra de antimonio soldada en sus extremos a sendos conductores de bismuto. Las soldaduras se encierran en las ampollas de un termómetro de aire cuyo tubo capilar, que debía contener un líquido indicador, se encuentra muy deteriorado. Con esta disposición es posible comprobar que, al cerrar un circuito con las soldaduras de antimonio y bismuto, y hacer pasar sucesivamente corrientes en sentidos contrarios, el *efecto Peltier* es contrario en ambas ampollas, mientras que el *efecto Joule* es el mismo. Este fenómeno se observa con el movimiento del líquido en el interior del tubo capilar, movimiento éste que es debido a la dilatación del aire contenido en las ampollas, como consecuencia del aumento de temperatura en las mismas. El líquido cambia de sentido según el sentido de la corriente que en ese instante circula por el circuito.

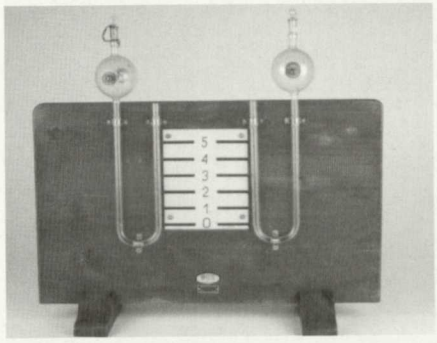


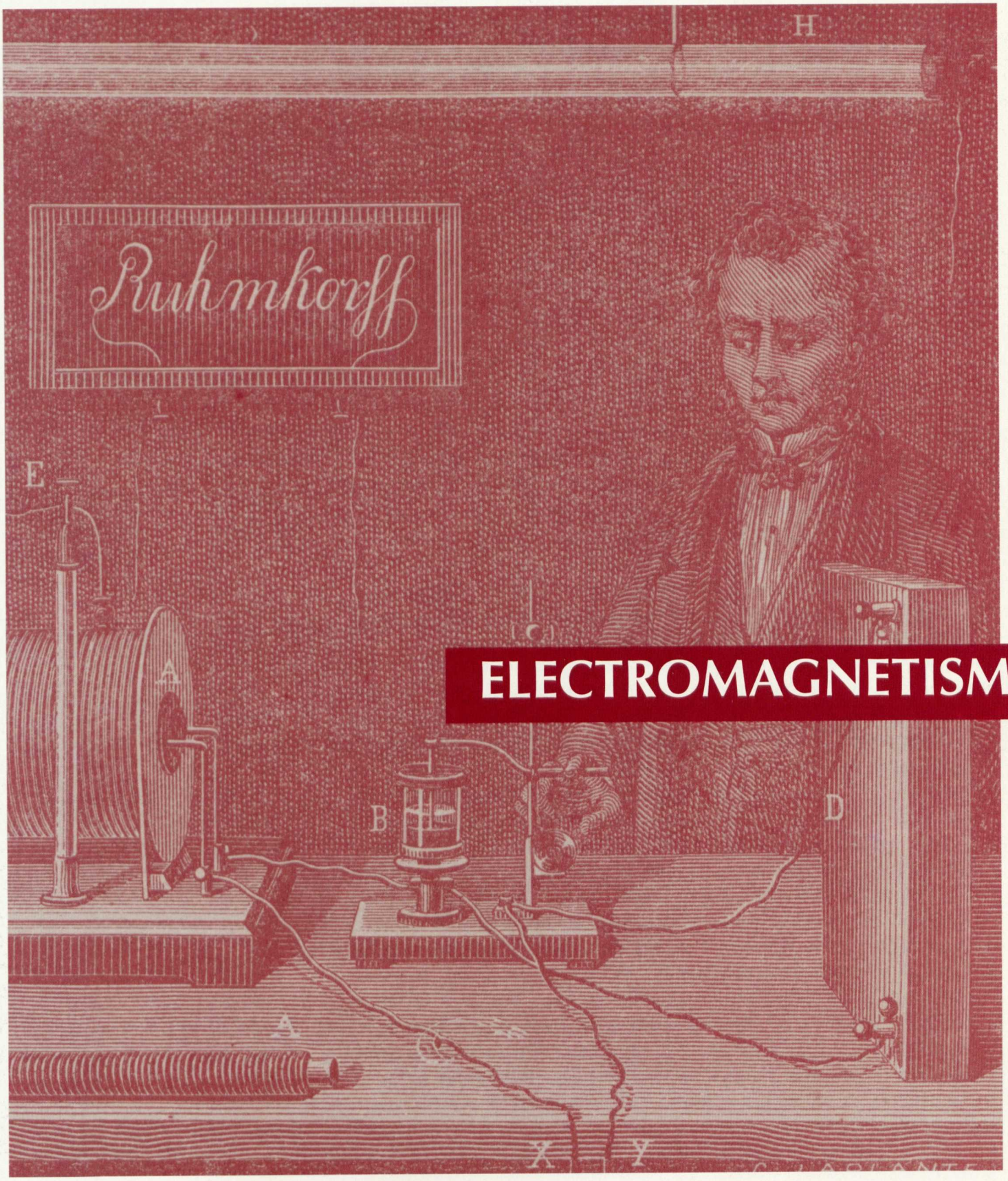
Fig. 149

107. APARATO PARA LA DEMOSTRACIÓN DEL EFECTO JOULE

Nº inv.: 95/31/539
1950-1960
50x15x45,2 cm
Madera, vidrio, metal, goma, hilo
«OFFICINE» / «GALILEO» / «1154».

Con este dispositivo es posible realizar demostraciones relativas al tercero de los efectos citados en los aparatos termoeléctricos anteriores; el conocido como *efecto Joule*. Cuando se introduce un líquido en el interior de los tubos y se hace pasar la corriente por los conductores en espiral, el aire dentro de la ampolla de vidrio se calienta por el efecto Joule en el conductor. Este fenómeno se hace patente por el ascenso del nivel del líquido en cada tubo, debido a la presión que ejerce sobre el mismo el aire dilatado de la ampolla. El calor desprendido resulta ser proporcional al cuadrado de la intensidad que circula, al tiempo que dura el paso de la corriente por el conductor y a la resistencia de este último. La dependencia con el tipo de conductor se puede mostrar utilizando distintos materiales con las mismas condiciones de intensidad, tiempo y cantidad de líquido, comparando después la altura que éste alcanza en cada tubo.

Joule estudió los efectos térmicos derivados del paso de una corriente eléctrica por un conductor, definiendo la referida ley cuantitativa hacia 1843.



ELECTROMAGNETISMO

EL DESCUBRIMIENTO DEL ELECTROMAGNETISMO Y EL DESARROLLO DE LA ELECTRODINÁMICA: LAS PRIMERAS APLICACIONES PRÁCTICAS

Rosa Mª Martín Latorre

Durante el s. XVIII, especialmente a partir del descubrimiento de la botella de Leiden que significó la posibilidad de almacenar grandes cantidades de carga, la electricidad se consagró como modelo de ciencia experimental en la que los nuevos fenómenos y aparatos para su estudio se sucedían rápidamente.

Con el conocimiento del galvanismo a finales del siglo ilustrado, y sobre todo, la posibilidad de utilizar corrientes eléctricas continuas gracias a la invención de la pila voltaica en 1800, se abre el camino hacia nuevas posibilidades de experimentación. Es entonces cuando las grandes y obsoletas máquinas electrostáticas de fricción y las baterías formadas con botellas de Leiden, van perdiendo su importancia y dejan paulatinamente de ser empleadas en favor de nuevas y mejoradas pilas, cuya electricidad podía ser utilizada o no con tan sólo abrir o cerrar un interruptor.

Transcurridos dos siglos desde que Gilbert publicara su *De Magnete*, y realizara por primera vez una clara distinción de los fenómenos eléctricos y magnéticos, hasta el momento en que Volta dio noticia de su nueva forma de producción eléctrica, nos encontramos en el punto de partida de una "revolución" en la electricidad, que en las primeras décadas del s. XIX habría de conducir al descubrimiento del electromagnetismo y al desarrollo teórico de la electrodinámica. Las aplicaciones prácticas surgidas hacia mediados de siglo con el desarrollo de la telegrafía eléctrica, el generador industrial y la subsiguiente instauración del alumbrado eléctrico en la ciudades, primero con lámparas de arco y después de incandescencia, nos sitúa en apenas treinta años en puertas de una nueva era industrial, secundada a fines de siglo con el descubrimiento de las oscilaciones eléctricas, base teórica y experimental del posterior desarrollo de la telegrafía sin hilos y los modernos sistemas de radiodifusión.

Si los descubrimientos y nuevos acontecimientos acerca del estudio eléctrico se aceleraron en la segunda mitad del s. XVIII con la mejora en las formas de producción y almacenamiento de la carga, encontramos también, en el transcurso de las investigación durante el XIX, el mismo efecto, salvo que en esta ocasión, el

desarrollo fue vertiginoso y con grandes repercusiones sociales. Se necesitaron doscientos años para encontrar un generador eléctrico cómodo y notable para la práctica de la investigación, y en tan sólo treinta, desde que aconteciera el descubrimiento del electromagnetismo, la producción de electricidad podía ya ser realizada a escala industrial.

La experiencia de Oersted y los primeros estudios electrodinámicos

El descubrimiento de los fenómenos electromagnéticos tiene su origen en los experimentos realizados por Hans Christian Oersted (1777-1851) en la Universidad de Copenhague durante la primavera de 1820. En una de sus experiencias dispuso, por encima de una aguja imanada y paralelamente a la longitud de aquella, un hilo conductor por el que hacía circular la corriente generada por una pila eléctrica. Observó que el imán se desviaba de su posición de equilibrio hasta situarse perpendicularmente a la dirección del hilo, cambiando el sentido del giro en el caso de situar el conductor por debajo de la aguja. Con este sencillo experimento, publicado el 21 de julio de ese mismo año en un breve trabajo resumen de sus experiencias titulado *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*, Oersted había encontrado un vínculo entre la electricidad y el magnetismo. Es el principio de un rápido desarrollo de la electrodinámica[1] con hombres como André-Marie Ampère (1775-1836), Faraday, Dominique François Jean Arago (1786-1853) o Jean-Baptiste Biot (1774-1862) y Savart, entre otros muchos físicos que de inmediato se pusieron a trabajar en los nuevos fenómenos.

No tardaron en llegar las primeras referencias teóricas pues sólo unos meses después del descubrimiento de Oersted, el 25 de septiembre, Ampère dio a conocer en la *Académie des Sciences* sus observaciones sobre las acciones magnéticas de las corrientes, encontrando las leyes que habían de regir estos fenómenos. El conjunto de ingeniosas experiencias electrodinámicas, realizadas entre 1821 y 1825, y llevadas a cabo con numerosos y sencillos aparatos como conductores móviles y fijos, solenoides, cubetas de mercurio, pivotes, imanes, etc., que constituían la "mesa de Ampère", no fueron publicadas hasta 1827 en su obra de mayor importancia: *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience*, en la que se describen las leyes de acción de las corrientes eléctricas estableciendo los principios del fenómeno electrodinámico. Con los cuatro experimentos básicos reflejados en esta síntesis, Ampère enunció otros tantos principios fundamentales: en valor absoluto, la fuerza de atracción o repulsión que surge entre dos conductores rectilíneos por los que circulan corrientes en el mismo sentido o en sentidos contrarios respectivamente, es la misma; las acciones ejercidas por dos conductores fijos, uno de ellos rectilíneo y el otro doblado de forma cualquiera, sobre un tercer conductor móvil, rectilíneo y equidistante a los anteriores, son iguales; las acciones ejercidas por un circuito cerrado sobre un elemento de corriente son perpendiculares a éste; y finalmente, las interacciones de dos elementos de corriente, para una misma intensidad, no varían cuando se modifican según una misma razón sus dimensiones lineales y la distancia entre ellos.

[1] El 18 de septiembre de 1820, Ampère muestra por primera vez a la Academia francesa sus observaciones sobre las corrientes eléctricas. Con el término electrodinámica, por él introducido, recogerá todos aquellos fenómenos que son resultado de una interacción entre corrientes eléctricas.

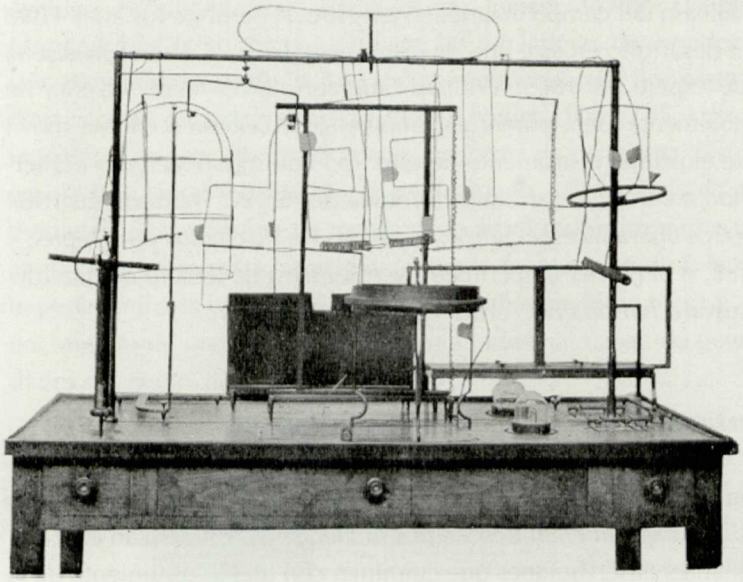


Fig. 150.- Mesa de Ampère

Antes de que Ampère realizara sus más importantes observaciones acerca de los fenómenos electrodinámicos, Biot y Savart habían llevado a cabo los primeros estudios cuantitativos sobre las interacciones entre imanes y corrientes. Ambos encontraron, en octubre de 1820, que la fuerza que actúa sobre cada polo de una aguja imanada situada en las proximidades de un conductor rectilíneo por el que circula una corriente uniforme, es perpendicular al plano que contiene el conductor y pasa por el polo magnético variando, además, con el inverso de la distancia.

En 1820 tienen lugar varios descubrimientos de gran importancia que permitieron el desarrollo, entre otras muchas aplicaciones, de la telegrafía[2] eléctrica. El 20 de septiembre del citado año, Arago anuncia el fenómeno de la imanación temporal en una pieza de hierro por una corriente eléctrica, y tan sólo unos días antes Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857) había construido el primer galvanómetro de la historia, su *multiplicator*[3] que fue presentado el día 14 en el *Naturforschende Gesellschaft* de Halle. Independientemente del invento de Schweigger, ese mismo año, Johann Christian Poggendorff (1796-1877) diseñó un aparato de similares características.

El más sofisticado de estos primeros galvanómetros[4] de carrete fue el ideado por el británico James Cumming (1777-1861) en 1821, que utiliza un complicado sistema de imanes permanentes para reducir el efecto del campo magnético terrestre. El físico italiano Nobili desarrollaría entre 1825 y 1830 una serie de galvanómetros astáticos, siendo su modelo portátil uno de los aparatos más ampliamente construido por los fabricantes de instrumentos de toda Europa. Su galvanómetro incorporaba un carrete multiplicador como el de Schweigger, la suspensión desarrollada por Coulomb en su balanza de torsión y las agujas astáticas[5] de Ampère. El galvanómetro de tangentes y de senos ideado por Servais Mathias Pouillet (1790-1868) en 1837, ofrecía lecturas directas en valores absolutos, y el electrodinamómetro o galvanómetro de carrete móvil de W. E. Weber diseñado en 1845 fue el primer instrumento capaz de medir la corriente en términos absolutos e indepen-

[2] Los trabajos de los alemanes W. E. Weber y Carl Friedrich Gauss (1777-1855) realizados en la Universidad de Göttingen a principios de 1833, les llevan a construir el primer telégrafo eléctrico experimental que realmente funcionó, y con el que lograron una comunicación entre el laboratorio de física y el observatorio astronómico de la Universidad. En agosto de 1834 dieron noticia de invento y sólo tres años después los británicos Charles Wheatstone y William Fothergill Cooke (1806-1879) establecerían la primera patente de un aparato telegráfico.

[3] Schweigger se dio cuenta de que el efecto descubierto por Oersted podía ser utilizado para medir la intensidad de una corriente eléctrica, pues la desviación que sufría la aguja resultaba ser tanto más grande cuanto más intensa era la corriente. Fue así como se le ocurrió amplificar el efecto, disponiendo un arrollamiento de cobre con una aguja imanada en su parte central y crear así su conocido multiplicador.

[4] Un completo estudio de los diferentes tipos de galvanómetros y su evolución histórica puede verse en Stock, T. & Vaughan, D., *The Development of Instruments to Measure Electric Current*, London: Science Museum, 1983.

[5] Las agujas astáticas de Ampère constituyen un sistema de dos agujas imanadas paralelas y fijas a un mismo eje pero con los polos cambiados, y que por lo tanto se muestran insensibles al campo magnético terrestre.

dientemente de la acción del campo magnético terrestre. A partir de los años 1840 se produce un gran desarrollo en este tipo de instrumental: Sir W. Thomson diseña el galvanómetro de espejo en 1863; William Sturgeon (1783-1859) inventa en 1824 el que probablemente fuera primer galvanómetro de bobina o carrete móvil e imán fijo, aunque el primer instrumento de este tipo con significaciones comerciales fuera el *siphon recorder,* desarrollado también por Sir W. Thomson en 1867 para la telegrafía; otros aparatos especializados fueron los diseñados por Deprez y D'Arsonval, en 1882, o el primer amperímetro y voltímetro de lectura directa ideado por William Edward Ayrton (1847-1867) y J. Perry en 1883

Faraday y el descubrimiento de la inducción electromagnética

La obra de Faraday nos introduce de lleno en el estudio de los fenómenos electromagnéticos. Sus *Experimental Researches in Electricity* comienzan en 1821 en una serie de brillantes observaciones que culminan con el descubrimiento de la rotación electromagnética. Para ello diseña un sencillo aparato formado por una pequeña aguja magnética sumergida a medias en un recipiente con mercurio, de forma que uno de los polos se mantenía fijo en el eje del aparato y el otro quedaba libre; al circular la corriente desde el fondo de la cubeta a un hilo conductor situado verticalmente, el imán adquiría un movimiento de rotación alrededor del hilo. En esta experiencia la energía eléctrica se transforma en energía mecánica, por lo que el dispositivo ideado por Faraday resultará ser, en esencia, el primer motor[6] electromagnético.

En agosto de 1831 Faraday dispuso dos conductores bobinados en torno a un mismo anillo de hierro dulce acoplando un galvanómetro en uno de ellos. Observó la existencia de una corriente inducida en éste, en el instante mismo de la abertura y cierre del circuito vecino. El fenómeno, que evidenció como temporal, lo relacionó con una variación de las condiciones magnéticas en las que se encontraba el circuito inducido. Este sencillo dispositivo, antecedente de los modernos transformadores[7], y la ley de inducción electromagnética derivada de esta experiencia, supondrían el inicio del desarrollo teórico y experimental de la futura producción de electricidad por medio de aparatos electromecánicos.

Las siguientes investigaciones, llevadas a cabo en octubre de ese mismo año, le conducirán a la invención del primer generador de corriente continua que transforma directamente la energía mecánica en eléctrica. Su dispositivo, básicamente un aparato cuyo funcionamiento es el inverso del de la rueda de Barlow, disponía de un disco de cobre con posibilidad de rotar entre los polos de un gran imán permanente; dos conductores, uno unido al centro del disco y el otro capaz de deslizarse por la periferia, eran conectados a un galvanómetro. Cuando se hacía girar el disco, la aguja del galvanómetro sufría una desviación, señal inequívoca de la existencia de una corriente eléctrica.

A lo largo del s. XIX, en especial a partir de la segunda mitad del mismo, se desarrollarían generadores, motores y transformadores eléctricos, y con ellos la industria e ingeniería de la electricidad[8]. Las máquinas magnetoeléctricas de

6 En realidad, el aparato ideado por Peter Barlow (1776-1862) en 1822; su famosa rueda dentada, cuyas puntas se sumergían en un recipiente de mercurio y adquirían un movimiento de rotación en el campo generado por un imán de herradura cuando la corriente eléctrica circulaba desde el centro hacia la periferia, ha sido considerado como el primer motor eléctrico moderno.

7 La bobina o carrete de inducción Rühmkorff puede ser considerado como el primer generador de alta tensión con utilidad práctica; con este aparato era posible conseguir altas tensiones a partir de la corriente continua generada por una pila. Las primeras patentes de un transformador con verdadera utilidad en la distribución de energía eléctrica a tensión constante se atribuyen a la empresa húngara Ganz, cuyas primeras unidades surgen de sus talleres hacia finales de 1884.

8 Sobre la evolución de la maquinaria eléctrica a lo largo de la historia véase la obra: Martínez Barrios, L., *Historia de las máquinas eléctricas,* Barcelona: Ediciones, U.P.C., 1995.

Antoine Hippolyte Pixii (1808-1835), Joseph Saxton (1799-1873) o Edward Marmaduke Clarke (1804-1846) son las iniciadoras de este desarrollo, cuya eclosión tiene lugar a partir de 1849, con la construcción por parte del profesor belga de la Escuela militar de Bruselas, Florise Nollet[9] (1794-1853) de un generador magnetoeléctrico provisto de 60 imanes en forma de herradura, distribuidos en torno a un eje horizontal y sobre el que se disponen 120 bobinas de cobre movidas por medio de una máquina de vapor, cuyo árbol motor imprimía un desplazamiento angular de las mismas frente a los imanes. La máquina de F. Nollet, posteriormente perfeccionada y mejorada por la compañía anglo-francesa *L'Alliance*, supuso el nacimiento de una primera maquinaria industrial capaz de generar grandes cantidades de electricidad.

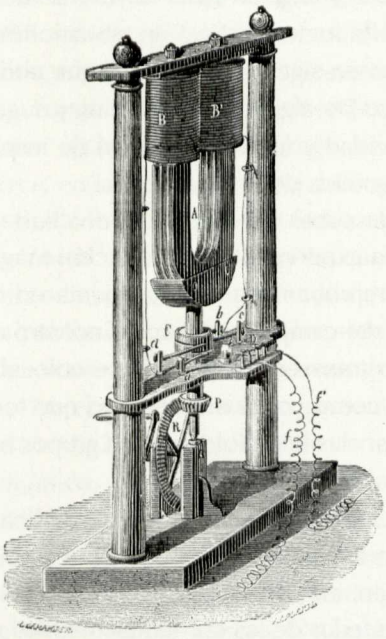


Fig. 151.- Máquina de Pixii

Sustituir los viejos imanes permanentes por electroimanes sería el siguiente paso a dar, y con ello tiene lugar el origen de las máquinas dinamoeléctricas. El primero de estos aparatos fue el ideado por Henry Wilde (1833-1919), quien en 1865 construyó un generador con electroimanes, que eran alimentados por las corrientes generadas en una máquina magnetoeléctrica.

Con el descubrimiento del efecto dinamoeléctrico por parte de Werner von Siemens (1816-1892) en 1867, fenómeno a partir del cual es posible aprovechar el magnetismo remanente que conserva el hierro imanado del electroimán, para producir una pequeña corriente de excitación con la que alimentarlo inicialmente, el generador auxiliar magnetoeléctrico desaparece comenzando con ello una nueva etapa de desarrollo industrial.

Volviendo a Faraday, en 1845 y animado por Sir W. Thomson sobre la posibilidad de que un dieléctrico transparente en presencia de un campo eléctrico actuara de alguna forma sobre la luz polarizada, realizaría una serie de experimentos que habrían de conducirle al descubrimiento de un fenómeno diamagnético, hoy

[9] El abad Jean Antoine Nollet, conocido divulgador de los fenómenos electrostáticos en la Francia del s. XVIII, y creador de un modelo de máquina de frotamiento, es el célebre antepasado de Florise Nollet.

conocido como "efecto Faraday", y que tiene que ver con la rotación magnética del plano de polarización de la luz, diferente del otro fenómeno diamagnético relacionado con el movimiento de orientación que experimentan los cuerpos diamagnéticos en presencia de un fuerte campo magnético, y sobre el que escribiría sendas memorias también ese mismo año. Los dos efectos diamagnéticos[10] le servirían para certificar su creencia en la existencia física de las líneas de fuerza magnética.

El primero de los hallazgos tiene lugar tras observar que, al hacer pasar luz polarizada a través de un dieléctrico transparente situado en el seno de un potente campo magnético, el plano de polarización del haz sufría una rotación si el haz era inicialmente dirigido según las líneas de fuerza magnéticas. En 1846, en una conferencia titulada *Thoughts on Ray Vibrations* y emitida en la Royal Institution, Faraday reflexiona sobre la posibilidad de que la luz consistiera en vibraciones de las líneas de fuerza, que como veremos tenían un significado físico y que podían ser de tipo eléctrico, magnético o gravitatorio. De alguna forma, Faraday sugería una conexión entre el magnetismo, la electricidad y la luz, que sirvió de inspiración a Maxwell en su futura teoría electromagnética de la luz.

El segundo de los fenómenos citados lo descubre tras suspender una barra de un material diamagnético, con el que ya había experimentado la rotación magnética, entre los polos de un electroimán, y comprobar que ésta se orienta en una dirección perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético. Encontró que ciertos materiales no sufrían esta orientación transversal sino que se colocaban paralelos a las líneas de fuerza magnéticas y como conclusión dedujo que todos los cuerpos presentan propiedades magnéticas, clasificándolos en dos grupos bien diferenciados: los materiales diamagnéticos y paramagnéticos.

En los últimos trabajos de sus *Experimental Researches*, Faraday dedica su esfuerzo a definir el concepto de líneas de fuerza magnética, que le lleva a considerarlas como circuitos cerrados que atraviesan, en parte, el propio imán que las genera o que se manifiestan como anillos alrededor de las corrientes rectilíneas y que representan, en cualquier caso, la distribución de las fuerzas magnéticas en el campo. Las líneas de fuerza de Faraday, que imagina como "tubos de fuerza", son el vehículo de acción de las fuerzas naturales. Su rechazo de una acción a distancia a través de un espacio vacío, alejado pues de la tradición newtoniana, le lleva a concebirlo lleno de un éter en el que se localizan líneas o tubos de fuerza que conectan cargas o polos opuestos. Estas líneas podían hacerse visibles, en el caso del campo magnético, por medio de limaduras de hierro esparcidas en el entorno próximo de un imán y tenían un significado físico. La curvatura que se aprecia en las limaduras esparcidas sobre el papel y el hecho de que las líneas de fuerza tardaban un cierto tiempo en propagarse, son las dos razones que sostienen, para Faraday, el argumento del carácter físico de éstas.

Su teoría de las líneas de fuerza magnética queda precisada bajo la consideración de ser el lugar geométrico de los puntos en los que la tangente se encuentra siempre en la dirección de la fuerza magnética en ese punto. Un conductor cerrado movido en el espacio ocupado por estas líneas de fuerza, de forma tal que las cortara o deformara, mostraría fenómenos de inducción cuya intensidad depen-

10 Berkson, W., *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Madrid: Alianza Editorial S.A., 1985, pp. 123-124.

dería del número de líneas cortadas, y por contra, si el circuito se mueve en la misma dirección o trayectoria que las propias líneas, no experimenta ningún tipo de inducción electromagnética. Además, la densidad de líneas de fuerza que atraviesa un espacio dado determina la intensidad del campo magnético en el mismo.

Un modelo matemático para el estudio del electromagnetismo

El desarrollo matemático de los estudios experimentales de Faraday fue llevado a cabo por Maxwell, quien sintetizó en sus conocidas ecuaciones la teoría del campo electromagnético[11]. Las investigaciones sobre la electricidad, el magnetismo y la teorías electromagnéticas de la luz de Maxwell realizadas entre 1854 y 1879, son recogidas en su obra fundamental el *Treatise on Electricity and Magnetism* publicado en 1873 y su extensión el *Elementary Treatise on Electricity.*

Los primeros intentos de crear una teoría matemática del campo electromagnético aparecen en diciembre de 1855 cuando escribe *On Faraday's Lines of Force*, en la que realiza una analogía entre las líneas de fuerza y las corrientes de un fluido incompresible, y en febrero de 1856, en la memoria sobre el estado electro-tónico[12] de Faraday, en la que precisa el concepto de potencial vector. De ambos trabajos, claramente influidos por los *Experimental Researches* y los artículos publicados por Sir W. Thomson, surgirían las primeras versiones de sus futuras ecuaciones del campo electromagnético.

En el siguiente trabajo presentado por Maxwell, *On Physical Lines of Force* (1861-1862), se estudia el fenómeno electromagnético desde un punto de vista mecánico, introduciendo su teoría de los vórtices o torbellinos moleculares. El modelo mecánico suponía que el campo magnético podía ser representado por un fluido lleno de vórtices en rotación, "células hexagonales" minúsculas, cuya ordenación geométrica es la mostrada por las líneas de fuerza y su velocidad angular la intensidad del campo. De su enrevesada teoría de los torbellinos obtendría, entre otros, un resultado esencial: el concepto de corriente de desplazamiento, que surge en los dieléctricos sobre los que actúa un campo eléctrico variable en el tiempo, y que produce en su derredor idénticos efectos magnéticos que una corriente de conducción en los metales.

Con su modelo mecánico del campo electromagnético basado en un éter dependiente de las leyes de la mecánica clásica, Maxwell consigue unificar los fenómenos estáticos, dinámicos, las corrientes inducidas y el magnetismo, deduciendo a partir de él sus ecuaciones del campo electromagnético y la teoría electromagnética de la luz. Sin embargo, ante la imposibilidad de encontrar una explicación mecánica viable, independizó las ecuaciones obtenidas de la analogía mecánica, y antes del enunciado formal de su teoría publicaría en 1864 un artículo previo titulado *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field,* en el que reorganizaría los conceptos y ecuaciones fundamentales del campo electromagnético sin introducir ningún mecanismo newtoniano. Encontró que había innumerables mecanismos en los que sus ecuaciones resultaban correctas y abandonó la idea de elaborar un modelo concreto que pensaba debería ser resuelto por medio de la experimentación.

11 Sobre la teoría del campo electromagnético véanse las obras: Harman, P. M., *Energía, fuerza y materia: el desarrollo conceptual de la física del siglo XIX,* Madrid: Alianza Editorial S.A., 1990 y Berkson, *opus cit.*

12 El estado electro-tónico de Faraday, concepto que introduce en su memoria de 1831 sobre las corrientes inducidas, tiene que ver con ciertas condiciones de la materia o nuevo estado eléctrico con el que explicar el carácter temporal del fenómeno de la inducción. Maxwell propone una expresión matemática para el estado electro-tónico de Faraday que lo convertirá en lo que conocemos como potencial vector, cuya variación con el tiempo significa un "campo eléctrico" inductor de una corriente en un circuito o conductor cerrado.

Finalmente, en su *Treatise* daría forma definitiva a las ecuaciones[13] del campo electromagnético expresadas en el artículo anterior. Cada una fue formulada en sus tres componentes cartesianas y en forma vectorial, que transcritas en notación actual[14] serían formuladas de la siguiente manera:

Inducción magnética	$B = \nabla x A$
Fuerza electromotriz	$E = GxB - dA/dt - \nabla\psi$
Fuerza mecánica	$F = CxB + eE - m\nabla\Omega$
Magnetización	$B = H + 4\pi J$
Corrientes eléctricas	$4pC = \nabla xH$
Corriente de conducción	$K = CE$
Desplazamiento eléctrico	$D = (1/4\pi)KE$
Corriente total	$C = K + dD/dt$
Magnetización inducida	$B = \mu H$
Densidad eléctrica	$e = \nabla \cdot D$
Densidad magnética	$m = \nabla \cdot J$
Fuerza magnética derivada de un potencial	$H = -\nabla \cdot \Omega$

Donde el resto de los elementos vectoriales que aparecen en las ecuaciones son: A (momento electromagnético en un punto), G (velocidad en un punto), J (intensidad de magnetización). Las constantes que indican las propiedades físicas del medio en cada punto son:

C	conductividad para las corrientes eléctricas
K	capacidad inductiva dieléctrica
μ	capacidad inductiva magnética

y las funciones escalares:

ψ	potencial eléctrico
Ω	potencial magnético
e	densidad eléctrica
m	densidad magnética

Este conjunto de ecuaciones ha sido simplificado en las cuatro conocidas ecuaciones de Maxwell, conservando la mismas letras para definir los vectores fundamentales del campo electromagnético: E, D, B, H, que denominamos como "campo eléctrico", "desplazamiento eléctrico", "inducción magnética" y "campo magnético".

De la combinación de sus ecuaciones se obtiene una ecuación de ondas, y deducir de ellas, que las ondas electromagnéticas se propagan en el éter a la velocidad de la luz era el único resultado que le faltaba para confirmar la naturaleza electromagnética de las ondas luminosas. La identidad de los éteres electromagnético y lumínico y concebir la luz como una vibración electromagnética en el éter

[13] Maxwell, J.C., *A Treatise on Electricity & Magnetism*, New York: Dover Publications, Inc., 1954 (reimpresión de la tercera edición de 1891), 2 vols., vol. II, pp. 238-262.

[14] Para una mejor comprensión de las ecuaciones se han utilizado letras latinas en lugar de las góticas empleadas por Maxwell para los elementos vectoriales, así como el producto escalar y vectorial tal y como lo denotamos en la actualidad y no como originalmente los había introducido, y que aparecían respectivamente como la parte escalar (S) y vectorial (V) de un cuaternión.

significó la unificación de la óptica y el electromagnetismo fundamentada en una teoría mecánica del éter.

La confirmación experimental de los supuestos teóricos planteados por Maxwell sería llevada a cabo fundamentalmente por Heinrich Hertz (1857-1894) tras detectar experimentalmente las ondas electromagnéticas contempladas en las ecuaciones del campo electromagnético.

Sobre el descubrimiento de las ondas electromagnéticas

Antes de que Hertz obtuviera los primeros resultados prácticos en la producción de ondas electromagnéticas, resultados que harán patentes las ondas previstas en la ecuaciones de Maxwell y significarán el triunfo de la teoría de campos frente a las concepciones newtonianas de la acción a distancia, otros científicos habían discutido ya sobre esta posibilidad, nos referimos a George Francis Fitzgerald (1857-1901) y Oliver Joseph Lodge (1851-1940).

El primero demostró que un circuito circular que oscilara de forma periódica debía emitir radiación electromagnética, y en colaboración con Lodge trató de encontrar algún tipo de dispositivo capaz de detectar dicha radiación. Por otra parte, entre 1887 y 1888, Lodge, independientemente de Hertz, realizaría una serie de observaciones en las que descubrió que de las oscilaciones[15] asociadas a la descarga en una botella de Leiden resultan ondas electromagnéticas. A pesar de ello, ninguno de los trabajos de estos dos científicos alcanzaron la trascendencia de las investigaciones realizadas por Hertz e incluso parece que sus resultados no fueron conocidos hasta después de publicados los de éste.

En 1886 comienza su conjunto de conocidas experiencias encaminadas a contrastar experimentalmente la obra de Maxwell. En 1888 publica un artículo sobre la propagación de las ondas electromagnéticas, propagación que debía realizarse a una velocidad finita en el seno de un éter electromagnético, núcleo principal de la teoría de campo de Maxwell. Con los aparatos por él mismo diseñados se propuso detectar y medir la velocidad de la radiación electromagnética, para lo cual produjo las ondas con ayuda de una bobina de inducción y las detectó con un aro que no se cerraba por completo, por lo que podía observar la producción de chispas cuando se inducían corrientes en el mismo. Con este sencillo dispositivo podía medir la longitud de onda de la radiación mientras que con la frecuencia del oscilador era posible calcular la velocidad de la onda, que resultó ser la misma que la de la luz. Consecuentemente demostró que las ondas electromagnéticas podían reflejarse en superficies metálicas, refractarse y difractarse en prismas o polarizarse por medio de rejillas metálicas, es decir, determinó que gozaban de las mismas propiedades que las ondas de luz.

Maxwell y Hertz sentaron las bases del desarrollo teórico y experimental de la telegrafía sin hilos, revolucionaria forma de comunicación de la que fueron precursores, y cuyo posterior perfeccionamiento técnico sería llevado a cabo por otros científicos. Tal es el caso de Branly, quien en 1890 hace públicos los resultados de las experiencias realizadas con su tubo de limaduras, constituido básicamente por

15 En 1847, H. von Helmholtz había encontrado que la descarga de un botella de Leiden era de tipo oscilatorio. Berkson, *opus cit.* p. 158.

un fino tubo de vidrio en cuyo interior se disponía un conductor granulado formado por una mezcla de limaduras de níquel y plata, entre dos electrodos de plata. La resistencia del tubo al paso de la corriente resultaba ser muy grande debida al contacto imperfecto de las limaduras, sin embargo, cuando en las proximidades del mismo se producía una descarga, proveniente de una máquina eléctrica o de un bobina de inducción, la conductibilidad del mismo se elevaba en gran medida.

Las observaciones de Branly realizadas con el tubo de limaduras fueron la base de los trabajos de otros científicos de renombre como los de Nikola Tesla (1856-1943) y Thomas Alva Edison (1847-1913) en América, el mismo Lodge en Inglaterra o el ruso Alekandr Stepanovich Popov (1859-1906). Sin embargo, el que verdaderamente obtuvo resultados prácticos y patentó los primeros aparatos con los que la comunicación sin cables se convirtió en una realidad, fue Guglielmo Marconi (1874-1937).

Habíamos cerrado la sección anterior con una serie de instrumentación relativa al fenómeno de la descarga eléctrica en gases y varios aparatos para el estudio de los fenómenos termoeléctricos que, como explicamos entonces, decidimos incluirlos en ese capítulo aún a pesar de que, cronológicamente hablando, su razón de ser tiene lugar a partir del descubrimiento de electromagnetismo. De esta forma hemos reunido aquí aquellos instrumentos cuyo cometido principal o funcionamiento tiene que ver con la experimentación dentro del ámbito meramente electromagnético o electrodinámico, de ahí que buena parte de los aparatos ejemplifiquen las leyes de Ampère o Faraday, o bien su funcionamiento sea, en esencia, una aplicación de las mismas: motores eléctricos, máquinas magnetoeléctricas, galvanómetros o telégrafos.

ELECTROMAGNETISMO

Rosa Mª Martín Latorre

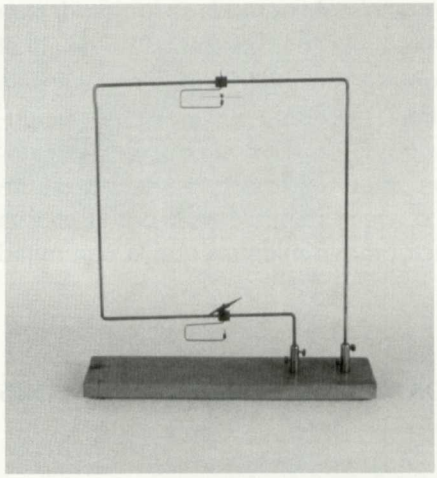


Fig. 152

108. APARATO PARA MOSTRAR LA EXPERIENCIA DE OERSTED

Nº inv.: 95/31/241
1925-1940
40x10,1x45 cm
Madera, cobre, metal, plástico
«CULTURA» / «EIMLER-BASANTA-MAASE (S.L.)» / «MADRID»

Este aparato se utiliza para mostrar la acción entre corrientes e imanes. Oersted fue quien puso de manifiesto dicho fenómeno por vez primera en 1820, cuando en su célebre experiencia observó el movimiento que sufre una aguja imanada al verse afectada por el campo magnético creado por una corriente eléctrica. Efectivamente, si se hace pasar una corriente por el alambre de cobre se observará que las agujas giran en sentidos contrarios o no, dependiendo del sentido de circulación de la corriente que influye sobre ellas.

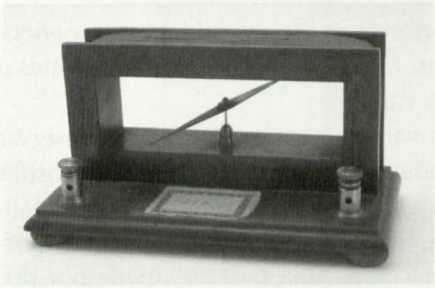


Fig. 153

109. MULTIPLICADOR DE SCHWEIGGER

Nº inv.: 95/31/744
1880-1900
13,5x7,2x7 cm
Madera, latón, metal, seda

El multiplicador de Schweigger está formado por un marco de madera en torno al cual se ha realizado un arrollamiento de cobre, de forma tal, que la corriente eléctrica entra por uno de los extremos y sale por el otro tras haber recorrido todo el devanado. Si en el espacio interior del marco, situado en posición vertical, se coloca una aguja imanada que pueda girar libremente en torno a un eje vertical que pasara por su centro, y se hace circular una corriente por el carrete, se observará que la aguja sufre una desviación como consecuencia de las acciones orientadoras que el campo magnético creado por la corriente ejerce sobre el imán.

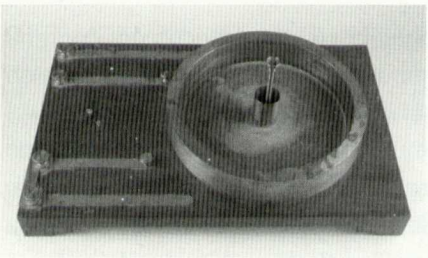


Fig. 154

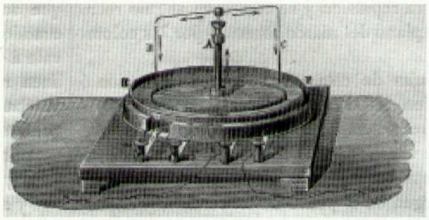


Fig. 155.- Rotación de un circuito móvil por la acción de otro fijo circular

110. MESA DE AMPÈRE

Nº inv.: 95/31/680
1880-1900
32,5x50,5x15,5 cm
Madera, cobre, latón

Se ha denominado con el nombre de mesa de Ampère al conjunto de aparatos y accesorios con los que el conocido físico realizó sus múltiples observaciones acerca de las corrientes eléctricas. Entre otras muchas experiencias, con esta mesa, es posible mostrar el movimiento de rotación producido por la acción de una corriente fija circular sobre otra móvil, siendo preciso para ello disponer de un circuito de cobre con dos de sus brazos soldados a un anillo, también de cobre, que puede girar alrededor de la columna central. En tal caso, el anillo se introduce dentro del agua acidulada que contiene la vasija de la mesa. Alrededor de ésta se localiza el arrollamiento que da lugar a la corriente fija circular. Un extremo de este devanado se conecta a la fuente de corriente que circula por toda su longitud, para pasar a través de las láminas de cobre de la mesa a la columna central, y de allí al circuito de cobre que se sustenta gracias a un espigón introducido en la cápsula con mercurio de la parte superior de la columna. Después entra en el agua acidulada y sale por el borne que se encuentra en comunicación con la vasija. Al cerrar el circuito la corriente móvil gira en sentido contrario a la fija, como consecuencia de la ley que rige el movimiento de las corrientes angulares, y por la cual la mitad de la corriente circular atrae al conductor móvil mientras que la otra mitad lo repele.

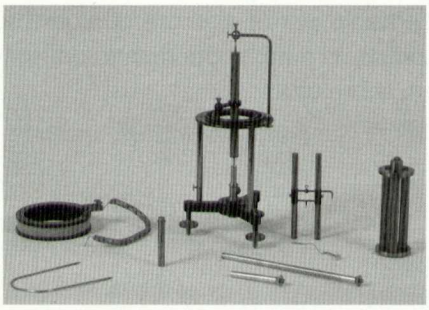


Fig. 156

111. APARATO PARA MOSTRAR LAS ACCIONES ENTRE CORRIENTES E IMANES

Nº inv.: 95/31/240
1880-1910
«Max Kohl.»; «Chemnitz.»
16,3x14x37 cm
Cobre, imán, latón, madera, metal, seda

Este aparato con su conjunto de accesorios se utiliza en diferentes experiencias para mostrar las acciones entre corrientes fijas y móviles o entre corrientes e imanes, e ilustrar con ello las leyes Ampère y Faraday.

Así, con los tres imanes cilíndricos y la varilla de cobre es posible observar la rotación que experimenta una corriente móvil en torno a un imán. Para mostrar la rotación de un imán en torno de una corriente fija se utiliza el soporte metálico del aparato sin la bobina, pero al que se le ha acoplado el otro pequeño soporte acodado de latón, de cuya parte superior cuelga una pieza formada por dos imanes dispuestos paralelos y con una punta que puede contactar con el mercurio del carril. Si en la disposición anterior utilizamos el imán con las dos puntas metálicas en sus extremos, en lugar de la pieza formada por los dos imanes paralelos, podemos comprobar la rotación que éste experimenta en torno su propio eje, cuando es afectado por una corriente fija, y finalmente, si en el soporte del aparato acoplamos la bobina y la varilla de cobre tendremos la posibilidad de comprobar la influencia que ejerce una corriente fija sobre aquella de carácter móvil.

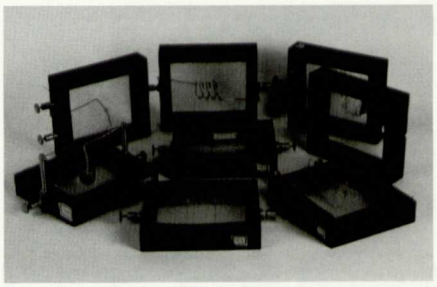


Fig. 157

112. APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO

Nº inv.: 95/31/228
1900-1920
25,5x15,7x10 cm
Madera, vidrio, metal, cobre

Con este conjunto de piezas en las que se observan diferentes formas de conductores es posible mostrar las líneas de fuerza de los campos magnéticos que surgen cuando se hace pasar a su través una corriente eléctrica. Para ello, es preciso disponer de limaduras de hierro que, extendidas sobre la placa de vidrio, dibujan las líneas de fuerza de los citados campos que, en cada caso, dependiendo de la geometría del conductor, ofrecerá una figura característica.

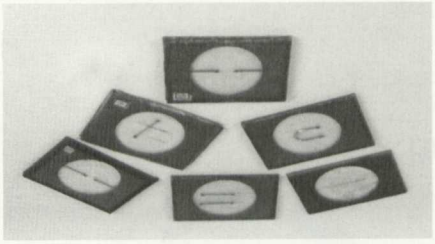


Fig. 158

113. APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO

Nº inv.: 95/31/629
1900-1920
18,5x13,2x1,1 cm
Madera, vidrio, metal

Al igual que con el conjunto anterior, con estas piezas es posible mostrar las líneas de fuerza de los campos magnéticos, pero en este caso creados por diferentes imanes. El dibujo de las líneas dependerá de la disposición de los imanes sobre el cristal.

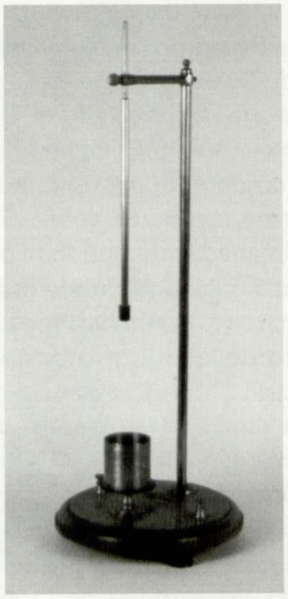


Fig. 159

114. APARATO PARA ILUSTRAR LA ATRACCIÓN ENTRE CORRIENTES PARALELAS DE IGUAL SENTIDO

Nº inv.: 95/31/527
1880-1900
Dm. 24x66,5 cm
Madera, metal, latón, pasta
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

En ciertos manuales y tratados de física de finales del s. XIX y principios del XX figura este instrumento como "Aparato de Roget", siendo su utilidad principal la de ilustrar, de manera sencilla, cómo las corrientes paralelas de igual signo se atraen. Para ello, se llena el vaso con mercurio, de manera que un solenoide que colgara del soporte, y que en este caso falta, se encontrara en contacto con el mismo. Al unir los bornes del aparato a una fuente de corriente, ésta circulará por las espiras que se juntarán debido a las fuerzas de atracción. En ese momento el extremo inferior del solenoide dejaría de hacer contacto con el mercurio del vaso, situación ésta que abre el circuito. Al cesar la circulación, el solenoide restablece su posición inicial. El fenómeno se repite una y otra vez, acentuándose la acción si se dispone una barra imanada en el espacio interior del solenoide.

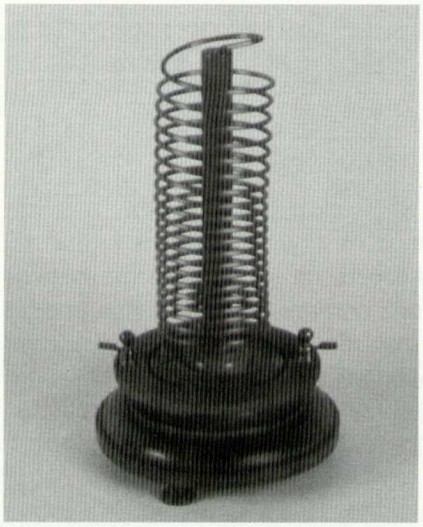


Fig. 160

115. APARATO PARA MOSTRAR LAS CORRIENTES INDUCIDAS

Nº inv.: 95/31/235
1890-1910
Dm. 18x31,5 cm
Madera, latón, cobre, metal, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Si se dispone un arco metálico en comunicación con una lámpara de incandescencia alrededor del solenoide de cobre, y por éste se hace pasar una corriente eléctrica de intensidad variable, se observará que la bombilla se ilumina debido a la variación del flujo del campo magnético en el interior del solenoide que induce en el arco metálico una intensidad de corriente. El fenómeno de la inducción eléctrica fue descubierto por Faraday en 1831. La trascendencia de su descubrimiento es fácil de imaginar; motores y generadores eléctricos, transformadores, etc., son sólo algunas de las primeras aplicaciones prácticas del nuevo conocimiento.

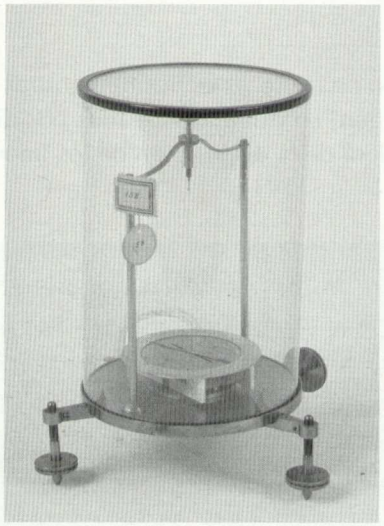


Fig. 161

116. GALVANÓMETRO ASTÁTICO DE NOBILI

Nº inv.: 95/31/141
1830-1850
17,8x19,5x26 cm
Latón, cobre, hierro, vidrio, ebonita
«DELEUIL» / «Rue Dupont de Lodi 8. Paris»

Los galvanómetros son aparatos utilizados para determinar la existencia, el sentido y la intensidad de las corrientes eléctricas. Existen dos tipos fundamentales de galvanómetros: los de bobina móvil y los de imán móvil. El galvanómetro astático de Nobili pertenece al segundo de los grupos mencionados, y su funcionamiento, al igual que el multiplicador de Schweigger, se basa en el hecho descubierto por Oersted en 1820 sobre las acciones orientadoras que los campos magnéticos creados por las corrientes ejercen sobre los imanes. En este caso, el campo magnético es el creado por una corriente de intensidad desconocida que recorre un circuito cerrado formado por un carrete de cobre. Si en el interior de dicho carrete se introduce una aguja imanada a la que se le permite rotar en torno a su punto medio, ésta girará un ángulo cuya magnitud está relacionada con la de la intensidad de corriente que circula por la bobina. Éste es, básicamente, el funcionamiento del galvanómeto de Nobili que ha sido mejorado con el llamado sistema «astático», que consiste en disponer dos agujas imanadas, paralelas y con los polos cambiados -la situada en el interior del carrete y la aguja indicadora que se dispone por encima de aquella y fuera de la bobina- que hacen al aparato insensible a las acciones del magnetismo terrestre pues serán iguales y opuestas. El sistema "astático" confiere gran estabilidad y sensibilidad al galvanómetro que lo hace perfecto para la medida de pequeñas intensidades de corrientes, siendo muy utilizado en experiencias sobre el calor radiante.

Fig. 162

117. BRÚJULA DE TANGENTES

Nº inv.: 95/31/674
1860-1880
29,5x25,2x50 cm
Latón, cobre, vidrio, marfil, metal
«DELEUIL» / «A PARIS»

Este instrumento es un tipo de galvanómetro de imán móvil que permite medir en unidades absolutas la intensidad de las corrientes. El aparato, fabricado por Deluil, está formado por un arrollamiento de cobre en torno a un aro metálico situado en posición vertical, por el que circula la corriente cuya intensidad se quiere medir. En el centro del anillo y en posición horizontal se coloca sobre un círculo graduado la aguja imanada y, perpendicularmente a ella, otra aguja de cobre o aluminio de mayor longitud que la primera, que se mueve solidaria a ésta. La aguja de mayor tamaño es la que marca sobre la escala graduada la desviación del imán. La intensidad se calcula a partir del ángulo de desviación de la aguja imanada, y para que la medida sea correcta, la brújula ha de estar nivelada y situada en el meridiano magnético.

Fig. 163

118. BRÚJULA DE TANGENTES

Nº inv.: 95/31/675
1900-1920
32x24,1x57 cm
Latón, cobre, vidrio, madera, metal, plástico
«E. Leybold's Nachfolger A.G.» / «Cöln-Rhein»

A diferencia del aparato anterior, en este modelo, el arrollamiento se realiza en torno a un anillo de madera, y está formado por seis espiras de cobre de cierto grosor independientes unas de otras, lo que permite hacer circular corriente por uno o varios de estos conductores y observar el tipo de interacción que tiene lugar en cada caso. Además, dispone de dos escalas graduadas: una externa para experimentos de cátedra y una interna sobre la que la aguja imanada señala directamente la desviación producida por el campo magnético.

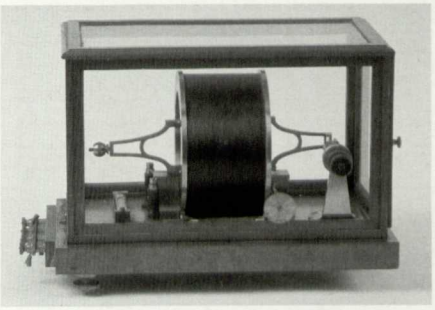


Fig. 164

119. ELECTRODINAMÓMETRO

Nº inv.: 95/31/143
1890-1900
27,6x47,9x32,5 cm
Madera, latón, cobre, vidrio
«J. Carpentier» / «Ingr Constr» / «Paris»

Este aparato, ideado por Henri Pellat (1850-1909) hacia 1888, y manufacturado por J. Carpentier, es un tipo de galvanómetro con el que es posible medir la intensidad de una corriente eléctrica por su acción sobre otra. Un imán en el seno de un campo magnético tiende a orientarse en él, de forma que su propio campo magnético quede paralelo al primero. En estas condiciones la energía del sistema es mínima.

Fig. 163

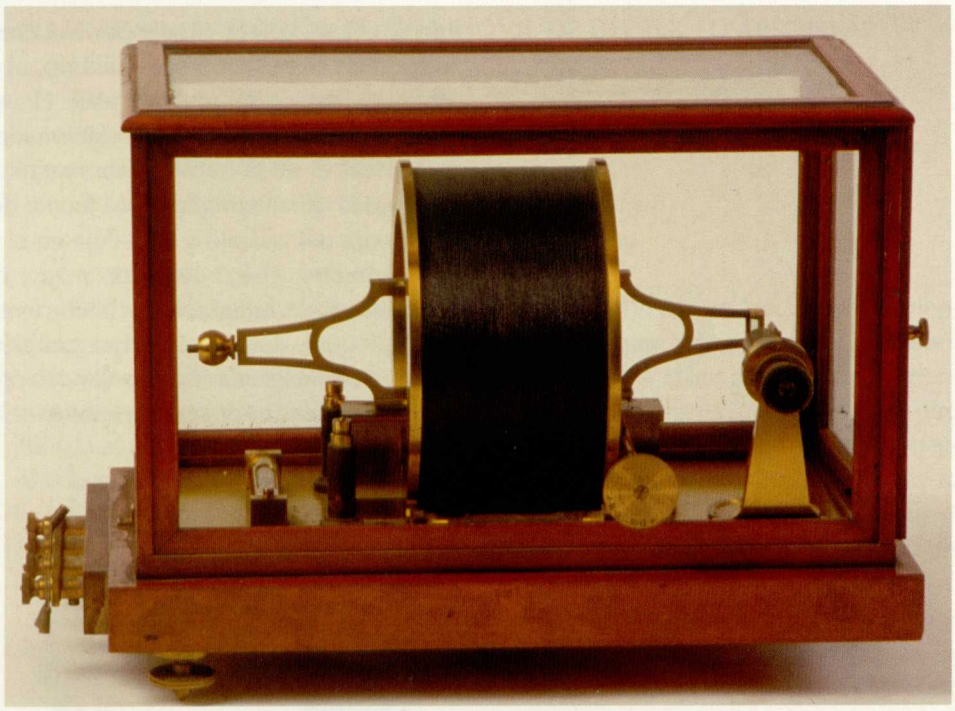


Fig. 164

Lo mismo ocurre en este electrodinamómetro formado por dos bobinas; una de ellas, la de menor diámetro dispuesta verticalmente en el espacio interior de la bobina de mayor tamaño que se sitúa horizontalmente. De esta forma, el carrete interior por el que circula la corriente que se desea conocer y que se fija por sus extremos a la cruz de un balanza, se ve afectado por el campo magnético uniforme creado en la bobina mayor al circular por ella una corriente conocida. Los campos magnéticos de las dos bobinas que inicialmente estaban perpendiculares entre sí, tienden a disponerse paralelos uno al otro, para lo cual la bobina interna se inclina en uno u otro sentido. Si se disponen sobre el platillo de la balanza los pesos necesarios para equilibrar el par electrodinámico tendremos el valor de la intensidad que circula por la bobina interior, ya que este par resulta ser proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente que circula.

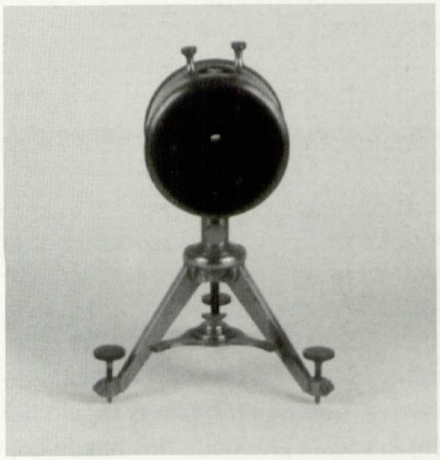


Fig. 165

120. GALVANÓMETRO DE REFLEXIÓN DE THOMSON

Nº inv.: 95/31/144
1870-1890
18x20,6x29,5 cm
Vidrio, latón, hierro, agua
«MAISON BREGUET» / «B. 3199»

Ese galvanómetro de reflexión ideado por Sir W. Thomson en 1863 está formado por una pequeña bobina o carrete, en cuyo centro se suspende una aguja imanada de excasas dimensiones que permanece adherida a la parte posterior de un espejo circular. El delicado conjunto así conformado cuelga de un hilo de seda en el interior de una caja de latón.

Por medio de los bornes situados en la parte superior del aparato y conectados a los extremos de la bobina móvil, llega la corriente que se desea medir al instru-

mento. Cuando ésta circula por el carrete, la aguja imanada experimenta una desviación de su posición de equilibrio, al ser afectada por el campo mágnético creado en el interior del multiplicador. El ángulo girado por la aguja y el espejo que se mueve solidario a ella, está relacionado con la intensidad de la corriente que circula a través de la bobina. Esta magnitud se determina mediante métodos ópticos con ayuda de una escala y una fuente de luz, cuyo haz atraviesa la abertura central de la caja del aparato y se refleja en el espejo. Cuando no circula corriente por el galvanómetro, el haz reflejado marca el cero en la escala, pero cuando la aguja experimenta la influencia de la corriente que se desea medir, el espejo, girado un cierto ángulo, devolverá un haz también desviado hacia la derecha o la izquierda del cero de la escala. Con la desviación señalada por el haz y sencillas relaciones trigonométricas es posible determinar el ángulo girado por la aguja imanada.

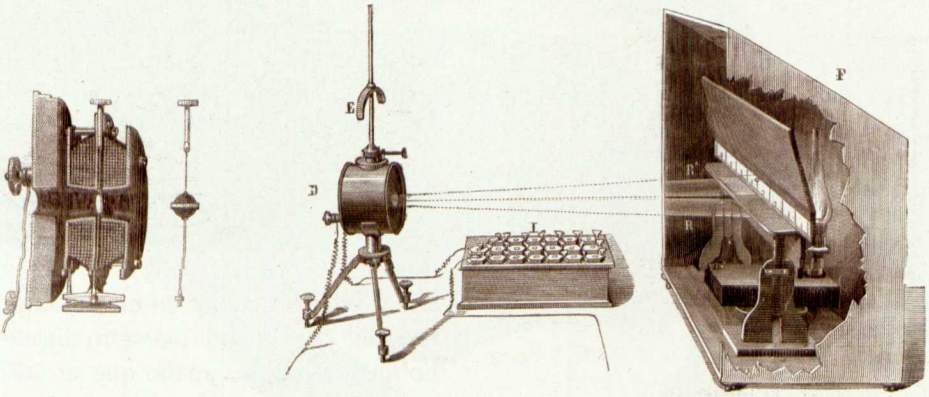


Fig. 166.- Galvanómetro de reflexión de Thomson: sección y manejo del aparato.

Al aparato le falta, tal y como se muestra en el grabado, un imán curvo con posibilidad de movimiento vertical y horizontal en una barra dispuesta en la parte superior. El imán, de escasa potencia, tiene como objetivo compensar el campo magnético terrestre, sin necesidad de tener que situar el aparato en el meridiano magnético cada vez que se desee realizar una medida. Para ello es preciso colocar los polos del mismo en sentido contrario a los polos magnéticos de la Tierra.

Fig. 167

121. ESCALA PARA GALVANÓMETRO

Nº inv.: 95/31/187
1900-1920
59,6x20,5x51,5 cm
Madera, metal, porcelana, vidrio
«THE LEEDS AND NORTHRUP CO.» / «SCIENTIFIC INSTRUMENTS» / «PHILADELPHIA.» / «9037»

Este tipo de escalas graduadas se utilizan para medir el ángulo girado por la aguja imanada y el espejo solidario a ella, que incorporan los galvanómetros que usan este mecanismo para calcular, mediante métodos ópticos, la intensidad de la corriente que circula por los mismos.

Como en el grabado anterior, un haz luminoso, en este caso proveniente de una lámpara de incandescencia que no se conserva, es dirigido hacia el espejo del galvanómetro, de forma tal que su reflejo sobre la escala graduada nos ofrece una medida del ángulo girado.

Fig. 168

Fig. 169

122. GALVANÓMETRO DE BOBINA MÓVIL DE DEPREZ - D'ARSONVAL

Nº inv.: 95/31/140
1882-1900
20,5x29,9x44,1 cm
Madera, vidrio, hierro, latón, ebonita
«Ateliers Ruhmkorff» / «J. Carpentier» / «Ingr Constr. Paris»

Este modelo de galvanómetro basa su funcionamiento en las acciones orientadoras que los campos magnéticos producen en las corrientes, en este caso sobre una pequeña bobina móvil que rodea un tubo de acero. Al hacer pasar la corriente cuya intensidad se desea medir a través del carrete, se produce en éste un giro debido al par de fuerzas que se genera por encontrarse en el seno del campo magnético proveniente del imán. Un pequeño espejo suspendido por encima de la bobina se mueve solidario a ella, lo que permite, por métodos ópticos, medir el ángulo girado por ésta y que se relaciona con el valor de la intensidad que circula por el carrete.

D'Arsonval en colaboración con Deprez ideó en 1882 este tipo de galvanómetro de bobina móvil, modificación del modelo original inventado por Deprez en 1880. Su mecanismo de funcionamiento, formado básicamente por el circuito móvil, ha sido base para la construcción de numerosos instrumentos de medida como amperímetros, voltímetros, etc.

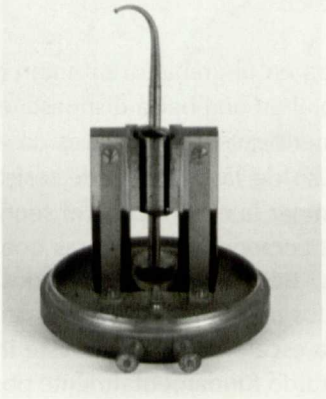


Fig. 170

123. GALVANÓMETRO DE BOBINA MÓVIL DE DEPREZ - D'ARSONVAL

Nº inv.: 95/31/139
1882-1900
21x18,5x25,9 cm
Ebonita, hierro, latón
«J. Carpentier» ; «Ingr Constr Paris»

En la fotografía se muestra otro modelo de galvanómetro de tipo Deprez-D'Arsonval fabricado por la misma casa Carpentier. El mecanismo de funcionamiento es por tanto el mismo, y se distingue del anterior, básicamente, en su tamaño y por tanto facilidad de manejo. En este caso no se conserva el espejo para la realización de la medida.

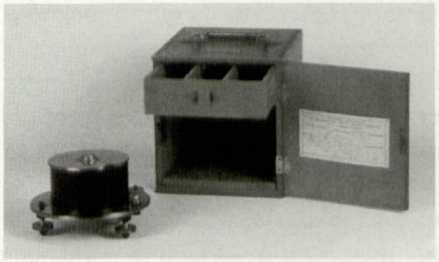


Fig. 171

124. GALVANÓMETRO DE ESPEJO DE AYRTON - MATHER

Nº inv.: 95/31/174
1907
Dm. 15x9,6 cm
Madera, metal, latón, imán, vidrio, ebonita
«MAX KOHL» / «Werkstätten für Präzisionsmechanik» / «CHEMNITZ I.S.»

Este modelo de galvanómetro, al igual que el de Deprez y D'Arsonval, pertenece al grupo de los clasificados como de bobina móvil y tiene la particularidad de disponer de bobinas intercambiables, que lamentablemente no se conservan.

E. Ayrton y Thomas Mather (1865-1937), trabajaron en el diseño de este tipo de aparatos hacia 1890.

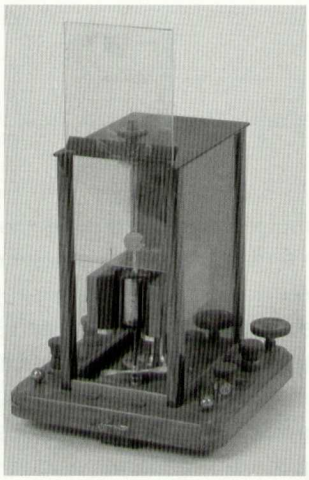


Fig. 172

125. GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL

Nº inv.: 95/31/524
1890-1910
16,5x17x23 cm
Madera, hierro, metal, vidrio, latón, ebonita, seda
«HARTMANN & BRAUN A.G.» / «FRANKFURT A.M.» / «Nº 306»

En este modelo de galvanómetro de bobina móvil, el carrete se halla suspendido entre los polos de un imán de herradura y se dispone de manera tal, que en el centro de la misma se acopla un núcleo de hierro dulce con el fin de concentrar el campo magnético del imán permanente y darle carácter radial. Como en los anteriores diseños, el giro de la bobina se produce al interactuar el campo magnético producido por ésta con el del imán permanente.

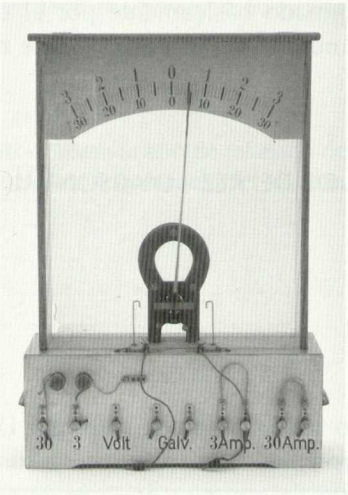


Fig. 173

126. INSTRUMENTO DE MEDIDA UNIVERSAL PARA CORRIENTE CONTINUA

Nº inv.: 95/31/741
1900-1920
48,8x18,5x66 cm
Madera, vidrio, metal, latón, cobre, seda, algodón, baquelita

Como su propio nombre indica este aparato es un instrumento de medida que permite varios usos; como amperímetro, para intensidades entre cero y tres amperios o entre cero y treinta, como voltímetro, para potenciales de entre cero y treinta voltios o entre cero y tres con el uso de las bobinas de resistencias o, finalmente, como galvanómetro, para determinar la existencia y el sentido de las corrientes. Su funcionamiento se basa en las acciones orientadoras que los campos magnéticos producen en las corrientes. Básicamente existen dos tipos de amperímetros, voltímetros o galvanómetros; los de bobina móvil que utilizan una escala lineal, y aquellos de imán móvil, cuya escala es no lineal. Este instrumento forma parte del primer grupo y está constituido fundamentalmente por un electroimán que es un núcleo de hierro al que se le arrolla un solenoide por el que circula la corriente a medir, situado entre los polos de un gran imán permanente. En el núcleo del electroimán se articula la aguja indicadora. Cuando la corriente cuya intensidad se desea conocer recorre la bobina, aparece un campo magnético que se opone al del imán permanente. Como resultado, una fuerza obliga a la bobina a girar y la aguja, solidaria a ella, lo hará también, marcando sobre la escala graduada el valor de la medida. La fuerza que mueve la bobina es proporcional a la intensidad que circula por ella, por lo que que la aguja indicadora se desviará, tanto más, cuanto mayor sea la corriente. Cuando se desea utilizar el instrumento como amperímetro o galvanómetro se realizan la conexiones en los bornes correspondientes marcados respectivamente como Amp. y Galv., pero cuando se desea utilizarlo como voltímetro es necesario utilizar las bobinas de resistencia, para lo cual se ha de conectar una de las dos tomas a ellas y la otra en el borne marcado como Volt.

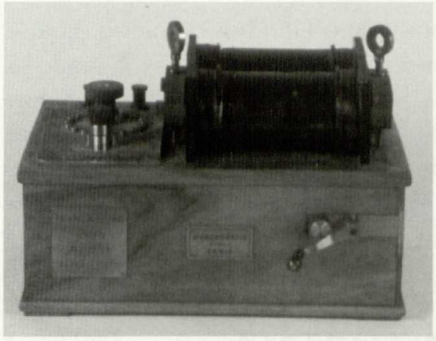


Fig. 174

127. PERMEÁMETRO

Nº inv.: 95/31/267
1880-1900
«J. CARPENTIER» / «PARIS»
34x23x24,5 cm
Madera, ebonita, metal, latón, papel

Este aparato se utiliza para medir la permeabilidad magnética de las substancias, es decir, la relación entre la inducción magnética y el campo magnético.

Este tipo de permeámetros están formados por dos bobinas dispuestas paralelas y con una probeta de hierro en su interior. Los extremos de las barras se mantienen presionados por medio de sendas piezas de acero, entre las cuales se disponen varios resortes. Ambas probetas son de idénticas dimensiones, siendo una de ellas la muestra patrón y la otra el material metálico sobre el que se desea realizar la medida, medida ésta que se toma variando la intensidad del campo magnético en el interior de las bobinas, para equilibrar el flujo que atraviesa la probeta de ensayo con la que se genera en la muestra patrón, deduciendo de ello el valor de la permeabilidad.

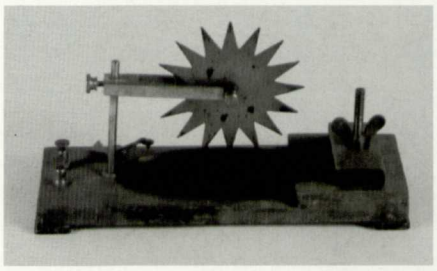


Fig. 175

128. RUEDA DE BARLOW

Nº inv.: 95/31/229
1940-1970
21,5x8,7x12 cm
Cobre, madera, metal
«OSMALITE»

El funcionamiento de los motores eléctricos se basa en las leyes del electromagnetismo enunciadas por Faraday. La rueda dentada de Barlow puede ser considerada como el primer motor de corriente continua pues, si bien todavía no es un verdadero motor, sí que actúa como tal, moviéndose en función de una corriente. Cuando se conecta la rueda con las puntas sumergidas en el mercurio contenido en el plato, a una fuente de corriente continua y se dispone el imán de herradura, que en este caso falta, de forma que el campo magnético creado por éste sea perpendicular a la rueda, ésta adquiere un movimiento de rotación, debido a la interacción entre las fuerzas magnéticas del imán permanente y las producidas por la corriente que fluye a través del disco.

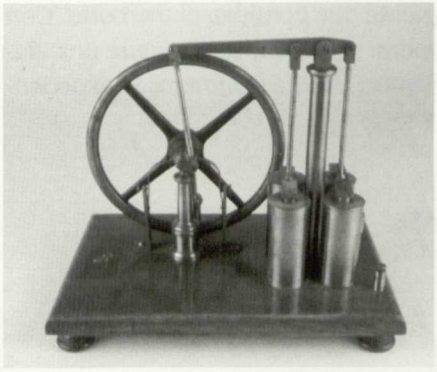


Fig. 176

129. MODELO DE MOTOR ELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/653
1870-1890
30x19,5x26 cm
Latón, acero, cobre, madera

El motor eléctrico tiene como fin obtener energía mecánica a partir de la electricidad. Este modelo concreto, cuyo funcionamiento recuerda al de la máquina de vapor, está formado por cuatro bobinas en cada una de las cuales se dispone una barra de hierro dulce hasta aproximadamente la mitad de su altura. Un sistema

articulado permite el movimiento libre de otros cuatro cilindros de hierro, que se introducen, dos a dos, y de manera alternativa en cada par de bobinas. Cuando se hace circular la corriente por los devanados se produce la imanación de las barras de hierro. Como consecuencia de ello los cilindros son atraídos y puesto que el paso de la corriente por cada par de bobinas es alternativo, el movimiento de éstos también lo será. Por medio de un biela este movimiento de vaivén se transforma en el continuo del volante.

Fig. 177

130. MOTORES ELÉCTRICOS PARA CORRIENTE CONTINUA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/230; 95/31/231; 95/31/232
1910-1930
26x16x20 cm; 21,8x17x26 cm; 17x12,2x22 cm
Hierro, latón, metal, plástico

En la fotografía se muestran tres electromotores de similares características. Este tipo de aparatos constan de dos partes principales; el circuito eléctrico que puede girar en torno a un eje y el electroimán que permanece fijo. Entre los motores de corriente continua cabe distinguir dos tipos: los de serie, en los que el devanado de ambos elementos es de hilo grueso y corto, y están recorridos por la misma corriente, y los de derivación, en los que el devanado del electroimán es de hilo fino y largo, y se encuentra conectado en derivación con el circuito.

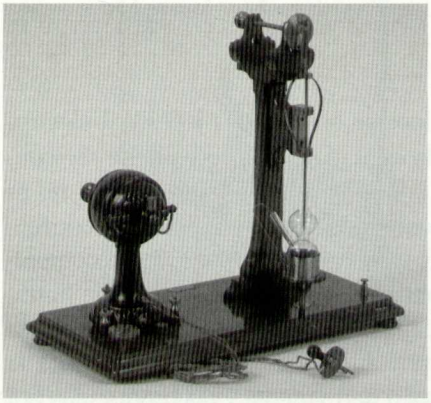


Fig. 178

131. INTERRUPTOR DE MERCURIO

Nº inv.: 95/31/604
1890-1910
50x24x47 cm
Madera, vidrio, metal, tela
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Este interruptor de mercurio está formado por un motor como los anteriormente descritos que, mediante un sistema de poleas y bielas permite el rápido movimiento de un contacto metálico, que se introduce alternativamente en un recipiente de mercurio y aceite. El aceite, que por naturaleza se sitúa sobre la superfice del mercurio, se emplea para evitar que no se derrame mercurio en el proceso, y como protección ante posibles descargas para el experimentador, actuando de alguna forma como tapa del recipiente que contiene el mercurio. Con este tipo de interruptores, accionados por un motor eléctrico, se consigue una elevada frecuencia en la interrupción de la corriente válida en numerosas experiencias de inducción.

132. MODELOS DE MOTOR TRIFASE Y DIFASE

Nº inv.: 95/31/236
1880-1910
35x35x23 cm
Madera, ebonita, metal, latón
«MAX KOHL A.G.» / «CHEMNITZ»

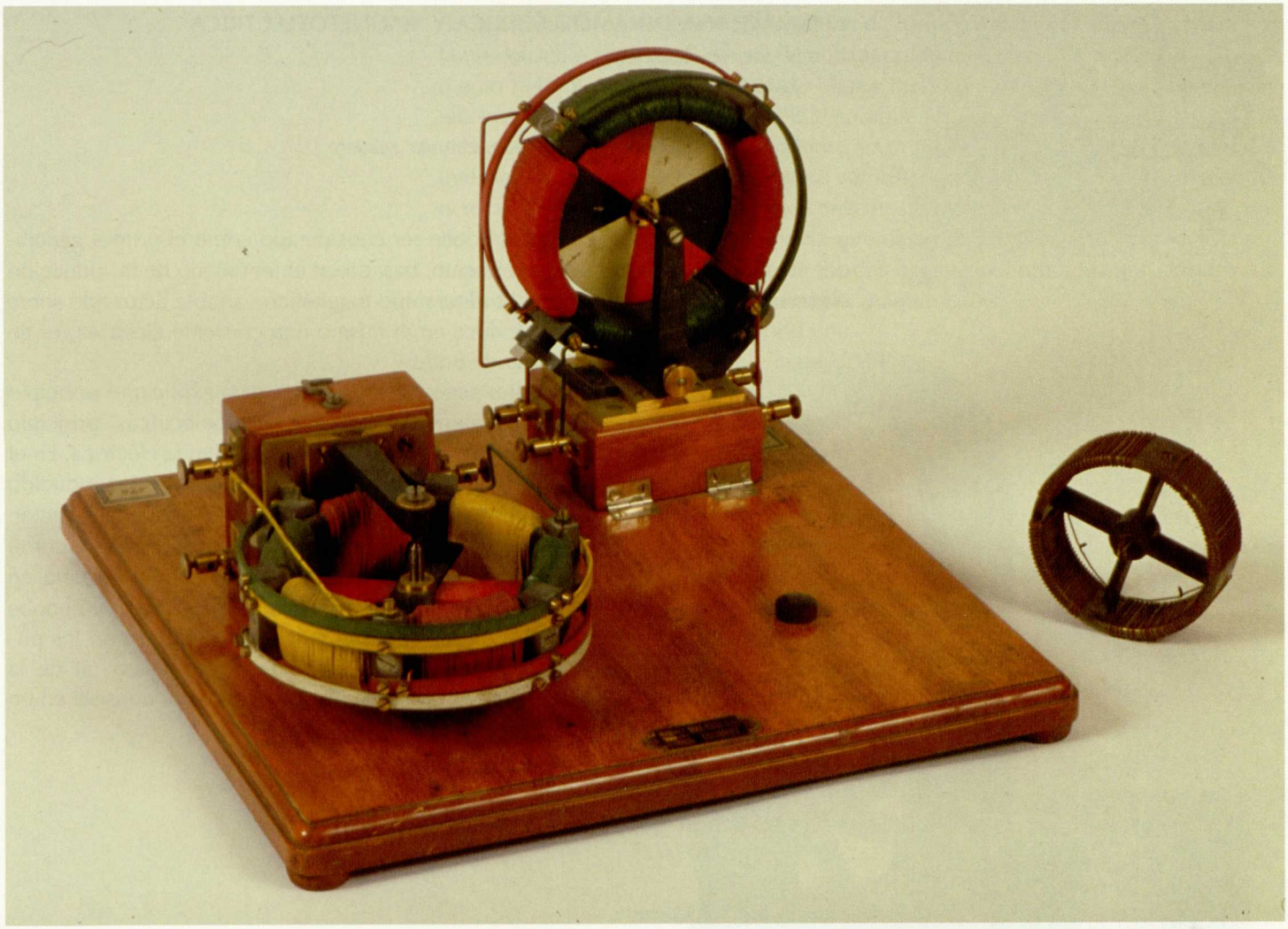


Fig. 179

Cuando a un campo magnético se le aplica un movimiento de rotación se tiene lo que se denomina campo giratorio. Si en el interior del mismo se introduce una aguja imanada, ésta girará a su vez en el mismo sentido del movimiento del campo, fenómeno que constituye el principio de los motores de corriente alterna. El campo giratorio descrito puede ser obtenido por el movimiento de un imán o un electroimán o, sin necesidad de movimiento alguno, por medio de electroimanes alimentados por corrientes bifásicas o trifásicas. En el caso de los motores trifásicos el sistema está constituido por tres corrientes alternas monofásicas de igual amplitud y periodo, pero desfasadas 1/3 de periodo cada una respecto de las restantes. Estas corrientes se hacen circular por seis arrollamientos dispuestos en estrella en torno a un núcleo en forma de anillo. El resultado es un campo giratorio que hace moverse el accesorio situado en el interior. En el caso de la corriente bifásica, son dos las corrientes alternas, de igual amplitud y periodo pero desfasadas 1/4 del periodo, las que circulan por cuatro arrollamientos dispuestos en ángulo recto. En este sistema, la corriente ha de ser transportada por cuatro conductores. Los primeros motores de corriente alterna con aplicación industrial que utilizaban sistemas de alimentación polifásicos fueron ideados por el americano Tesla en 1888.

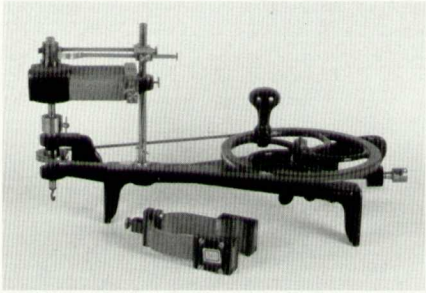


Fig. 180

133. MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA Y MAGNETOELÉCTRICA

Nº inv.: 95/31/234
1880-1910
59,5x24x30 cm
Hierro, metal, cobre, cuero, latón, ebonita, madera
«Max Kohl, Chemnitz»

El conocido disco de Faraday puede ser considerado como el primer generador electromecánico. Su funcionamiento, basado en el fenómeno de la inducción electromagnética y según el cual todo campo magnético variable actuando sobre un conductor metálico cerrado induce en el mismo una corriente eléctrica, es en esencia el inverso del de la rueda de Barlow.

Este aparato, con sus diferentes accesorios, se utiliza para explicar el principio por el que se rigen las máquinas dinamoeléctricas y magnetoeléctricas, principio por el cual, la energía mecánica puede ser transformada en energía eléctrica. En el caso de las máquinas dinamoeléctricas se hace girar mecánicamente el inducido en el campo magnético creado por el electroimán que es el que actúa de inductor, por lo que aparece en el primero una corriente eléctrica. El colector tiene como misión rectificar la corriente alterna inducida en la máquina y transformarla en corriente continua. Las máquinas magnetoeléctricas, como las de Clarke y Zénobe Théophile Gramme (1826-1901) que se muestran a continuación, fueron los primeros generadores electromecánicos y su funcionamiento es análogo al de la máquinas dinamoeléctricas. La diferencia estriba en que el inductor consiste en un imán permanente y no en el electroimán de aquellas.

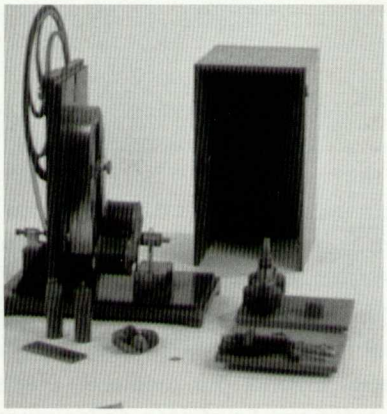


Fig. 181

134. MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE CLARKE

Nº inv.: 95/31/237
1860-1880
35,3x20,7x53 cm
Hierro, metal, cobre, latón, madera, seda
«Grasselli y Zambra» / «Opticos» / «Proveedores de los Institutos de 2ª Enseñanza del Reino» / «en Madrid.»

El primer aparato magnetoeléctrico con utilidad práctica fue el construido por Pixii en 1832. Consistía en un imán en forma de herradura que giraba delante de un electroimán, donde se producían las corrientes inducidas. El americano Saxton modificó en 1833 esta máquina de Pixii, colocando el imán en posición vertical y fijo, siendo el electroimán, formado por dos carretes recorridos por el mismo hilo en sentidos diferentes el que se hacía girar mecánicamente en el campo magnético creado por el imán, que es el que actúa de inductor, dando lugar a una corriente eléctrica inducida en el electroimán. En el diseño de Clarke de 1834, se dispuso el carrete en un plano de giro paralelo al del imán y mejoró la conmutación de la máquina de Saxton, configurándose de esta forma la primera manufactura a escala comercial de una máquina magnetoeléctrica, que además, se convirtió en el primer aparato de estas características con posibilidad de aplicaciones electromédicas.

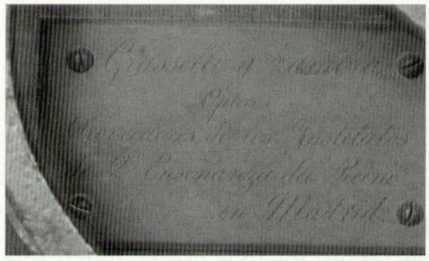


Fig. 182

La disposición de los carretes en este tipo de generadores permite que las corrientes inducidas desarrolladas en cada uno sean del mismo sentido, cambian-

do igualmente según se acercan o alejan de los polos del imán fijo. Se genera por tanto corriente alterna que se puede utilizar como tal o transformar en continua por medio del colector. Este modelo de Clarke incorpora varios accesorios para usos electro-médicos y dos inducidos intercambiables, uno de hilo fino y largo para altos voltajes, y otro de hilo más grueso y corto, para la producción de corrientes intensas con las que reproducir efectos caloríficos. Los efectos fisiológicos se obtienen con el primero de los inducidos descritos e interrupciones de corriente y producción de extracorriente. La persona que desea experimentar la conmoción violenta ha de mantener en sus manos los dos accesorios formados por cilindros de latón que se conectan a los bornes de la máquina.

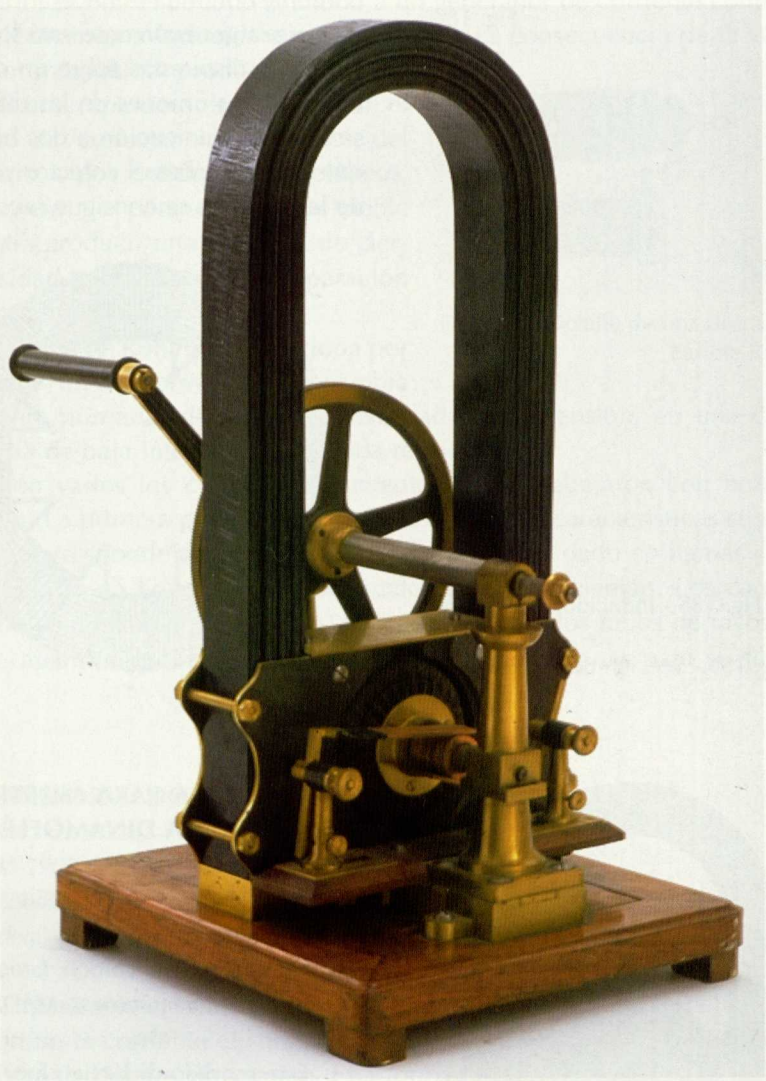


Fig. 183

135. MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE GRAMME

Nº inv.: 95/31/738
1880-1885
50,5x33,5x65,5 cm
Madera, hierro, latón, cobre, metal
«GRAMME. INV.» / «BREVETÉ S.G.D.G.» / « BREGUET. FT.» / «Nº. 462»

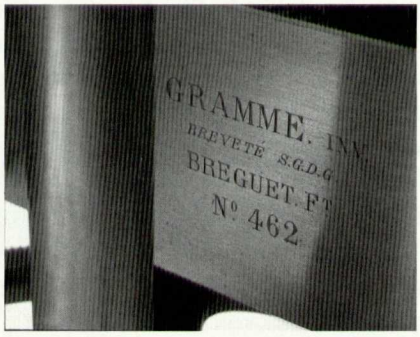
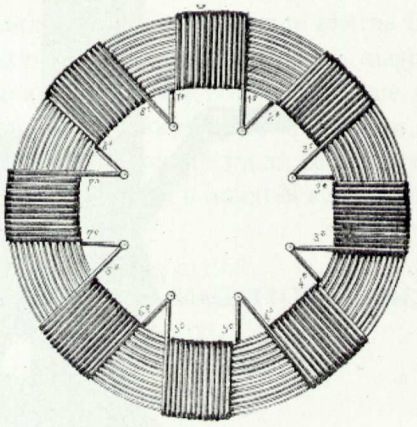


Fig. 184

Al igual que la máquina de Clarke, el generador de Gramme, ideado por este fabricante belga en 1869 es un aparato magnetoeléctrico. La diferencia con aquella radica en el tipo de inducido empleado. En este caso está formado por un anillo de hierro dulce, en torno al cual se arrollan una serie de bobinas que se encuentran unidas entre sí por sus extremos. Como en la máquina de Clarke, este anillo gira bajo la acción de los polos de un gran imán, por lo que el hierro dulce se imana con signo contrario al del inductor. Los dos campos magnéticos así formados son atravesados por las bobinas en su giro. Éstas encontrarán líneas de fuerza en sentidos contrarios en uno y otro polo, así que las corrientes que se inducen en ellas han de ser opuestas en cada semicircunferencia. Para conseguir recoger una corriente continua es necesario un colector que rectifique el sentido de las mismas. Esta pieza generalmente está formada por una serie de láminas de cobre aisladas entre sí y dispuestas sobre un cilindro de hierro. A cada uno de estos sectores se conectan las uniones de las diferentes bobinas por lo que cada placa del mismo sirve de comunicación a dos bobinas consecutivas. Por medio de unas escobillas que apoyan sobre el colector y que se encuentran en contacto con los terminales de la máquina se consigue recoger corriente continua.



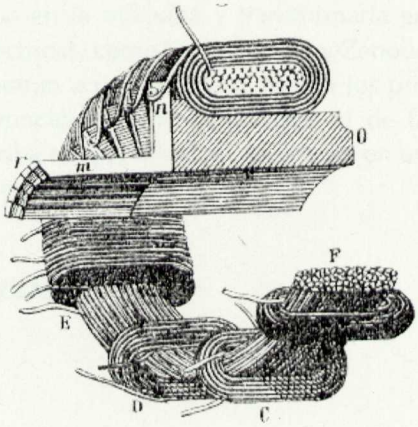


Fig. 185.- Inducido de Gramme
A la derecha
Fig. 186.- Sección del inducido de Gramme

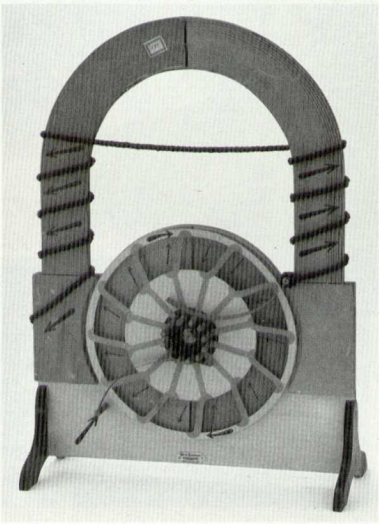


Fig. 187

136. MAQUETA PARA MOSTRAR LA ACCIÓN DEL ANILLO DE GRAMME EN UNA MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA

Nº inv.: 95/31/739
1890-1910
51,2x21,4x72,5 cm
Madera, cartón, cordón, latón, metal
«Vda. de Aramburo» / «MADRID» / «12 Principe 12»

Este modelo didáctico fabricado en cartón y madera representa de forma sencilla el funcionamiento del anillo de Gramme en una máquina dinamoeléctrica. El anillo representado, como el descrito en el aparato anterior, gira entre los polos de un gran electroimán, gracias a una manivela situada en la parte posterior de la maqueta. En el modelo se han dibujado los sentidos de las corrientes en el interior del inducido, mientras que un cordón de cierto grosor simula el arrollamiento o devanado del electroimán.

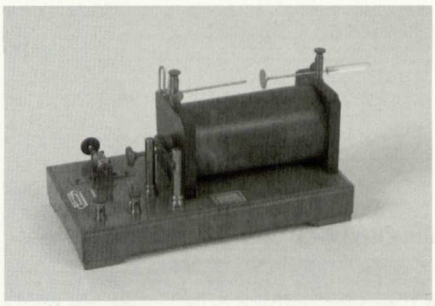


Fig. 188

137. CARRETE DE RÜHMKORFF

Nº inv.: 95/31/688
1890-1910
39,5x18,5x20,7 cm
Madera, latón, ebonita, metal, pasta, plástico
«Vda de Aramburo» / «MADRID» / «12 Principe 12"

El carrete de inducción de Rühmkorff consiste básicamente en dos devanados realizados en torno a un núcleo de hierro dulce dispuesto en el eje de dos bobinas coaxiales convenientemente aisladas. Para conseguir una tensión en el secundario, se une el circuito primario a un generador de corriente continua. La fuerza electromotriz inducida en el secundario es consecuencia de la variación del flujo magnético producido por las sucesivas interrupciones de corriente en el primario. Al conectar los extremos del secundario a dos conductores metálicos, la diferencia de potencial es suficiente como para producir una descarga de cierta intensidad, que varía con la separación de los terminales.

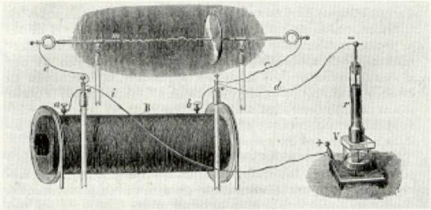


Fig. 189.- Detalle de una descarga en el carrete Rühmkorff

La bobina de Rühmkorff, funciona por tanto como un tranformador que cambia la corriente primaria, de elevada intensidad y baja tensión, en una corriente secundaria de baja intensidad y elevada tensión.

Fueron varios los científicos e inventores que trabajaron con bobinas de inducción. La primera patente de un aparato de estas características se remonta a 1851 y corresponde a Rühmkorff, por lo que se han dado en llamar «carretes de Rühmkorff» en honor a este constructor de origen alemán. Los carretes de inducción se utilizaban, entre otras aplicaciones, con los tubos de rayos X y de Geissler, aparatos que precisaban altas descargas eléctricas para su funcionamiento.

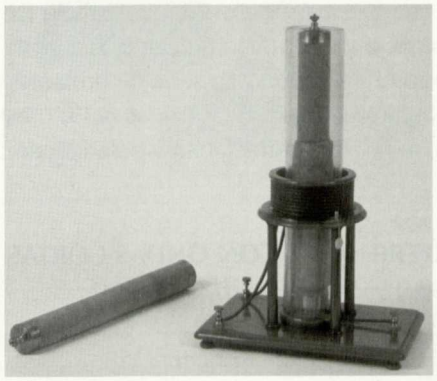


Fig. 190

138. TRANSFORMADOR DE ALTA TENSIÓN

Nº inv.: 95/31/221
1880-1900
46x29x72,5 cm
Madera, vidrio, latón, cera, hilo, ebonita

Este aparato es un transformador de alta tensión que cambia la intensidad y la tensión de la corriente eléctrica sin afectar a su potencia, salvo en lo debido a la resistencia del propio aparato. Está formado por dos bobinas de inducción. El número de espiras del devanado primario es muy reducido y es por el que circula la corriente alterna, que crea un campo magnético variable, inductor en la bobina secundaria, formada por un elevado número de espiras, de una corriente de igual frecuencia. La relación entre las tensiones de ambos conductores es proporcional a la relación entre el número de espiras de los mismos, por lo que en este caso el transformador actúa como elevador de tensión.

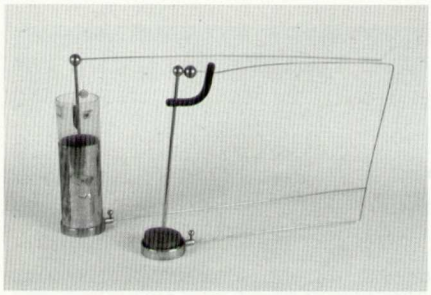


Fig. 191

139. APARATO DE LODGE

Nº inv.: 95/31/122
1900-1930
68x18x36 cm
Plomo, metal, vidrio, estaño

El aparato de Lodge se utiliza para la demostración del fenómeno de resonancia eléctrica aplicado a dos circuitos.

Cuando se excita la botella de Leiden que tiene las esferas que actúan de oscilador se observa que en la segunda botella, dispuesta con su circuito paralelo al de la primera, se produce una chispa entre las dos pequeñas esferas cuando el alambre móvil transversal ocupa la posición adecuada. Esta chispa indica que la vibración se encuentra en su máxima amplitud. Si se mueve la varilla del circuito se observará que la descarga desaparece.

En 1894 Lodge expuso ante la Royal Institution el trabajo *The Work of Hertz*, en el que reflejó la importancia del fenómeno de la resonancia para la obtención de resultados satisfactorios en los detectores de ondas de radio y en colaboración con Alexander Muirhead, patentaría algunas de sus ideas más importantes como la antena de circuito resonante.

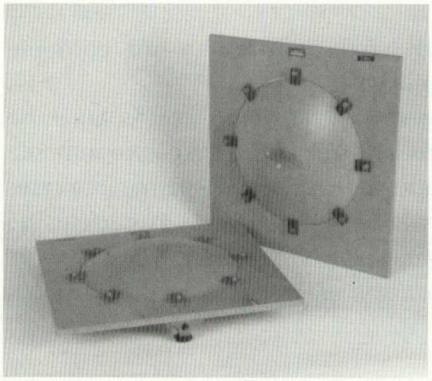


Fig. 192

140. DOS LENTES DE PARAFINA PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS

Nº inv.: 95/31/591
1930-1950
40,1x5,2x40,1 cm
Madera, parafina, metal, baquelita
«LEYBOLD» / «582 36» / «MADE IN GERMANY»

Este par de lentes de parafina, junto con las rejillas de polarización que se muestran a continuación, constituyen un conjunto de sencillos aparatos con los que es posible verificar las leyes de la óptica para la radiación electromagnética de onda corta. En concreto, con estos prismas de parafina sería posible comprobar que dicha radiación puede refractarse, mostrando con ello el carácter transversal de las vibraciones.

Hertz fue quien puso de manifiesto la existencia de la radiación electromagnética prevista por las ecuaciones de Maxwell, comprobando con una serie de brillantes experiencias que ésta gozaba de propiedades análogas a las de las ondas de luz, es decir, se propagaban en línea recta, difractaban, reflejaban, refractaban y polarizaban.

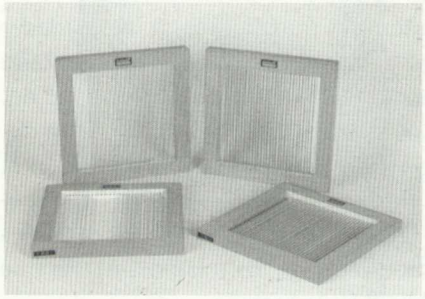


Fig. 193

141. REJILLAS DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/599; 95/31/600; 95/31/601; 95/31/602
1920-1940
26,8x26,5x2 cm; 26,8x26,5x2 cm; 26,8x26,5x2 cm; 26,8x26,5x2 cm
Madera, vidrio, metal, agua
En cada pieza: «LEYBOLD» / «58238» / «MADE IN GERMANY»

Este conjunto de rejillas de polarización, como su propio nombre indica, se emplean en experiencias de ondas cortas para mostrar que la radiación electro-

magnética sufre polarización al igual que las ondas luminosas. Con estas rejillas, dos de ellas formadas por varillas metálicas mientras que las otras dos restantes están constituidas por finos tubos de vidrio con agua en su interior, se comprueba que la "vibración de Fresnel" es paralela al campo eléctrico de la onda y la "vibración de Neumann-Mac Cullagh" lo es al campo magnético.

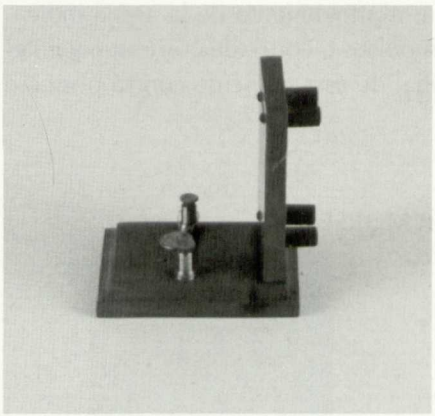


Fig. 194

142. MICRÓFONO HUGHES

Nº inv.: 95/31/278
1890-1910
9,7x7,4x10,1 cm
Madera, metal, cobre, latón, carbón

El micrófono eléctrico es una de las aplicaciones prácticas de la electricidad. Básicamente actúa como amplificador de los efectos mecánicos que acompañan a las vibraciones sonoras. El ideado por David Hughes (1831-1900) en 1878 está formado por dos contactos de carbón unidos a una pila y un receptor telefónico. Entre ellos se sitúa una pieza del mismo material, tallada en forma de huso. Cuando se produce una vibración en las proximidades del micrófono, los contactos imperfectos de las piezas de carbón ofrecen una resistencia variable al paso de la corriente. Esto sobrepone una corriente alterna a la uniforme que proporciona la pila, actuando directamente en el receptor telefónico. El primer micrófono de contacto variable fue inventado por Alexander Graham Bell (1847-1922) en 1876, pero se debe a Hughes el prototipo de los micrófonos modernos, en los que los contactos imperfectos se establecen entre barras de carbón. Independientemente, el americano Edison había experimentado con las propiedades del carbón hacia 1877, en su intento por mejorar el teléfono de Johann Philipp Reis (1834-74) ideado en 1860.

Fig. 195

143. TELÉGRAFO DE CUADRANTE

Nº inv.: 95/31/271
1870-1890
«DARNET» / «A PARIS»
30,1x19,7x24,4 cm
Madera, latón, acero, cobre, vidrio, seda, marfil

Para realizar la transmisión con el telégrafo de cuadrante, se conectan entre sí el transmisor y el receptor. Un generador de corriente, una pila por ejemplo, se une al aparato transmisor, y mientras que en éste, la palanca indicadora esté situada en la posición marcada con una cruz, no se producirá ningún tipo de transmisión, pues el circuito se encuentra interrumpido. Para que ésta tenga lugar es necesario que la aguja del manipulador o transmisor se sitúe sucesivamente en aquellas letras que se

Fig. 196

desean transmitir. El mecanismo al que va unido la aguja abre y cierra alternativamente el circuito, provocando intermitencias en la corriente, que a través de la línea, llegan al receptor.

Cada interrupción y posterior emisión de corriente corresponderá a un cambio de letra en el aparato transmisor. Los continuos cortes en el flujo de corriente se recogen en el receptor como una sucesión de imanaciones y desimanaciones del núcleo del electroimán que en él se dispone, y que provocan a su vez atracciones intermitentes del martillo. Esto da lugar al movimiento de la aguja indicadora, que se desplazará según el número de impulsos o cortes de corriente que lleguen al mismo, de manera que la posición final de ésta coincide con la posición de la aguja en el transmisor.

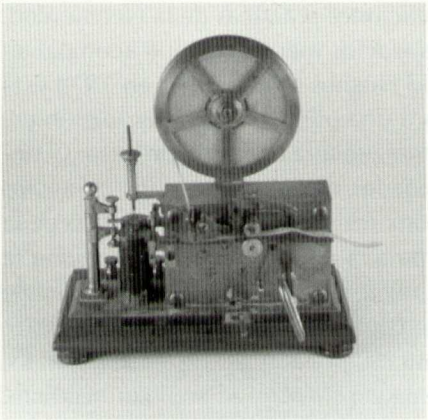


Fig. 197

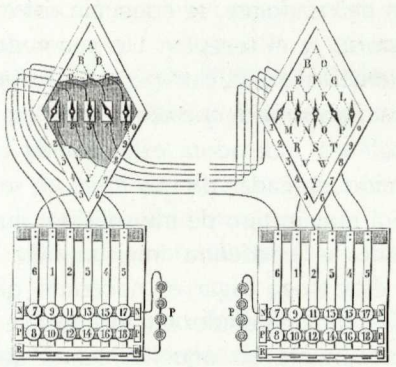
144. RECEPTOR DEL TELÉGRAFO IMPRESOR MORSE

Nº inv.: 95/31/270
1870-1890
«Mon BREGUET» / «Nº 13190»
31x24x33,5 cm
Madera, metal, latón, acero, cobre, tela, papel

Las características fundamentales del telégrafo impresor de Morse, a diferencia de los telégrafos de cuadrante como el anteriormente descrito, son la posibilidad de imprimir directamente el mensaje en una cinta de papel y su facilidad de manejo. Por contra, el mecanismo del telégrafo impresor resulta ser bastante más complejo que en el otro caso.

El receptor del telégrafo Morse está básicamente formado por un electroimán que recibe la corriente enviada por el manipulador, y que produce una imanación y desimanación alternativa del núcleo según la duración de las señales. La armadura que se acopla a una palanca, es atraída cuando circula la corriente por el electroimán, y vuelta a su posición cuando ésta cesa, oscilando entorno a un eje horizontal y limitándose su movimiento entre dos topes. Esta palanca contacta con el papel y va marcando sobre el mismo las señales que desde el manipulador se emiten.

El sistema de impresión en tinta vino a sustituir el punzón y los trazos en relieve del original telégrafo Morse. Según este sistema el propio mecanismo de relojería que arrastra la cinta de papel, es el que hace girar un pequeño cilindro de cobre contra el rodillo de fieltro impregnado en tinta. De esta forma, el punto o raya que en el sistema Morse aparecía en relieve, resultan ser ahora, trazos en tinta.



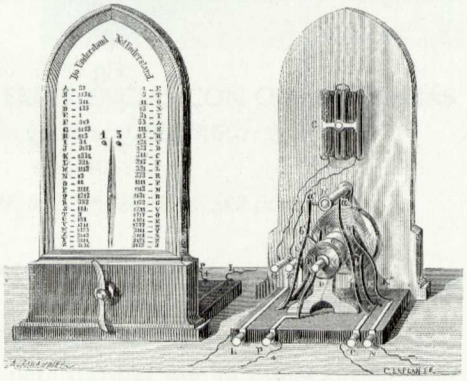


Fig. 198.- Telégrafo de cinco agujas
A la derecha
Fig. 199.- Telégrafo de una aguja: manipulador y receptor

La primera patente de un telégrafo con utilidad práctica fue realizada por Wheatstone y Cooke, en 1837. Su aparato disponía de un complejo sistema de cinco agujas magnéticas y seis cables conductores, que fue posteriormente simplificado a dos agujas para finalmente, hacia 1845, convertirse en un sencillo dispositivo de una sola aguja y dos cables. El telégrafo de Wheatstone y Cooke resultó ser una aplicación práctica del descubrimiento de Oersted.

Frente al dispositivo anterior, el norteamericano Samuel F. B. Morse (1791-1872) diseñó un sencillo y económico mecanismo en el que la señal se descifraba según un código de puntos y rayas. El equipo ideado por Morse fue operativo a finales de 1837 convirtiéndose rápidamente en el telégrafo más utilizado. Hacia 1845, Morse fundó la Magnetic Telegrah Co.

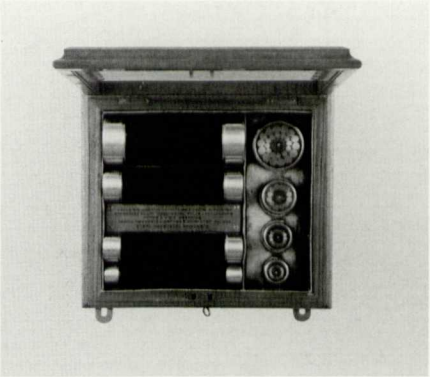


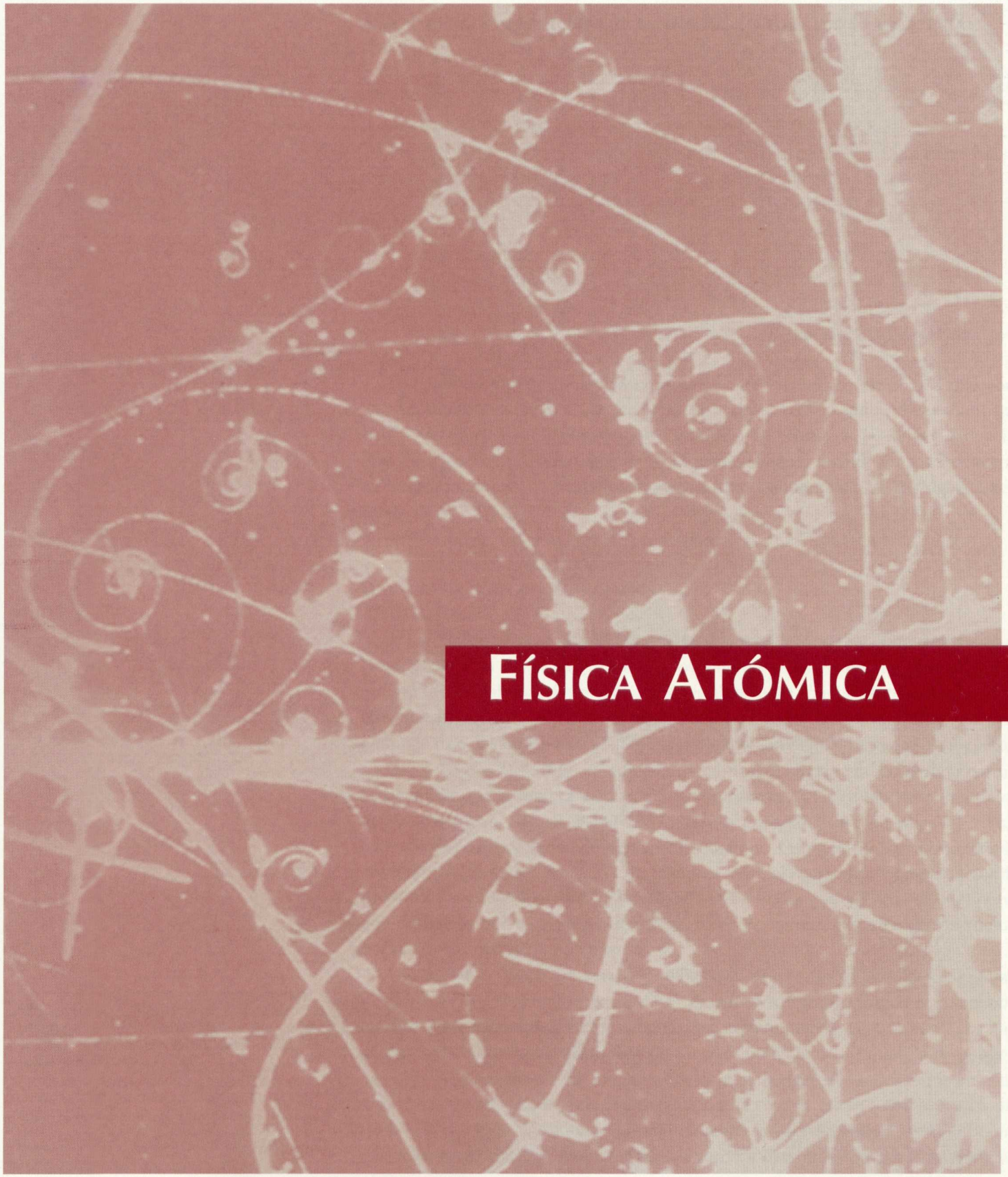
Fig. 200

Fig. 201

145. MUESTRAS DE CABLES TELEGRÁFICOS SUBMARINOS

Nº inv.: 95/31/272
1900-1920
27,1x26x8,4 cm
Madera, vidrio, acero, cobre, metal, gutapercha
«SUBMARINE TELEGRAPH CABLE» / «FOR THE WEST INDIA & PANAMA TELEGRAPH COMPY» / «ENGINEER, SIR. C. T. BRIGHT» / «MANUFACTURED BY THE INDIA RUBBER, GUTTA PERCHA AND» / «TELEGRAPH WORKS COMPY LIMITED, SILVERTOWN. ESSEX.»...»SILVERTOWN» / «TELEGRPH WORKS» / «LONDON»

Este estuche contiene una serie de muestras de cables submarinos telegráficos. Dichos cables surgen a mediados del pasado siglo para permitir la transmision de señales eléctricas bajo el agua. El alambre conductor de un cable submarino se caracteriza principalmente por el tipo de recubrimiento de que dispone y que tiene por objeto no sólo el aislarlo, sino también protejerlo de cualquier otro tipo de deterioro al que pudiera verse afectado en relación al medio en el que se instala. Normalmente están formados por un conductor compuesto de varios alambres de cobre de escaso diámetro recubiertos por material aislante como la *gutta percha* o el caucho, y protegidos por una armadura de cables de acero de cierto grosor que se disponen alrededor de los primeros. Por lo general el cable de una misma línea debía tener diferentes grosores dependiendo del lugar que debían atravesar. Así en las zonas costeras, de poca profundidad, es necesario disponer de cables más resistentes al desgaste, producido fundamentalmente por el roce contra las rocas en los fuertes oleajes y con las anclas de los buques. Por ello se necesitaban cables de mayor diámetro y peso, con armaduras metálicas de gruesos alambres. A medida que aumenta la profundidad, el cable resulta ser de menor diámetro, siendo el más pequeño, el utilizado en alta mar donde las condiciones de agitación a las que se ve expuesto mejoran considerablemente. En este estuche se muestran precisamente los diferentes diámetros de cables que se utilizaban en una misma línea.



Física Atómica

FÍSICA ATÓMICA. EN TORNO A LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA

Leonor González de la Lastra

Los filósofos de la ciencia consideran que los nuevos elementos que han entrado en juego en la física moderna del s. XX son suficientes como para hablar de una Segunda Revolución Científica. La teoría de la Relatividad y la mecánica cuántica añaden elementos conceptualmente novedosos a las concepciones tradicionales, fundamentalmente espacio - temporales, de los siglos anteriores[1].

DE LA CONTINUIDAD A LA CUANTIZACIÓN

El s. XIX constituyó el periodo más brillante de lo que hoy conocemos como Física clásica, es decir, la que estudia los fenómenos directamente observables a nuestra escala habitual. En esta época se establecieron sólidamente las bases de la mayoría de las ramas de la física: calor, acústica, hidrodinámica, óptica, etc. Sin embargo este desarrollo era más bien la prolongación natural de estudios iniciados en los ss. XVII y XVIII. Mientras que la Mecánica se fundamentaba en una consideración de una estructura discontinua en la materia, la Física moderna (la óptica de Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), el electromagnetismo de Maxwell, etc.) consideraban una materia completamente continua. Como oposición a esta última corriente surgió a fines del s. XIX un grupo de teóricos, como por ejemplo Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) que intentaban reintroducir elementos discontinuos que completaran las consideraciones de materia continua, restaurando las nociones de átomo, molécula, o electrón[2].

Entre 1880 y 1900 numerosas pruebas experimentales empezaban a apuntar hacia una estructura discontinua de la materia y de la electricidad, como por ejemplo los estudios de descargas en gases y de fenómenos electrolíticos. Los llamados rayos catódicos en los tubos de Crookes indicaban la presencia de pequeños corpúsculos dotados de carga eléctrica negativa. Estudios realizados en esta dirección llevaron a encontrar valores constantes en la emisión fotoeléctrica de ciertos metales, en la termoiónica de filamentos incandescentes, y más tarde en la radiación de cuerpos radioactivos, así como a determinar la relación entre su

[1] Puede consultarse un análisis general de todos estos aspectos en Sánchez Ron, J. M., *Espacio-tiempo y Átomos. Relatividad y Mecánica Cuántica*, Akal. Historia de la Ciencia y de la Técnica, Madrid: Akal, 1992.

[2] Para una visión de la evolución a partir de finales del siglo XIX de la física en general y de partículas pueden consultarse las obras: Brown, M. y Hoddeson, L. (eds.), *The Birth of particle physics*, Cambridge, 1983 y Wilson, W., *A Hundred Years of Physics (1850-1950)*, Londres, 1950.

carga y su masa mediante la desviación de las trayectorias de estas partículas ante campos eléctricos o magnéticos conocidos. Poco a poco, esta concepción discontinua de la materia fue tomando fuerza, apoyada en las experiencias, constituyendo el germen de un gran cambio en la historia de la Física: el producido por la aparición de la cuantización en la ciencia, es decir, de unidades de magnitud que caracterizan tanto a la radiación como a la materia (según esto, por ejemplo, la energía se emite en cantidades discretas, múltiplos enteros de la frecuencia de la vibración).

A comienzos del siglo los químicos habían aceptado la hipótesis atómica y los físicos disponían de pruebas experimentales que parecían inclinarse a corroborar la existencia de átomos y moléculas, a las que se añadían los estudios destinados a determinar el llamado número de Avogadro, que, como demostraron Ampère y Amadeo Avogadro (1776-1856) en 1815 indicaba las moléculas contenidas en una molécula-gramo de un cuerpo. La coincidencia de los resultados confirmó definitivamente la existencia de los átomos y las moléculas y permitió determinar la masa de todos ellos. Partiendo de esta base, y gracias al impulso de la mecánica estadística, pudieron explicarse numerosos fenómenos, inabarcables con las teorías clásicas.

Hacia 1910 nuevos elementos entraron en juego al comprobarse que la cuantización no afectaba únicamente a la materia, sino también a la luz, que hasta entonces se hallaba bajo la continuidad de las ondas, y a los estados de movimiento, vinculados a los parámetros continuos de espacio y tiempo. El origen de esta revolucionaria teoría de los cuantos está en los experimentos relacionados con la radiación de un cuerpo negro, llevados a cabo por Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) en torno a 1860, en los que estaban implicados los intercambios de energía entre materia y radiación.

Los problemas planteados por la interpretación de la distribución espectral de esta radiación fueron resueltos por Max Planck (1858-1947). Tras intentar una explicación en el seno de la concepción continua de la emisión y la absorción, las sugerencias hechas por Ludwig Boltzmann (1844-1906), quien en 1884 justificó teóricamente la dependencia de la transferencia de calor por radiación con la cuarta potencia de la temperatura, le hicieron cambiar la orientación de su trabajo hacia la consideración de una cuantización en los movimientos de los electrones, es decir que sólo les estaba permitido tener determinados movimientos, y por tanto, la energía se emitía y absorbía en cantidades finitas, proporcionales a la frecuencia de la energía radiante.

La hipótesis de la cuantización de la energía radiante, que implicaba el carácter corpuscular de la energía, parecía estar en contradicción con las teorías ondulatorias de Fresnel y Maxwell. Esta aparente contradicción fue resuelta por Albert Einstein (1879-1955) en 1905, quien, sin descartar el carácter ondulatorio, estableció que en toda radiación de una frecuencia determinada, la energía se concentra en "cuantos de luz", hoy conocidos como fotones, intuyendo la necesidad de una teoría que sintetizara ambos aspectos de la radiación, corpuscular y ondulatorio.

En torno al átomo

Todos estos avances en la teoría atómica fueron abriendo nuevas puertas que a su vez le iban dando forma[3]. Niels Bohr (1885-1962) sintetizó el modelo de átomo propuesto por Ernest Rutherford (1871-1937) en 1909 (análogo a un sistema solar en miniatura y que le fue sugerido por sus experiencias sobre radioactividad con partículas α) y las concepciones de Planck y Einstein, estableciendo una serie de postulados que sentaron las bases de una teoría cuántica del átomo: el electrón sólo puede ocupar determinadas órbitas, y cuando pasa de una a otra, y sólo en esta situación, emite o absorbe una cantidad de energía en forma de fotón, cuya frecuencia depende de la órbita inicial y final.

Esta revolucionaria teoría dio explicación a numerosos fenómenos hasta entonces inexplicables, como por ejemplo las líneas espectrales o la tabla periódica de los elementos. En los años sucesivos fue completándose y perfeccionándose con nuevas contribuciones, como por ejemplo las subdivisiones o desdoblamientos de estas órbitas introducidas por Arnold Sommerfeld (1868-1951), que introducían nuevos números cuánticos.

Posteriormente, fenómenos espectroscópicos y magnéticos considerados como anomalías porque escapaban a la interpretación, llevaron a pensar en la necesidad de caracterizar al electrón con una nueva propiedad, un nuevo número cuántico, añadida a las ya existentes de carga y masa. En 1925 Wolfgang Pauli (1900-1958) le atribuyó una especie de rotación interna que se traducía en la aparición de un momento angular intrínseco, el spin, y otro magnético. Para comprender esta característica del electrón, Paul Adrien Dirac (1902-1984) construyó una mecánica ondulatoria que ha supuesto uno de los pilares de la Física teórica contemporánea.

A principios de los años 30 únicamente estaban presentes tres tipos de partículas: el electrón, el protón y el fotón. Desde principios del siglo XX numerosos físicos habían orientado su atención hacia la comprensión de la estructura del núcleo atómico, cargado positivamente y origen de la casi totalidad de la masa del átomo. A partir de ese momento la evidencia de la existencia de nuevas partículas hasta entonces desconocidas provocó una gran evolución en el conocimiento de la estructura de la materia. Todos estos descubrimientos se llevaron a cabo gracias a experiencias de bombardeo corpuscular, en el cual se producían cambios en el núcleo mediante choques entre partículas de elevada energía, y el estudio de los rayos cósmicos, procedentes del espacio extraterrestre; el resultado fue la identificación del neutrón y del positrón. Además, el estudio de la radiación continua β de los cuerpos radiactivos llevó a los teóricos, para salvar el principio de conservación de la energía, a imaginar la existencia de un corpúsculo neutro muy ligero, el neutrino, emitido simultáneamente con esta radiación. En 1935 el físico japonés Hideki Yukawa (1907-1981) anunció, partiendo de consideraciones teóricas, la probable existencia de otras partículas de masa intermedia entre el protón y el electrón que recibieron el nombre de mesones. Poco después dicha predicción fue confirmada experimentalmente al encontrarse una nueva partícula presente en la radiación cósmica, hoy conocida como mesón μ.

[3] Puede consultarse una completa visión de la física del siglo XX en las obras: Weiner, C. (dir.), *History of 20th Century Physics, Nueva York*, 1977 y Brown, L. M., Pais, A. y Pippard, Sir B., *Twentieth Century Physics*, Bristol y Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1995, 3 vols., especialmente vol. 1, cap. 1-5.

Estos descubrimientos pronto llevaron a una renovación de las teorías de la física nuclear. Werner Heisenberg (1901-1976) formuló la hipótesis de que el núcleo está constituido por protones y neutrones y que los electrones y positrones emitidos en las desintegraciones nucleares no tienen existencia como tales en el núcleo, sino que surgen en la desintegración mediante la transformación de un neutrón en protón o a la inversa. Esta hipótesis permitió explicar numerosos fenómenos de Física nuclear, aunque la naturaleza de las fuerzas de corto alcance que unen protones y neutrones confiriendo estabilidad al núcleo era todavía desconocida. Los estudios de Yukawa sugirieron la posibilidad de que, al igual que los fotones estaban asociados a un campo electromagnético, también podrían estarlo los mesones, siendo este campo "mésico" el causante de fuerzas estáticas de corto alcance, responsables de la unión de los constituyentes del núcleo.

Nuevos modelos matemáticos

Hacia 1923, la teoría atómica vista anteriormente parecía precisar una nueva reforma pues, si bien había supuesto un gran éxito, las previsiones no siempre coincidían con los resultados experimentales. El primer intento tuvo lugar en esos años, sentándose las bases de la mecánica ondulatoria, que trataba de sintetizar las ondas y los corpúsculos. Las principales contribuciones que, poco a poco, llevaron a esta nueva mecánica fueron la sugerencia de Einstein en 1917 de "probabilidades de transición", la formulación de Bohr del principio de correspondencia, que intentaba reconciliar la imagen cuántica microscópica y la teoría clásica macroscópica, y la proposición de Louis de Broglie (1875-1960) en 1924 de que no sólo la luz, sino también la materia en general, poseía una doble naturaleza corpuscular y ondulatoria.

El gran impulso a esta nueva teoría vino de manos de Erwin Schrödinger (1887-1961), quien formalizó matemáticamente la idea de que la cuantización de las órbitas surgía del siguiente postulado: la longitud de la órbita ha de ser un número entero de veces proporcional a la longitud de onda de la onda material asociada al electrón, algo que, si bien parecía inverosímil, explicaba los fenómenos de difracción de electrones en cristales. La confirmación experimental de la existencia de una onda asociada al electrón vino a principios de 1927, cuando Clinton Joseph Davisson (1881-1958) y Lester Halbert Germer (1896-1971) descubrieron el fenómeno de la difracción de electrones por los cristales, al que se unieron la difracción por el borde de una pantalla y la interferencia de ondas electrónicas. En ese mismo año, Dirac encontró la ecuación relativista para el electrón, prediciendo en 1931 a través de ella la existencia del positrón, que se detectó en los rayos cósmicos un año después.

Si bien en estas épocas se había probado que la mecánica cuántica podía considerarse como una transposición algebraica de la mecánica ondulatoria, estas dos formas de explicación de los aspectos microfísicos de la materia estaban impulsadas por tendencias opuestas, similares a las atomista y energetista de principios de siglo. La mecánica ondulatoria empleaba parámetros de espacio y tiempo; la cuán-

tica buscaba un formalismo capaz de explicar y prever los fenómenos constatables experimentalmente. Esta última corriente condujo a la interpretación probabilística de la física, representada en el principio de indeterminación enunciado por Heisenberg en 1926, según la cual en física cuántica no se puede determinar con certeza ni la posición, ni la energía, ni la cantidad de movimiento de los diferentes corpúsculos o partículas que constituyen la materia, sino únicamente la probabilidad de que estos parámetros adquieran unos valores determinados. Experimentalmente se pueden conocer estos valores, pero sólo en un instante determinado. El éxito de esta corriente, a pesar de su carácter algo abstracto, probablemente descanse en su coherencia y en su capacidad de dar explicación a todas las cuestiones que le plantean los fenómenos observables.

Para compaginar los dos aspectos de las partículas, el ondulatorio y el corpuscular, puestos de manifiesto experimentalmente en el caso de los electrones por la difracción, uno y por la cámara de niebla, el otro, Bohr introdujo el concepto de complementariedad, según el cual onda y corpúsculo son dos aspectos complementarios de la realidad, cuya manifestación, excluyente, depende de las condiciones del experimento.

Todos estos resultados tuvieron su aplicación a otras ramas de la ciencia, como por ejemplo a la biología (a través de la microscopía electrónica), o a las teorías químicas de enlaces atómicos, en concreto a la teoría cinético molecular, en la que dio lugar a las estadísticas de Fermi-Dirac y Bose-Einstein.

FÍSICA ATÓMICA

Leonor González de la Lastra

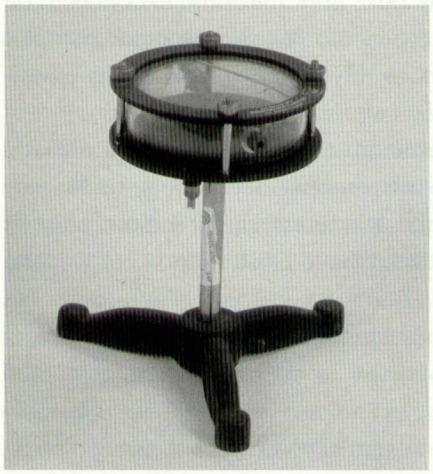


Fig. 202

Fig. 203

146. CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON

Nº inv.: 95/31/17
1954-1970
17,9x16x19,3 cm
Metal, acero, vidrio, goma, plástico
«GRIFFIN & GEORGE LTD» / «WILSON CLOUD CHAMBER» / «MADE IN GT. BRITAIN»

Este sencillo instrumento es un dispositivo diseñado por Charles T. R. Wilson (1869-1959) en 1910 para producir nubes en el laboratorio, destinadas al estudio de fenómenos ópticos y meteorológicos. No obstante, su principal aplicación a lo largo de este siglo ha sido hacer visibles las trayectorias de las partículas cargadas constituyentes del átomo, lo que supuso una interesante contribución para el conocimiento de la estructura interna de la materia. La cámara contiene aire sobresaturado de vapor de agua, de forma que al incidir en ella partículas nucleares (como rayos alfa o beta), éstas chocan con las partículas de aire allí contenidas, produciendo iones en los que se condensa el vapor de agua. La fila de pequeñas gotas que se forman por condensación representa la trayectoria de ionización de las partículas nucleares que además son susceptibles de ser fotografiadas.

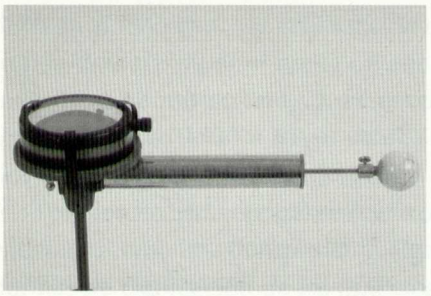


Fig. 204

147. CÁMARA DE NIEBLA

Nº inv.: 95/31/526
1930-1960
33,5x12,5x26,7 cm
Metal, acero, goma, plástico, madera

Este otro modelo de cámara de niebla lleva incorporada una bomba con émbolo que permite disminuir la presión en su interior. De este modo se consigue que el vapor contenido en la cámara se acerque al punto de rocío, pero sin poder formar gotas por falta de núcleos de condensación. Si en este momento inciden en la cámara partículas nucleares (como rayos alfa o beta), chocarán con las partículas de aire y darán origen a iones, que actuarán como núcleos de condensación

Fig. 204

visibles en forma de pequeñas gotas. Dichas gotas representan la trayectoria recorrida por las partículas nucleares. Una vez terminado este proceso se hace volver el émbolo a su posición inicial, las gotas se evaporan y se cargan los electrodos para repetir nuevamente la operación.

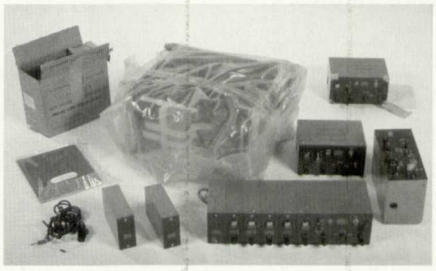


Fig. 205

148. INSTRUMENTAL DE DUPERIER

Nº inv.: 95/31/260
1956
54x30x50 cm
Metal, baquelita, plástico
«A product of the» / «INSTRUMENT DIVISION of» / «ERICSSON TELEPHONES LTD.» / «HIGH CHURCH STREET» / «NEW BASFORD» / «NOTTINGHAM» / «ENGLAND»

Este conjunto de instrumentos (1 amplificador, 4 unidades de control, 4 de potencia y 4 scaling decade), destinados al estudio de la radiación cósmica, fue enviado en 1957 por el *Imperial College of Science and Technology* (Londres) al científico español Arturo Duperier Vallesa (1896-1961), aunque, como se puede observar en la fotografía, nunca llegaron a utilizarse y, todavía hoy, se mantienen en su embalaje original, que hemos querido conservar por su valor histórico.

Duperier trabajó en dicha institución desde 1940, hasta su regreso a España en 1953, formando parte del equipo colaborador del premio Nobel Patrick Blackett, con quien empezó a trabajar en 1938 en la Universidad de Manchester. Allí llevó a cabo importantes investigaciones al respecto, destacando entre sus contribuciones, además del diseño de nuevos aparatos y métodos de cálculo y análisis, el estudio y explicación de la influencia del tiempo y las condiciones meteorológicas en las variaciones de intensidad de la radiación cósmica.

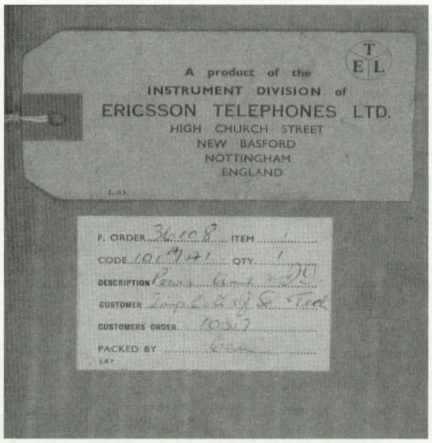


Fig. 206

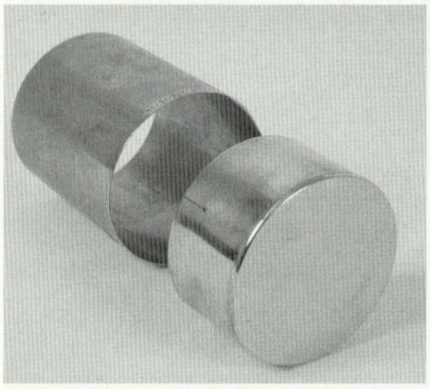


Fig. 207

149. CÁMARA PARA MEDIR LA PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN α

Nº inv.: 95/31/855
1940-1960
Dm. 7,5x8,5 cm
Metal
«L»

Este instrumento constituye un complemento de ampliación de una cámara de ionización, destinada a medir la penetración de la radiación alfa. La radiactividad consiste en la desintegración espontánea de los núcleos atómicos de ciertos elementos, que son inestables y tienden a buscar la estabilidad emitiendo una parte de las partículas de que constan. En el caso de la radioactividad alfa, que se da en elementos como el uranio, el núcleo expulsa una partícula alfa, compuesta de dos protones y dos neutrones, convirtiéndose en el núcleo de otro elemento. Uno de los métodos de detección de este tipo de partículas es la cámara de ionización, en la que se miden, mediante impulsos eléctricos o una corriente eléctrica instantánea, los efectos ionizantes de las partículas que la atraviesan; estas señales, a través de una gran resistencia, dan lugar a una diferencia de potencial que pasa al amplificador, el cual nos permite conocer dichos valores.

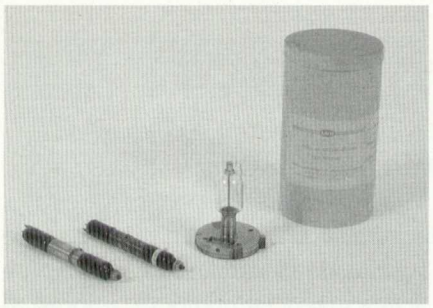


Fig. 208

150. TUBOS PARA CONTADOR GEIGER-MÜLLER

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/504; 95/31/505; 95/31/543
1940-1960
Dm. 1,6x13,2 cm; dm.1,6x13,2 cm; dm.9,3x17,1 cm
Vidrio, metal, cartón

El contador Geiger se utiliza para detectar partículas cargadas eléctricamente. Básicamente consiste en un tubo de vidrio con un cilindro en su interior, generalmente de cobre, a lo largo del cual hay un hilo metálico delgado que puede ser de volframio. El tubo normalmente contiene argón a baja presión. Para su funcionamiento se establece una diferencia de potencial entre el cilindro que actúa de electrodo negativo o cátodo y el hilo de volframio que es el electrodo positivo o áno-

do. La tensión ha de ser inferior a la necesaria para producir una descarga entre los electrodos. Cuando una partícula cargada y de alta velocidad atraviesa el tubo, ioniza las moléculas del gas en su interior: los electrones libres se dirigen hacia el ánodo atraídos por éste mientras que los iones positivos del gas son atraídos por el cátodo. Mediante un amplificador electrónico se puede hacer audible la señal eléctrica que llega al ánodo.

Hans Wilhelm Geiger (1882-1945) y Walther Müller desarrollaron en 1928 el «contador» que lleva su nombre y cuya forma básica o fundamental constituye dipositivos como los que nos ocupan. Con el contador Geiger-Müller y su producción en serie, se abren las puertas a la investigación de las partículas cargadas, convirtiéndose en su momento, en uno de los instrumentos más importantes para el conocimiento de la naturaleza del núcleo del átomo y las partículas que lo forman.

MAGNETISMO

UN MODELO DE CIENCIA EXPERIMENTAL: EL MAGNETISMO

Rosa Mª Martín Latorre

Las virtudes de la piedra imán eran ya conocidas desde la Antigüedad. En la cultura China y en concreto hacia el s. I encontramos las primeras referencias escritas sobre las propiedades magnéticas de la piedra imán. Por aquel entonces ejercía el poder la dinastía *Han* (202 a.C. - 220), período notable por sus innovaciones técnicas ya que la invención del papel o las primeras noticias sobre el hierro colado datan también de la misma época, siendo los adivinadores chinos los que primero utilizaron las propiedades magnéticas de la magnetita[1]. Hasta el s. XI no aparecerían los primeros textos con descripciones de otros usos y observaciones sobre fenómenos del magnetismo terrestre como la declinación. El empleo de la aguja magnética con fines de orientación en la navegación tiene lugar hacia las primeras décadas del s. XII, y su introducción en Europa por parte de los árabes no ocurriría hasta finales del mismo siglo.

Tradicionalmente, las propiedades asociadas al imán habían sido explicadas basándose en la existencia de "virtudes" ocultas en la materia, hasta prácticamente el s. XVII, exceptuando el trabajo de un autor del s. XIII, Pierre de Maricourt (fl. ca. 1269) cuyos esfuerzos, como veremos, merecieron el reconocimiento de Gilbert, científico del que ya hemos hablado en el capítulo dedicado a la electricidad. Fue la obra de este último la que se convirtió en el verdadero punto de partida en el conocimiento de la nueva ciencia del magnetismo.

Sobre las propiedades del imán en la Edad Media

Sobre las propiedades de la magnetita se puede afirmar que poco o nada se había estudiado hasta que Peter Peregrinus[2], también conocido como Pierre de Maricourt, miembro de la armada del rey de Sicilia en la que probablemente sirviera como ingeniero, realizara los primeros intentos de caracterización del fenómeno magnético mostrado por la piedra imán. Su *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, Militem, De Magnete*, escrita en 1269 durante su estancia en el ejército y dirigida a un soldado amigo, Sygerus de Foucaucourt, es el primer

[1] El imán natural o magnetita está formado por un óxido de hierro (Fe_3O_4) que constituye una importante mena del hierro, y se encuenta por tanto de manera muy extendida en la naturaleza. Es un material pesado, duro y de apareriencia negruzca.

[2] Sobre Peter Peregrinus y su *Epistola* del magnetismo véase, Grant, E., "Peter Peregrinus" en Gillispie, C. (ed), Dictionary of Scientific Biography, New York: Charles Scribner's Sons, 1981, vol. 10, pp. 532-540.

documento en el que se narran experiencias y ofrecen resultados acerca de lo que en el s. XVI se constituiría como la ciencia del magnetismo. En la carta hacía referencia a una esfera magnética por él construida y cuyas partes influían sobre piezas de hierro. Con su conjunto de experiencias y observaciones, determinó la existencia de los dos polos magnéticos, siendo el que primero acuñó el término "polo" para referirse a las terminaciones norte y sur del imán; comprobó que los polos de igual signo sufrían una repulsión y los de signo contrario se atraían, y que cada una de las partes de un imán fragmentado presentaba idénticas propiedades magnéticas que la pieza original. Además, descubrió que con una piedra imán era posible magnetizar o imanar un trozo de hierro.

Para explicar los fenómenos que en la experiencia había observado, Maricourt tomó de la astronomía una interpretación racional del magnetismo. Para ello, estableció en su esfera magnética dos polos y un eje que los une, al igual que los dos polos y el eje de la cúpula de estrellas fijas, dibujando con tiza los meridianos magnéticos[3], de forma similar a como se representan los meridianos en la esfera celeste, es decir, convergentes en los polos. Además, sobre el origen de la fuerza magnética, lejana su interpretación del punto de vista popular, según el cual la causa de la orientación del imán en la dirección norte-sur debía ser la concentración de minas de magnetita en las regiones del norte, Maricourt buscó en la esfera celeste la causa del magnetismo terrestre, siendo los polos del imán los que habrían de recibir la virtud magnética, es decir, su poder de atracción y repulsión, directamente de los polos celestes, y a que toda parte de la esfera imanada recibiría su poder de la correspondiente parte en la esfera celeste.

Este parecido entre la cúpula celeste y la piedra imán esférica le lleva al convencimiento de que la materia de la que está hecho el universo y la materia de la que está hecho el imán, operan de la misma forma y que por tanto comparten los mismos movimientos naturales. En virtud de esta identidad de naturalezas, la piedra debería adquirir un movimiento de rotación continuo a semejanza del movimiento de rotación de la propia cúpula celeste.

El magnetismo como fuente de movimiento perpetuo es la conclusión que se extrae de su *Epistola* y para demostrar la validez de la teoría sugiere la construcción de un imán esférico que, fijo por sus polos a sendos pivotes, dispondría de la capacidad de girar libremente en torno a un eje alineado con el eje de rotación de la cúpula celeste. La ausencia en la práctica de dicho movimiento, es debida, según Maricourt, no a una carencia de solidez en su teoría, sino a su escasa habilidad en la construcción del imán, que habría de ser una esfera perfecta; aislando de este modo los resultados experimentales insatisfactorios de sus concepciones teóricas.

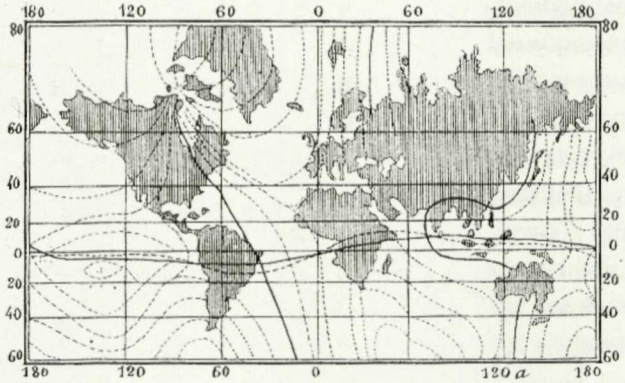
A pesar de ello, no cabe duda de que Maricourt llegó a identificar un conjunto de fenómenos magnéticos fundamentales, y así sería reconocido por Roger Bacon (c.1220-c. 1292), uno de los primeros científicos experimentales o el propio Gilbert, precursor de la filosofía experimental, ya en el s. XVI. Sin embargo, antes de que viera luz pública la obra de este último, en los algo más de tres siglos que habrían de transcurrir hasta ese momento, tienen lugar algunos nuevos descubrimientos cuyos protagonistas fundamentales serían marinos y navegantes, que precisaban de los compases de navegación para orientarse en sus viajes.

[3] Para dibujar los meridianos magnéticos del imán, es decir, las curvas que unen los dos polos magnéticos, situaba sobre la esfera una aguja de hierro y siguiendo la dirección por ella marcada, señalaba sobre la piedra una línea que la dividía en dos partes, repetía la operación una y otra vez, y comprobaba que todas las líneas dibujadas pasaban por dos puntos que constituían los polos del imán.

La declinación y la inclinación magnéticas

Tal es el caso de Cristóbal Colón, a quien suele atribuirse el descubrimiento en 1492 de la declinación magnética, que es el ángulo formado por la componente horizontal del campo magnético terrestre con la dirección del norte geográfico, es decir, el ángulo formado por los meridianos magnético y geográfico. También encontró su variación de un punto a otro en la superficie de la Tierra, mientras que la variación temporal (variación secular) sería descubierta por el inglés Henry Gellibrand (1597-1636) en 1634.

En los largos viajes de exploración, como el realizado por Colón, era preciso disponer de una gran piedra imán con la que cebar las agujas de los compases de navegación en el caso de que éstas perdieran sus propiedades magnéticas. La manufactura de este tipo de instrumental alcanzó un gran desarrollo durante los ss. XV y XVI y entre los fabricantes de mayor renombre encontramos a Robert Norman que en su obra *The New Attractive*, un tratado sobre la piedra imán y sus propiedades magnéticas publicado en 1581, sugiere que las agujas de compás sufren dos tipos de desviación; una respecto de la horizontal y otra con relación a la vertical, desviación ésta que dio a conocer como inclinación -ángulo formado por el campo magnético terrestre con su proyección horizontal- y que, por otra parte, ya había sido observada hacia 1544 por el también fabricante de instrumentos y matemático Georg Hartmann (1489-1564).



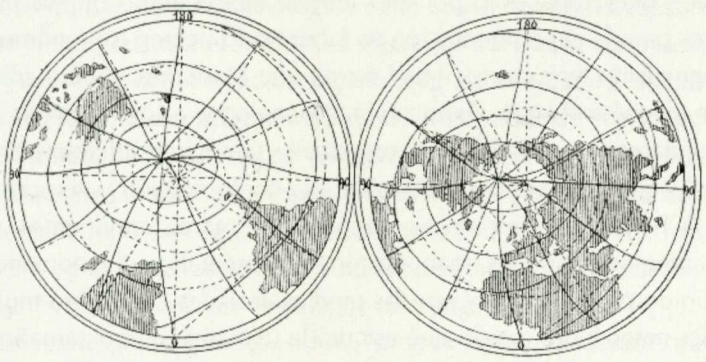


Fig. 209.- Mapa de la líneas isógonas o de igual declinación en la superficie de la Tierra
Arriba a la derecha
Fig. 210.- Proyección polar de los meridianos magnéticos

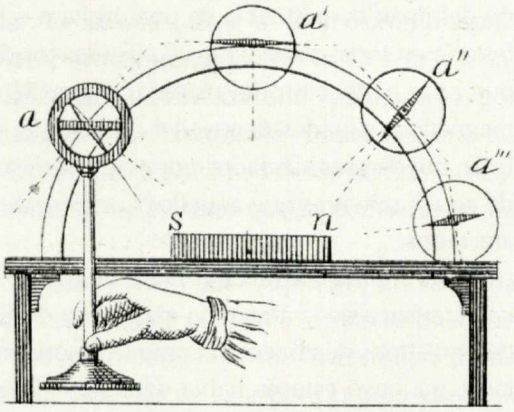


Fig. 211.- Variación de la posición de la aguja de una brújula de inclinación

Gilbert y las primeras teorías científicas del magnetismo

El primer estudio científico acerca del magnetismo fue el realizado por Gilbert, quien recoge en su obra *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; physiologia nova, plurimis & argumentis, & experimentis demonstrata*, publicada en 1600, un conjunto de brillantes experiencias y disertaciones teóricas acerca del fenómeno magnético.

Gilbert divide su tratado en seis libros, y dedica parte de los escritos iniciales a detallar la historia del magnetismo, desde las primeras leyendas sobre la piedra imán hasta las teorías de sus contemporáneos. Fue uno de los primeros en apreciar la obra de Maricourt, que toma como modelo, y considerar los instrumentos y métodos de observación y experimentación de Norman.

En el último capítulo del primer libro, Gilbert introduce su idea fundamental para la explicación del magnetismo terrestre: la Tierra es en su conjunto un enorme imán[4], encontrándose piedras imán en cualquier parte del planeta y no solamente en ciertas minas localizadas. En los cinco libros restantes, Gilbert teoriza sobre los cinco movimientos magnéticos: coito (atracción), dirección (orientación), variación (declinación), declinación (inclinación) y revolución (ese movimiento de rotación continuo defendido por Maricourt, y según el cual todos imanes esféricos perfectos debían adquirir por influencia directa de la cúpula celeste).

Para sus experiencias, tomó de Maricourt el diseño esférico de la piedra imán, que ahora resultaría ser una imagen de la Tierra y no de la esfera celeste como en aquél, denominándolo por ello *terrella* (tierrecilla). Con sus pequeños modelos, aptos para la experimentación en laboratorio, recreó los fenómenos conocidos del magnetismo terrestre; de igual forma que Maricourt, dibujó con tiza sus meridianos magnéticos, que ahora serán los análogos a los terrestres; utilizando piedras irregulares comprobó que los meridianos también resultaban ser curvas irregulares, por lo que atribuyó la declinación a la conformación y composición no uniforme de la Tierra, desigualmente constituida por mares, continentes, montañas o cavernas; demostró que los imanes esféricos presentaban el fenómeno de la inclinación definido por Norman, y que las piedras armadas con hierro multiplicaban sus virtudes magnéticas, por lo que estudió la relación entre el tamaño de la piedra y sus poderes atractivos, que resultaron ser proporcionales.

Una de las aportaciones más interesantes de Gilbert fue considerar en el entorno del imán la existencia de una órbita o esfera de virtud magnética que se manifestaría en todas direcciones y cuya extensión y acción dependería del tamaño, la pureza y perfección del material magnético. Las piezas de hierro o los cuerpos magnéticos situados dentro del espacio de influencia magnética generado por un imán pueden ser afectados por éste y al mismo tiempo afectar a la esfera de virtud de aquél, mientras que aquellos cuerpos situados fuera de esta región no se verían afectados.

Esta mutua interacción entre el cuerpo que atrae y el que es atraído es una característica de la atracción magnética de Gilbert que, por otra parte, se distingue de otros tipos de atracción como la de origen eléctrico, proveniente del ámbar frotado, y a cuyo estudio había dedicado el segundo capítulo del libro II, en el que

[4] Gilbert, W., *De Magnete*, trad. de P. Fleury Mottelay in 1893. New York: Dover Publications, Inc., (primera publicación en 1958), pp. 64-71.

explicaría dicho fenómeno en función de un efluvio de partículas muy pequeñas que, provenientes de los cuerpos electrizados, en su retorno traían consigo partículas ligeras, como por ejemplo pequeños trozos de papel.

La parte final de su obra está dedicada al estudio de la revolución, que en el s. XIII, como hemos visto, había sido considerada como uno de los movimientos magnéticos. Utiliza las propiedades rotativas adquiridas por los imanes esféricos de Maricourt para extenderlas al movimiento de rotación diurno de la Tierra, explicando la ausencia del movimiento perpetuo en los imanes esféricos, no por la falta de perfección en la construcción de los mismos como postulaba Maricourt, sino por una compensación debida al peso.

Los ss. XVII y XVIII y la estandarización de la medida de la fuerza magnética en el XIX

En los ss. XVII y XVIII se suceden varios modelos interpretativos de los fenómenos magnéticos y aunque las analogías cosmológicas planteadas hasta entonces no han perdurado en la ciencia, la obra de Gilbert fue notablemente valorada a lo largo de los dos siglos. Así, entre los varios autores que recibieron la influencia de éste encontramos a Johann Kepler (1571-1630), o René Descartes (1596-1650), quienes reconocieron sus trabajos y los tomaron como punto de partida en sus respectivas discusiones e interpretaciones, ofreciendo una continuidad, más o menos afortunada, en la determinación fenomenológica de la nueva disciplina. Pero, sólo en el transcurso del último cuarto del s. XVIII, al igual que sucedería con los fenómenos eléctricos, tiene lugar la formulación de una ley fundamental del magnetismo, resultando ser finalmente una aplicación formal de los modelos newtonianos.

De las innovaciones introducidas por los autores citados con anterioridad, quizás el caso de Descartes merece una especial atención. Su modelo mecanicista, en el que se acepta la hipótesis de Gilbert de considerar la Tierra como un gran imán natural pero sin concebir cualidades o virtudes ocultas en la explicación de los fenómenos magnéticos, es todo un despliegue de imaginación.

El punto de vista cartesiano expuesto en los *Principes de la philosophie*, publicado en 1644, explica el magnetismo a partir de la existencia de unas partículas con determinadas características geométricas, forma acanalada o de tornillo, y de movimiento, giro levógiro o dextrógiro. Así, para explicar las atracciones o repulsiones entre dos imanes próximos o el propio magnetismo terrestre, Descartes considera que los cuerpos magnéticos se encuentran atravesados, de polo a polo, por poros con formas acanaladas o estriadas en los que solamente pueden penetrar las partículas antes mencionadas y además, tan sólo bajo la condición de que su sentido de giro coincida con la forma del poro, hecho éste que le convierte en un canal o conducto bien definido.

Así, las partículas que entran por un polo y salen por el opuesto, si a la salida del mismo encuentran otro poro (de otro cuerpo) de la misma forma, se provocará la atracción entre los dos cuerpos; si el poro tiene la forma inversa, habrá una repulsión entre los mismos. Si la partícula después de salir por un polo vuelve a

entrar por el opuesto del mismo cuerpo, describirá una trayectoria cerrada en torno a éste. Estas trayectorias representadas en los dibujos[5] del propio Descartes nos recuerdan a las que hoy conocemos como líneas de fuerza del campo magnético.

Difícilmente la ciencia habría de adoptar semejantes interpretaciones, si bien los imaginados supuestos cartesianos sí que sirvieron para que los científicos consideraran la posibilidad de idear mecanismos útiles para construir verdaderas teorías matemáticas.

Hacia mediados del s. XVIII se perfeccionarían las técnicas de fabricación de los imanes artificiales, y los esfuerzos por formular una ley general de la fuerza magnética, preocupación ésta que ya desde Gilbert estaba presente, se verían favorecidos por ello. Los primeros pasos en este sentido corresponden a Aepinus, cuyas investigaciones le llevan a concebir los primeros esbozos de una teoría matemática del magnetismo, contrapuesta a las ideas cartesianas, y según la cual todos los fenómenos magnéticos se explican como resultado de la acción de la fuerza ejercida por un "fluido magnético" que puede penetrar en todas las sustancias.

Pero los verdaderos resultados satisfactorios habrían de llegar con los trabajos de Coulomb, quien, a finales de siglo, utilizando imanes artificiales mejorados en su construcción y por lo tanto con los polos bien definidos, establecería la ley de interacción entre polos magnéticos, que resulta ser inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias, análoga pues a la formulada por Newton para las masas, y que haría extensible también al caso eléctrico. Para ello, se sirvió de su balanza de torsión, de la que ya hemos hablado en el apartado dedicado a la electricidad, y que como señalamos entonces había descrito en su memoria de 1777, ensayo que no haría público hasta 1780.

Los últimos trabajos de Coulomb relacionados con el estudio del magnetismo le llevan a formular una "teoría molecular del Magnetismo", en la que ofrecía las primeras interpretaciones de nuestra actuales conceptos de imanación o polarización magnética.

El calor, la electricidad o el magnetismo habían sido, hasta finales del s. XVIII, disciplinas de carácter fundamentalmente empírico. En el s. XIX, como consecuencia en buena parte de la mejora en los aparatos de medida, estas ramas de la física experimental habrían de sumarse a las que con anterioridad ya habían recibido tratamiento matemático.

Así ocurriría con el magnetismo, que hacia los años 1830, se beneficiaría de la aparición de un nuevo instrumento de medida: el magnetómetro, con el que era posible obtener el valor absoluto de la fuerza magnética terrestre y que se erigió como pieza fundamental en la estandarización de la medida de la fuerza magnética. De la balanza de Coulomb, ideada con el fin de encontrar leyes fundamentales, al aparato ideado por Gauss y W. E. Weber, el estudio del magnetismo terrestre habría de sufrir un cambio radical.

Gauss comenzó a realizar sus más importantes investigaciones sobre el tema hacia 1831, y en colaboración con W. E. Weber, una de las sociedades más fructíferas que ha dado la ciencia, comenzarían hacia 1834, en la Universidad de Göttingen, las primeras observaciones geomagnéticas, secundadas por una red cada vez mayor de observatorios participantes en el proyecto inicial de ambos

[5] Descartes, R., *Los principios de la filosofía*, Madrid: Alianza Editorial S.A., 1995, pp. 367, 371.

científicos, que no era otro que el de realizar un estudio sistemático y definitorio del magnetismo con los instrumentos apropiados para ello, y que englobara a investigadores de diferentes países buscando, por primera vez, una colaboración internacional. Para que esto fuera factible, Gauss propone crear un sistema de medidas absolutas para la electricidad y el magnetismo utilizando unidades como: masa, distancia o tiempo.

Uno de los primeros frutos del ambicioso proyecto liderado por los dos investigadores alemanes sería la edición de un periódico o revista especializada: *Resultate des Magnetischen Vereins,* donde recoger las descripciones de los métodos o procedimientos de trabajo e instrumental empleados, dándolos a conocer a todos aquellos científicos participantes y haciendo por tanto realidad, la tan ansiada cooperación internacional[6].

El segundo gran logro conduciría a una nueva teoría del magnetismo terrestre, la elaborada por Gauss y publicada en 1839 bajo el título *L'Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus,* donde formularía su teoría del potencial magnético, que puede ser expresado en todo punto de la superficie terrestre como una serie infinita de armónicos esféricos y que significó la entrada del magnetismo en el ámbito puramente matemático.

A diferencia de lo que hemos podido ver en capítulos anteriores, la variedad en el tipo de instrumental relacionado con el magnetismo no es tan notoria pues la propia naturaleza de la disciplina invita a ello. Por este motivo, encontraremos varios ejemplos de brújulas de inclinación, aparatos para la medida de la inclinación magnética, más correctamente, los llamados inclinómetros, que no obstante forman, en su conjunto, una buena representación de la evolución alcanzada en este tipo instrumental, pues veremos desde uno de los primeros o más sencillos modelos, hasta el más sofisticado círculo de inclinación de Barrow, cuyo uso durante el s. XIX fue muy extendido. También encontraremos un interesante aparato utilizado para hacer patente la existencia del campo magnético terrestre por medio de la ley de inducción de Faraday, así como un modelo de magnetómetro portátil.

A pesar del escaso número de aparatos utilizados para el estudio del magnetismo en un gabinete de física del XIX, se aprecian ciertas faltas importantes. Tal es el caso de los declinómetros, aparatos necesarios para la medida de la declinación magnética y cuya construcción se generalizó en el s. XVIII, la balanza de torsión y los aparatos que permitían varias utilidades, como los inclinómetros-declinómetros, o los magnetómetros-galvanómetros. Por contra cabe destacar la piedra imán del XVIII, cuya antigüedad contrasta con las del resto de las piezas de la colección, mayoritariamente ubicadas en el segundo medio del XIX.

6 Véase, Dörries, M., "La standardisation de la balance de torsion dans les projets européens sur le magnetisme terrestre" en Blondel, C. y Dörries, M. (eds.), *Restaging Coulomb. Usages, controverses et réplications autour de la balance de torsion,* Florencia: Leo S. Olschki, 1994, pp. 121-149.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

MAGNETISMO

Rosa Mª Martín Latorre

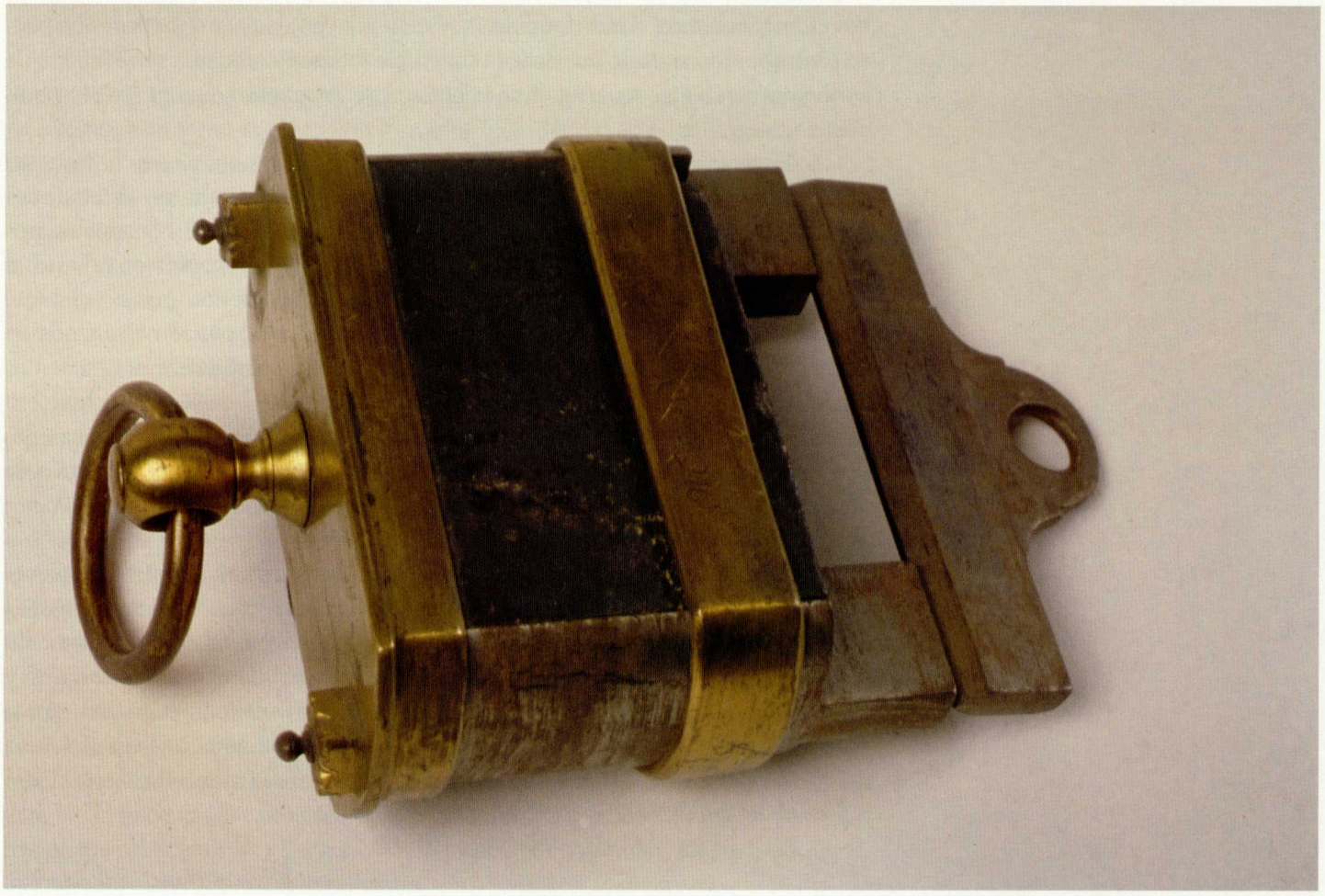


Fig. 212

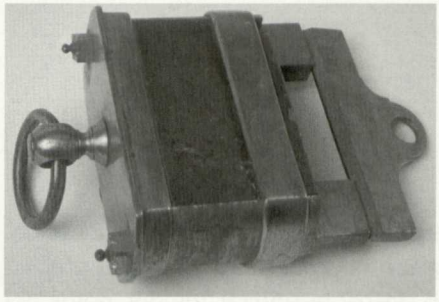


Fig. 212

151. PIEDRA IMÁN

Nº inv.: 95/31/205

1775

9,5x16,8x4,1 cm

Hierro, imán, latón

«Meurand à Paris» / «1775»...«La, Pierre, Peze, Nud, I. 3.onze 2.gros» / «Leve, II »

Esta pieza está formada por un imán natural debidamente armado con piezas de hierro dulce para aumentar su potencia. La armadura se ha fabricado con dos planchas de este material y sendos talones macizos que se disponen en cada uno de los polos del imán. De esta manera, en las planchas que sufren imanación por influencia, se generarán los dos polos magnéticos.

Fig. 213

Como consecuencia de la reacción de las armaduras sobre el imán natural, aumenta el poder magnético de este último.

El imán sin armadura resulta ser mucho más débil que uno armado, hecho éste que puede comprobarse colgando pesas de las armaduras.

La idea de armar los imanes naturales fue de Gilbert, quien comprobó que la piedra imán armada con hierro multiplicaba su poder magnético. Al estudiar la relación entre el tamaño de la piedra y su poder atractivo, comprobó que ambos factores resultaban ser proporcionales.

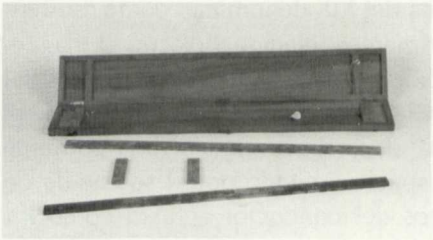


Fig. 214

152. CAJA DE IMANES RECTOS

Nº inv.: 95/31/206

1870-1890

62,8x10,4x3,2 cm

Madera, acero, hierro

«FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID» / «GABINETE DE FISICA»

Este tipo de imanes rectos podían ser utilizados con limaduras de hierro en diversos experimentos para mostrar las líneas de fuerzas que generan individualmente o en conjunto, demostrando con ello que la fuerza magnética se ejerce desigualmente a lo largo de la barra, siendo máxima en los polos.

Los imanes artificiales de acero adquieren su magnetismo por influencia de un imán natural, manteniendo las propiedades de imanación durante largo tiempo. Por contra, el hierro dulce, que se imana con facilidad, no conserva esta propiedad a no ser que se encuentre en presencia de otro imán u otra fuente de imanación cualquiera. Para favorecer el tiempo de duración de la imanación en los imanes artificiales se arman éstos con barras de hierro dulce. Para ello, se disponen paralelos en una caja con los polos situados al contrario y las pequeñas barras de hierro dulce en los extremos de los mismos. De esta forma se cierra el circuito magnético y se evita que las líneas de fuerza se pierdan.

Fig. 215

153. IMÁN MONTADO

Nº inv.: 95/31/204
1850-1870
28,3x19x56 cm
Madera, hierro, acero

Al conjunto de imanes dispuestos de esta forma se le llama haz magnético. En este caso los imanes se han construido en forma de herradura, siendo preferible esta configuración para experiencias con pesos, al utilizar los dos polos del imán. Cada una de las barras de acero templado que forman el imán son imanadas por separado y posteriormente sujetas con tornillos. La fuerza del haz nunca es igual a la suma de las fuerzas de cada barra y ello es debido a las fuerzas de repulsión que surgen entre polos de igual signo y que están próximos entre sí. Para conservar la potencia del imán se emplean las armaduras, formadas por piezas de hierro dulce, que al colocarse uniendo los polos del imán impiden que se pierda flujo en el aire, al mantener las líneas del campo magnético concentradas en el interior de la misma, y formar así un circuito cerrado que favorece la duración del imán.

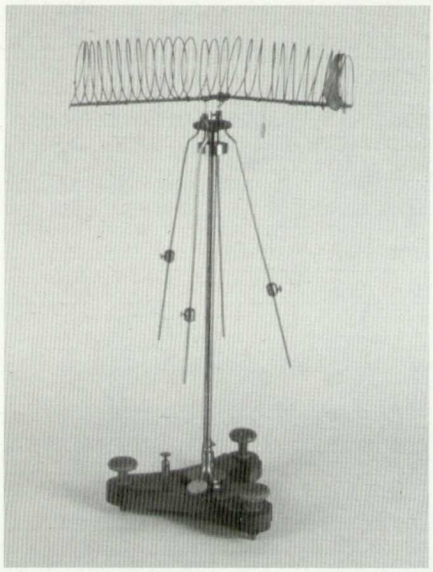


Fig. 216

154. SOPORTE PARA EL ESTUDIO DEL MAGNETISMO TERRESTRE

Nº inv.: 95/31/233
1880-1900
30,1x20x53 cm
Ebonita, latón, madera, metal
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Este aparato, que en los manuales de física del XIX denominan como "sustentáculo de Rive", se utiliza en diferentes experimentos relacionados con el magnetismo. Con este tipo de soportes es posible comprobar los efectos orientadores del magnetismo terrestre sobre las corrientes móviles. En este caso es un solenoide el que puede girar en un plano horizontal. Cuando se hace circular una corriente eléctrica a través del mismo aparece en el espacio limitado por el solenoide un campo magnético. Cada uno de los extremos del conductor actuará como los polos de un imán, y por consiguiente, el solenoide se orientará de manera que su norte magnético se dirige al Norte geográfico, ya que el norte magnético terrestre se encuentra en el Sur geográfico si bien no coinciden exactamente. Este mismo instrumento se puede utilizar para comprobar la atracción que dos corrientes paralelas de distinto sentido experimentan con tan sólo acercar un solenoide fijo al móvil del sustentáculo.

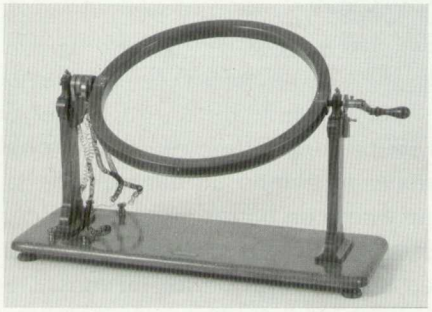


Fig. 217

155. APARATO PARA MOSTRAR EL MAGNETISMO TERRESTRE

Nº inv.: 95/31/676
1880-1910
68x24x51,5 cm
Madera, latón, metal, hierro, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Este aparato se utiliza para demostrar la existencia del magnetismo terrestre a partir de la ley de inducción electromagnética enunciada por Faraday. Efectivamente, al hacer girar el anillo por medio de la manivela, tiene lugar una variación del flujo del campo magnético terrestre a través de la superficie limitada por el conductor circular, y que tiene como consecuencia el origen de una corriente inducida en el mismo, que puede ser evidenciada, por ejempo, por medio de un galvanómetro.

Fig. 218

156. BRÚJULA DE INCLINACIÓN

Nº inv.: 95/31/207
1850-1870
26x16x36 cm
Madera, latón, metal, imán

La inclinación magnética es el ángulo que forma la dirección del campo magnético terrestre con su proyección horizontal en el punto considerado. Este cuadrante graduado, que incorpora una aguja imanada con posibilidad de giro en el plano vertical, es el más simple o menos sofisticado de los inclinómetros o aparatos destinados para la media de la inclinación magnética.

Para la toma de datos se precisa de un compás que nos indique la dirección del meridiano magnético donde se ha de situar la brújula de inclinación. En ese punto, la dirección marcada por la aguja del aparato es la dirección de la proyección horizontal del campo magnético terrestre, luego el ángulo que forma con la horizontal ha de ser la inclinación magnética buscada.

Lógicamente, a diferencia del círculo de inclinación de Henry Barrow (1790-1870) o la brújula de inclinación que se muestran a continuación, con este cuadrante no es posible obtener un elevado grado de precisión en la medida.

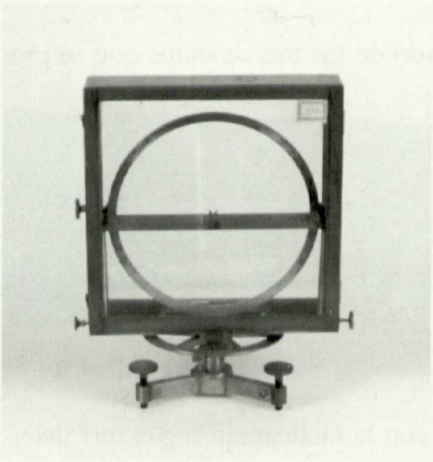


Fig. 219

157. BRÚJULA DE INCLINACIÓN

Nº inv.: 95/31/208
1870-1890
18,8x29x34,5 cm
Madera, latón, metal, vidrio
«DELEUIL» / «A PARIS»

Con esta brújula de inclinación es posible encontrar la inclinación magnética de varias formas. La más sencilla, como en el caso anterior, consiste en girar el aparato sobre el círculo horizontal hasta que el anillo graduado en el que se dispone la aguja se coloca en el meridiano magnético. La segunda consiste en encontrar el plano perpendicular al meridiano, que es el plano en el que la aguja forma el menor ángulo posible con respecto a la vertical. Si una vez encontrada esta posición se hace girar 90° el aparato, la aguja se sitúa en el meridiano, siendo por tanto el ángulo que marca con la horizontal la inclinación magnética.

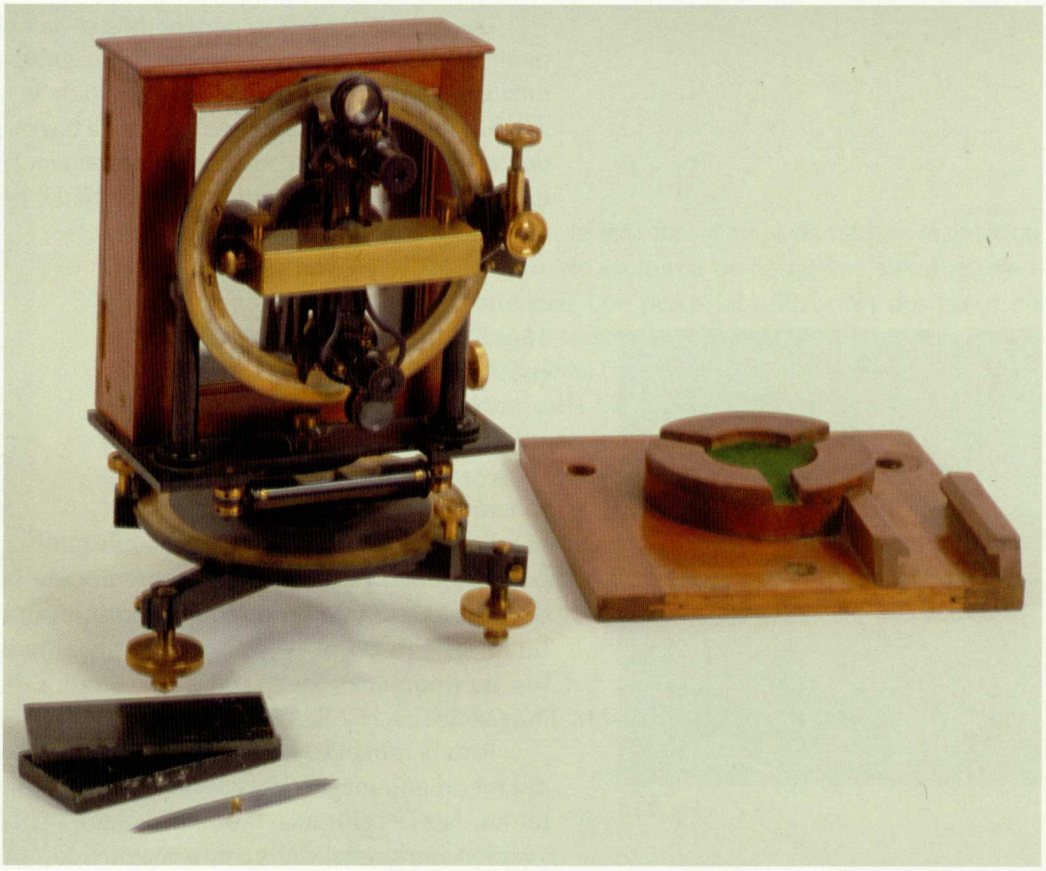


Fig. 220

158. CÍRCULO DE INCLINACIÓN

Nº inv.: 95/31/673
1870-1910
19,9x20,5x27,5 cm
Madera, latón, metal, vidrio
«DOVER» ; «CIRCLE Nº 179»

El círculo de Barrow es el más sofisticado de los tres aparatos que se presentan para la medida de la inclinación magnética y con el que es posible determinar dicho valor por medio de tres métodos diferentes. Dos de ellos, son los descritos en las brújulas de inclinación anteriores, mientras que el tercero, se corresponde con la medida más exacta, que es la ofrecida por la determinación de dos ángulos que forma la aguja con el horizonte en dos planos rectangulares cualesquiera. Dichos ángulos se relacionan con la inclinación según una determinada formulación.

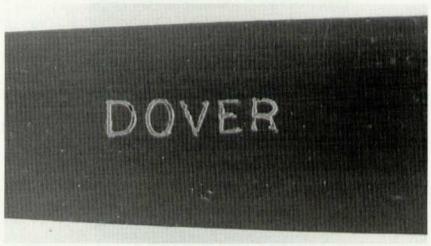


Fig. 221

Este aparato, como se ha señalado, fue diseñado por Barrow, fabricante de intrumentos de precisión inglés. Su inclinómetro, conocido como círculo de inclinación, fue uno de los más utilizados durante el s. XIX.

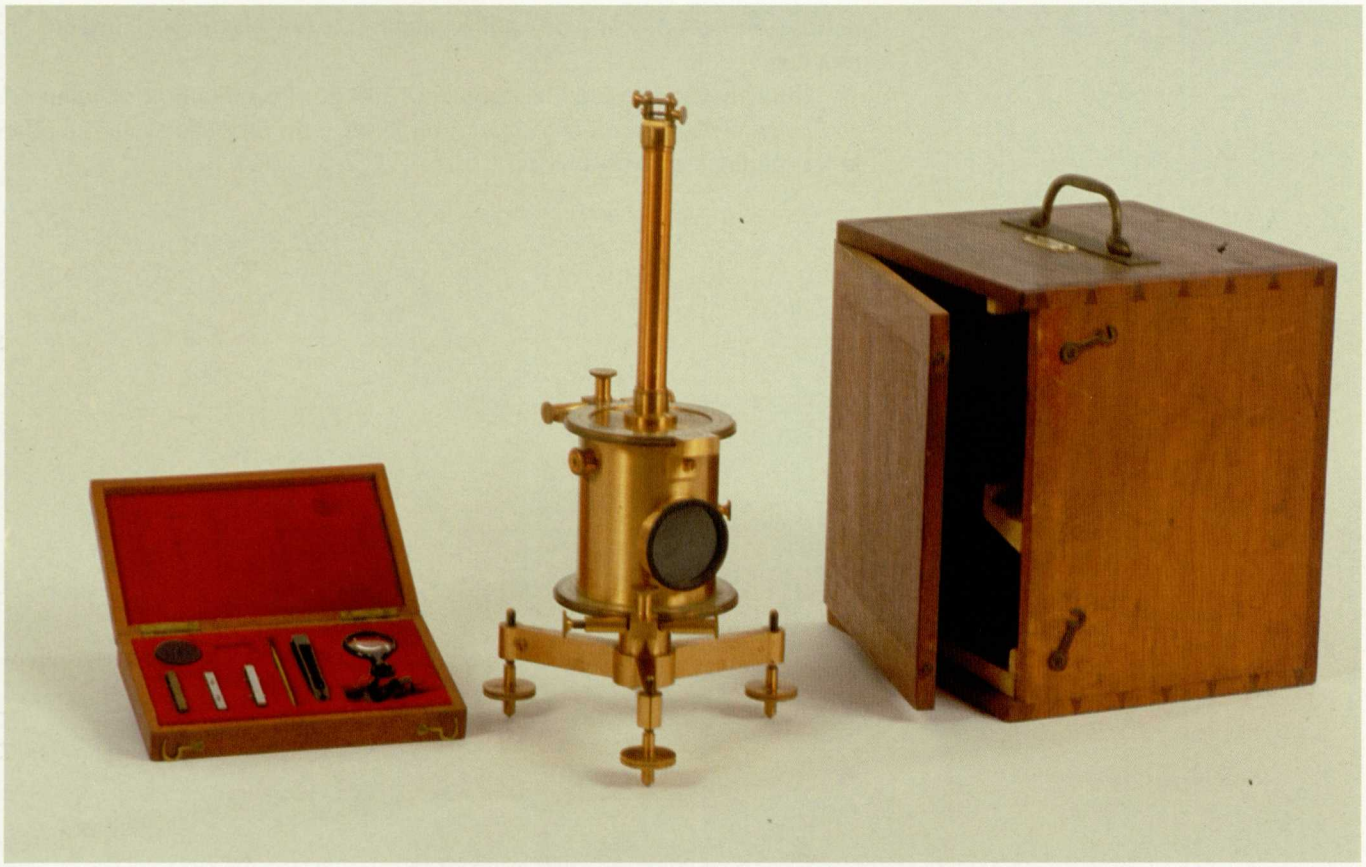


Fig. 222

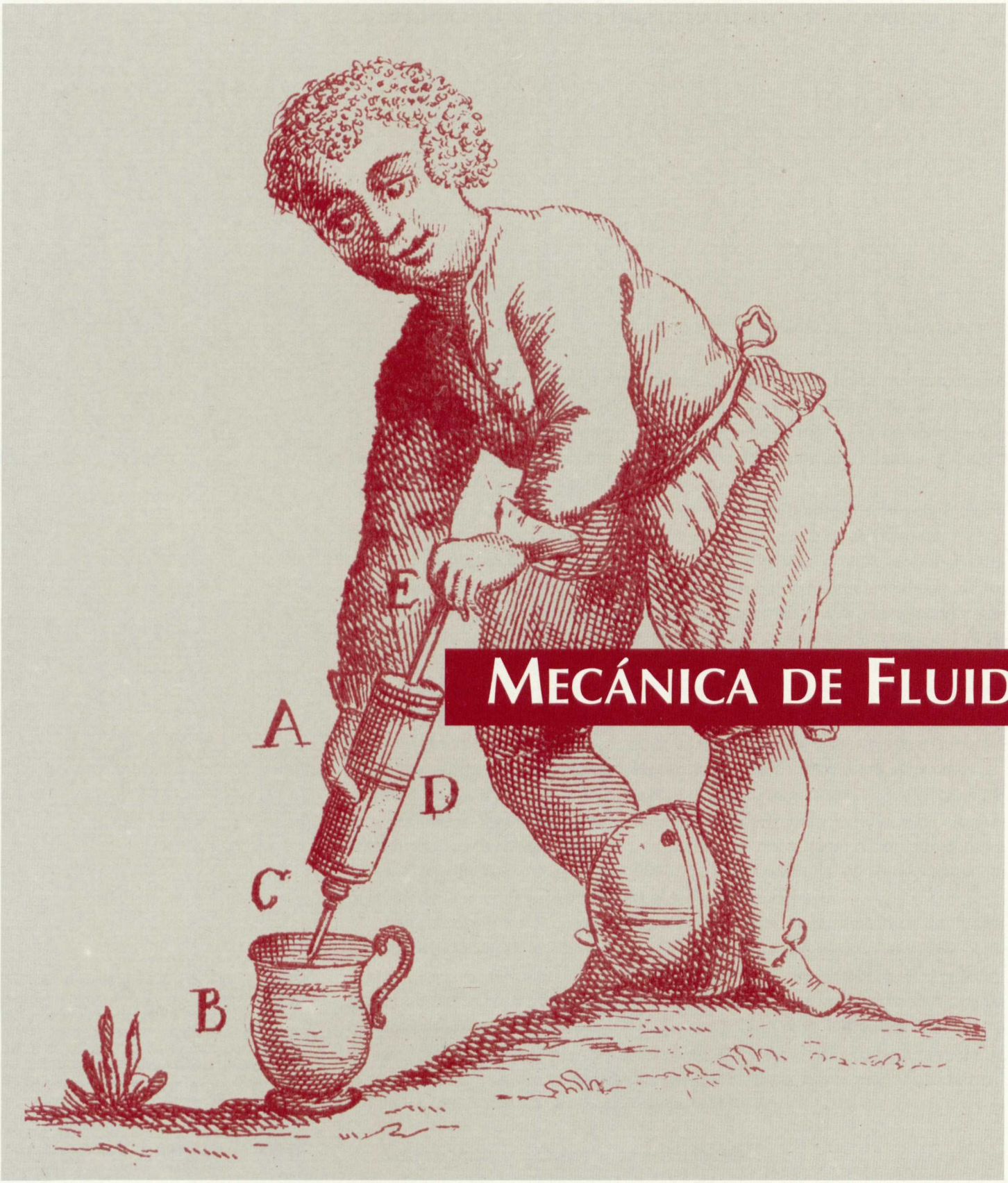
159. MAGNETÓMETRO BIFILAR

Nº inv.: 95/31/735
1900-1920
24x21,6x27,4 cm
Madera, metal, acero, latón, vidrio, ebonita
«J. Carpentier, Ing_r Cnst_r Paris» ; «8226-5»

Con los magnetómetros es posible medir el momento magnético de un imán, la intensidad del campo magnético terrestre y las pequeñas variaciones de esta intensidad. Con los declinómetros o magnetómetros unifilares podemos obtener una medida de la declinación absoluta, mientras que los magnetómetros bifilares nos ofrecen una medida de la componente horizontal de la variación en la intensidad magnética de la Tierra. Para realizar la observación en este modelo con suspensión bifilar, se procede de la siguiente manera; se cuelga una barra imanada de dos hilos iguales y fijos a idéntica distancia de su centro de gravedad. Cuando el plano de los hilos se encuentra en el meridiano magnético, la barra se encuentra en su posición de equilibrio. Una pequeña variación de la componente horizontal del campo magnético terrestre hace cambiar la posición del imán, cuyo ángulo de giro se puede medir con ayuda de las dos escalas circulares del aparato. Para poder comparar las observaciones entre sí, es necesario que la imanación de la barra no cambie y tener en cuenta la temperatura en el momento de la medida, para lo cual se utiliza un termómetro que se introduce en el interior del instrumento. Generalmente para obtener la declinación magnética, así como la

inclinación, se utilizan más habitualmente las brújulas especialmente diseñadas para ello.

El magnetómetro fue ideado hacia 1830 por los científicos alemanes Gauss y W. E. Weber. Su instrumento marcó un antes y un después en la estandarización de las medidas geomagnéticas.



Mecánica de Fluidos

LA MECÁNICA DE FLUIDOS Y LA MATEMATIZACIÓN DE LA MATERIA

Leonor González de la Lastra

Si consideramos que la mecánica es la parte de la física que estudia los fenómenos relacionados con el movimiento y el equilibrio de los cuerpos, podemos diferenciar dos disciplinas dentro de ella: la mecánica de sólidos, que veremos en el apartado siguiente, y la mecánica de fluidos, que engloba el estudio tanto de líquidos como de gases[1].

Dependiendo del siglo de que estemos hablando, tendremos diferentes términos para designar estos estudios y las diversas ramas que los componen.

En la Grecia antigua, el término pneumática se destinó exclusivamente al estudio del aire (*pneuma* significa aire en griego), aunque no conscientemente de los gases (la palabra "gas" no se empleó hasta mediados del s. XVIII), empleándose en el caso de los líquidos, el de hidrostática, para los aspectos más teóricos, y el de hidráulica, para las aplicaciones a la ingeniería. Esta última alcanzó un gran desarrollo, además de en la antigüedad, en los ss. XVII y XVIII, época en que más que como ciencia, estaba considerada como un arte aplicada. Hasta que se acuñó el término de hidrodinámica se empleó el de hidráulica en su lugar, sin que esta confusión terminológica implicase ni implique ahora ninguna relación de dependencia.

Hoy en día el término empleado es el que da nombre a este capítulo: la mecánica de fluidos, dentro de la que consideramos dos ramas: la fluidostática y fluidodinámica, aplicables a todo tipo de fluidos, es decir, tanto a líquidos como a gases. Otra rama aparte sería la hidráulica, que constituye el aprovechamiento práctico de la energía provocada por el movimiento del agua.

La relación entre el cuerpo teórico-experimental de la mecánica de fluidos y las aplicaciones, no meramente tecnológicas, de cuyo estudio se puede obtener un provecho teórico, podría situarse en el mismo ámbito en que se relacionan la hidrodinámica y la hidráulica, si entendemos la primera como inscrita en el mundo teórico y la segunda en el práctico. Si bien la hidráulica recorrió su propio camino, la mecánica de fluidos siempre se desarrolló como una parte de la mecánica, siendo quizá una de las disciplinas de la física que más se benefició de los intentos de matematización de la naturaleza llevada a cabo durante el s. XVII.

Veamos todos estos aspectos con más detalle.

[1] Como historias generales de esta disciplina pueden consultarse: Rouse, Hunter e Ince, Simon, *History of Hidraulics*, Nueva York: Dover, 1963 y Tokaty, G. A., *A History and Philosophy of Fluids Mechanics*, Nueva York: Dover, 1994 (1ª ed. 1971). También pueden verse algunos aspectos de su evolución, en especial en relación con la mecánica de sólidos, en las obras: Dugas, René, *Histoire de la Mecanique*, Neuchâtel: Editions du Griffon, 1950 y Truesdell, C. A., *Ensayos de historia de la mecánica*, Madrid: Tecnos, 1975 (1ª edición 1968).

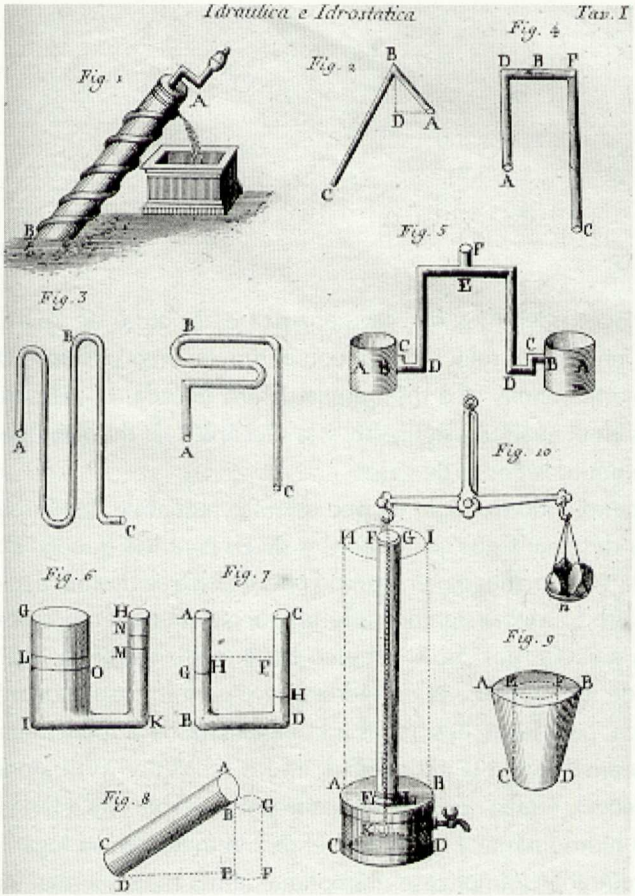


Fig. 223.- Hidráulica e hidrostática. Ilustración de un texto del s. XVIII

ENTRE LOS GRIEGOS Y LA MÁQUINA PNEUMÁTICA

Los orígenes de todas estas ramas de la mecánica de fluidos, sea cual sea su nombre, pueden remontarse sin duda a los estudios realizados por los griegos. El nombre más conocido es el de Arquímedes (287-212 a.C.) de Siracusa, Sicilia, quien estableció los principios matemáticos relativos al equilibrio de los cuerpos flotantes. Otro importante personaje fue Herón de Alejandría, quien escribió un importante tratado, *Pneumática*, en el que describe 78 instrumentos que utilizan agua para su funcionamiento, como sifones, fuentes bombas hidráulicas, etc.

La mayoría de estos modelos diseñados por los griegos han venido siendo utilizados desde entonces: hasta principios del s. XVIII destinados principalmente a la formación de ingenieros, y, a partir de esa época y fundamentalmente durante los ss. XVIII y XIX, con fines didácticos en la enseñanza de la física experimental y a veces para entretener en conferencias públicas.

Durante mucho tiempo se mantuvieron los principios establecidos en la Grecia antigua y también la conexión de esta ciencia con los oficios de tipo mecánico y artesanal. En el s. XVII, no obstante, esta disciplina cobrará especial relieve debido a los descubrimientos teóricos y a los nuevos instrumentos, que la convertirán en un buen ejemplo de las características de la nueva física experimental.

En 1586 se publica el primer tratado moderno dedicado al estudio de los fluidos. Es la obra de Simon Stevin (1548-1620) *De Beghinselen des Waterwichts*, en la que explica la denominada "paradoja hidrostática", según la cual la presión ejercida sobre el fondo de un recipiente depende de la altura de líquido situado encima. En 1612 Galileo publica un importante estudio dedicado a los cuerpos flotantes inspirado en la obra de Arquímedes.

A estos estudios relativos a líquidos se sumarán los dedicados al estudio del aire. Si bien la existencia del aire se había reconocido desde el s. V a. C. (de hecho era uno de los cuatro elementos que constituían toda la materia existente, junto con el fuego, la tierra y el agua), su verdadera naturaleza se ignoró hasta el s. XVII. En esta época, varias investigaciones llevaron al conocimiento del papel de la presión atmosférica para impedir la formación del vacío.

La controversia en torno a la posibilidad de la existencia o no del vacío es un problema que se ha venido planteando desde los griegos. La negación de la existencia del vacío establecida por Aristóteles fue transformada por los escolásticos medievales en la creencia de que el vacío era antinatural y que la naturaleza aborrecía al vacío (*horror vacui*). La persistencia de esta doctrina medieval en el Renacimiento dio lugar a un intenso debate cuando en 1638 Galileo observó que una bomba aspirante no podía elevar agua por encima de los 10 metros, lo cual se explicó diciendo que la naturaleza cede ante el peso de una columna de agua de 10 m. de altura. Los aspectos abordados por Galileo estaban más relacionados con una mayor preocupación por los aspectos filosóficos acerca de la existencia del vacío. Frente a ésta existía otra tradición, inspirada en Arquímedes, que abordaba cuestiones más matemáticas relacionadas con el estudio de la presión.

Esta segunda vertiente era seguida fundamentalmente por Evangelista Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662), quienes repitieron y mejoraron la experiencia de Galileo con otra orientación. Torricelli en 1664, con ayuda de Vincenzo Viviani (1622-1703) y empleando mercurio, que por su mayor densidad requería menor altura en el tubo, fue capaz de diseñar un barómetro efectivo. Pascal, empleando diversos líquidos, llegó a defender la posibilidad de obtener vacío experimentalmente. Además, llegó a formular una serie de principios fundamentales sobre el comportamiento de los líquidos, explicando la suspensión de los líquidos en los tubos y el funcionamiento de los sifones, según la hipótesis de que la atmósfera ejerce la misma presión que un fluido estático. Sus principios se ponen de manifiesto en los vasos comunicantes, prensas hidráulicas, etc.

El otro medio importante para obtener vacío en el s. XVII, y con más posibilidades experimentales, fue la bomba pneumática (bomba de vacío) diseñada por Otto von Guericke con el objeto de contrastar la afirmación cartesiana de que la materia es sólo extensión, de modo que al extraer el aire de un recipiente éste implosionaría. Efectivamente, los recipientes reventaban, de modo que fabricó dos

hemisferios de latón, conocidos como hemisferios de Magdeburgo, que, tras extraer de ellos el aire, soportaban una enorme fuerza de tracción. La máquina que ideó para este experimento se convertiría en manos de Hooke en un instrumento de laboratorio de enorme éxito, fundamental para el estudio del aire y la exploración experimental de la materia, si bien no era demasiado útil para experimentos precisos debido a su imperfección técnica (con ella se conseguía un vacío muy pobre debido a que presentaba pérdidas).

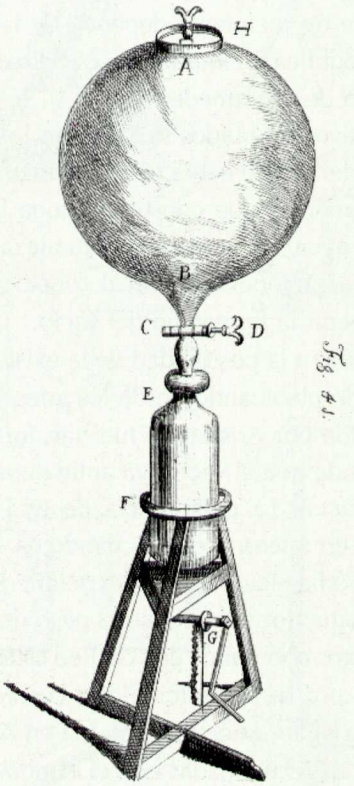


Fig. 224.- Bomba pneumática de Boyle

Volviendo a la hidrodinámica, veremos cómo en la segunda mitad del s. XVII y la primera del XVIII, se forjarán las hipótesis básicas necesarias para la matematización de la mecánica de los fluidos y la elaboración de sus fórmulas fundamentales[2]

El surgimiento de la mecánica racional y la matematización de los fluidos

Podemos considerar como punto de partida de este proceso de matematización la publicación en 1687 de la obra de Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica,* que es la primera que contempla la dinámica de los fluidos basándose en leyes de la naturaleza de carácter más general.

La visión más tradicional de la historia de la mecánica supone que desde la formulación de las ecuaciones de Newton hasta la de la teoría de la relatividad, todo el trabajo supuso únicamente organización y desarrollo. Sin embargo algunos autores reivindican el papel de la mecánica del s. XVIII.

[2] Estos aspectos son estudiados con detalle en la obra de Julián Simón, *La génesis de la mecánica de fluidos,* Madrid: UNED, 1996.

Uno de los científicos más destacado en esta época es Leonhard Euler, quien, unos 70 años después de la publicación de la obra de Newton consagra definitivamente el método iniciado por éste. Ambos trabajos constituyen el núcleo del origen de la mecánica de fluidos como disciplina y son trabajos que marcan un antes y un después. La diferencia entre ambos supuso no obstante un gran paso en el desarrollo de la mecánica de fluidos. Este tránsito significó el abandono de la hipótesis mecanicista del impacto sobre la que se construyeron los primeros modelos de interacción entre fluidos y sólidos.

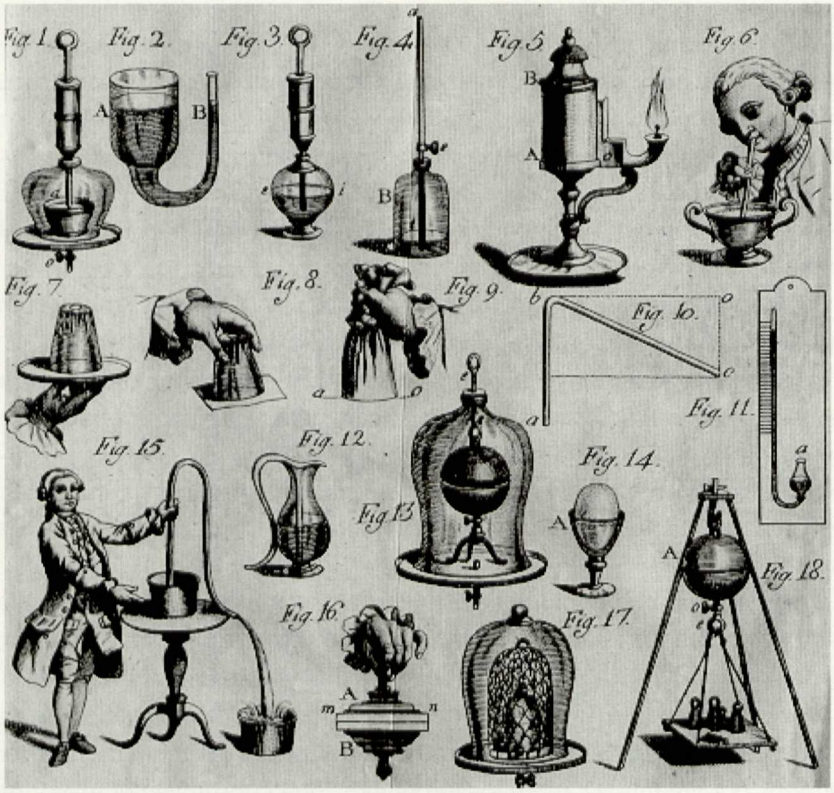


Fig. 225.- Ilustraciones de instrumentos de mecánica de fluidos en un texto del siglo XVIII

A partir de 1750 por tanto, podemos decir que ya existe un cuerpo teórico definido y los estudios experimentales suficientes como para que podamos hablar de una disciplina científica en el sentido moderno. Es precisamente el hecho de que su tratamiento matemático fuese dificultoso lo que hizo que en la segunda mitad del s. XVIII la mecánica de fluidos constituyera la vanguardia de la mecánica, siendo decisivo para su desarrollo el análisis diferencial.

En esa época, los matemáticos empezaron a contemplar la necesidad de un tratamiento especial de los medios continuos, pues en ellos los parámetros de posición son infinitos. Euler y Lagrange mostraron la posibilidad de sortear la dificultad prestando atención al sistema de referencia de los movimientos. Tomando como incógnitas magnitudes variables en función del tiempo y la posición, formularon las ecuaciones generales de la hidrodinámica. La introducción de este nuevo método de trabajo que exige desarrollos propios del análisis matemático planteará dificultades lógicas. Mientras que su organización racional se perfecciona, surgen discusiones en torno a sus principios.

A pesar de la paulatina matematización de esta disciplina, en el s. XVIII no se puede considerar que la mecánica racional estuviese divorciada del experimento, que de hecho jugó un importante papel en el desarrollo de esta disciplina; se hacían grandes esfuerzos para contrastar los resultados de los modelos matemáticos empíricamente, pero esto no era del todo posible debido a que era difícil elaborar modelos lo suficientemente complejos; la mecánica racional estaba en formación, y los modelos estaban basados en gran medida en la experiencia.

No obstante, en los gabinetes de los centros de enseñanza no se hace patente esta evolución de la disciplina. La divergencia entre el desarrollo teórico de la mecánica de fluidos y los instrumentos empleados para la enseñanza es cada vez mayor a medida que nos acercamos al s. XIX: los instrumentos sólo muestran una mínima parte de los contenidos, pues se siguen utilizando únicamente modelos mecánicos clásicos, basados en su mayoría en diseños de la antigüedad y los ss. XVII y XVIII, destinados a mostrar los principios básicos de la mecánica de fluidos, más dedicados a mostrar el movimiento de los fluidos en sí que a estudiar el movimiento de los cuerpos en el seno de un fluido.

Como vimos anteriormente, los teóricos del s. XVIII habían ignorado en general (principalmente porque no sabían cómo tratarla) la resistencia debida a las fuerzas intermoleculares, considerando sólo como fluidos perfectos a aquéllos que carecían de viscosidad. Este tipo de interacciones empezó a ser tenido en cuenta en el s. XIX a partir de los trabajos de Claude-Louis M. H. Navier (1785-1836), quien consideró la existencia de fuerzas a distancia entre las partículas del fluido, obteniendo por tanto ecuaciones más completas que las de Euler, aplicables a fluidos reales[3].

Además de la contribución de Navier al acercamiento a los fluidos reales, destaca la de Helmholtz relativa al movimiento turbulento que, con la publicación de su teoría en 1858, dio lugar al surgimiento de una nueva rama analítica de la hidrodinámica. No obstante, las dificultades matemáticas de la integración de ecuaciones en derivadas parciales harán precarios los progresos teóricos. Los teoremas expuestos por Helmholtz sobre los torbellinos, que constituyen el mayor progreso de la hidrodinámica desde Euler, Lagrange y Cauchy, no se aplican más que a fluidos perfectos. Las condiciones en los límites (por ejemplo en contacto con tabiques) son necesariamente objeto más de consideraciones experimentales que de análisis racional. Los intentos de solución teórica son notables sobre todo para el caso de los chorros líquidos, así como para el de los fenómenos de viscosidad y capilaridad.

Como veremos a continuación, pocos de estos aspectos mencionados se hacen patentes en alguno de los instrumentos presentados. La mayoría de ellos han sido diseñados con fines puramente didácticos, bien para mostrar principios básicos, como el de Pascal o la ley de Edme Mariotte (d. 1684), bien el funcionamiento de objetos que únicamente tienen utilidad práctica, como es el caso de los areómetros, o bien instrumentos de laboratorio, como la bomba de Louis Paul Cailletet (1832-1913). No obstante, es muy interesante destacar la presencia de esta disciplina en la enseñanza universitaria en el s. XIX, pues la mecánica de fluidos había venido siendo considerada durante los ss. XVII y XVIII una disciplina

[3] Para el siglo XIX véase Taton, René, *Historia General de las Ciencias. 3. La ciencia contemporánea. I. El siglo XIX*, Barcelona: Destino, 1973 (1ª ed. francesa 1961), segunda parte, cap. 1.

matemática, razón por la cual se impartía fundamentalmente en centros de enseñanza para militares y algunas escuelas de ingenieros. Como apreciamos en los programas de enseñanza de la Universidad Central, esta situación cambió en el s. XIX, época en la que se incluye en la Facultad de Ciencias una asignatura denominada mecánica racional.

MECÁNICA DE FLUIDOS

Leonor González de la Lastra

160. FRASCO DE MARIOTTE

Nº inv.: 95/31/361
1840-1870
Dm. 12,2x39 cm
Vidrio, lacre, latón, corcho

Fig. 226

Mediante este instrumento se puede obtener una salida constante del líquido contenido en su interior, así como observar los efectos de la presión atmosférica. Con este fin va provisto de un tubo de vidrio que hace que se transmita al líquido la presión atmosférica, de modo que cuando el frasco se halla lleno de agua y destapamos alguno de los orificios, éste sólo se vaciará hasta que el nivel en dicho tubo coincida con la altura del orificio, momento en que se iguala la presión interior y exterior, determinada únicamente por la altura del líquido en el tubo. Si se abre el orificio superior, situado por encima del nivel de agua en el tubo, entrará aire, pues la presión en el interior es menor. Si se abre el inferior, estando el extremo del tubo situado por encima de él, el nivel de agua en el tubo desciende completamente y, una vez llegado este punto, el agua comenzará a salir a velocidad constante, debido a que la velocidad es proporcional a la altura, y la diferencia de altura entre el extremo del tubo y el orificio es constante.

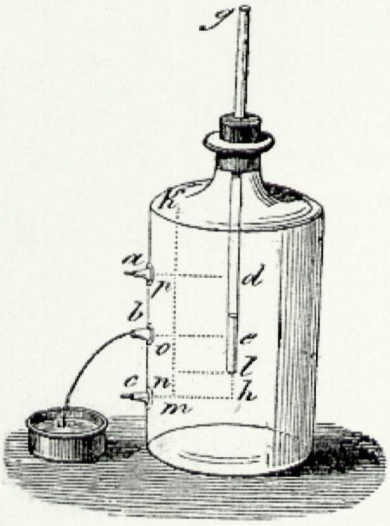


Fig. 227.- Frasco de Mariotte

Fig. 228

161. APARATO HIDRODINÁMICO DE NIVEL CONSTANTE

Nº inv.: 95/31/380
1860-1880
34,5x42,5x92 cm
Hojalata, vidrio, lacre
«S JUAN»

Este instrumento, diseñado por el profesor español Tomás Escriche y Mieg a finales del s. XIX, permite, mediante una salida constante del líquido, realizar experimentos con venas líquidas, observando su discontinuidad y la influencia en ellas de los sonidos, o comprobar experimentalmente varios principios de la hidrodinámica, como el de Torricelli, según el cual la altura alcanzada por el agua al salir por el grifo inferior coincide con la del nivel del depósito, y la velocidad de salida es proporcional a la raíz cuadrada de dicha altura.

Para comprobar estos principios, este aparato consta de dos depósitos comunicados por medio de un sifón que mantiene en ambos el mismo nivel de líquido: uno de ellos es fijo, el provisto de los grifos mediante los cuales se llevarán a cabo las experiencias, y por tanto el que precisará salida constante, y el otro depósito es flotante, elevándose paulatinamente a medida que se vacía el fijo, para permitir mantener un nivel constante.

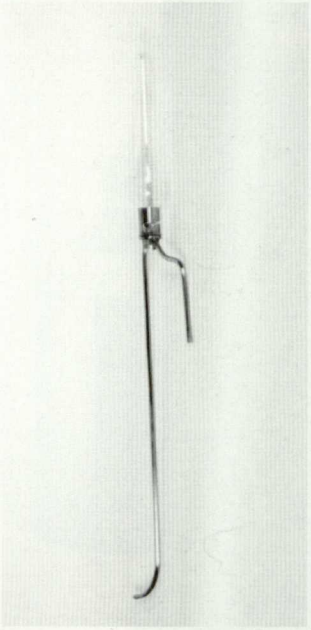


Fig. 229

162. FUENTE DE VACÍO

Nº inv.: 95/31/546
1850-1880
10,1x29,5x125 cm
Latón, vidrio, lacre

La fuente de vacío, que ya se empleaba con fines didácticos en el s. XVIII, permite mostrar los efectos de la presión atmosférica. Para ello se sitúa en la máquina pneumática y se hace el vacío en su interior, con la llave cerrada. Posteriormente se le adaptan los tubos y, si introducimos el más corto en un recipiente con agua, con el otro tapado inicialmente, observaremos que, por efecto de la presión atmosférica sobre el vacío interior, al abrir la llave el agua sale como un surtidor del orificio interior, pasando después por un agujero al exterior, a través del más largo. Este fenómeno tienen lugar debido a la diferencia de presiones entre el exterior (presión atmosférica) y el interior (vacío), y continuará hasta que se igualen las dos presiones, esto es, cuando el agua en el interior del globo haya alcanzado una altura tal que el aire situado encima se halle a la presión atmosférica.

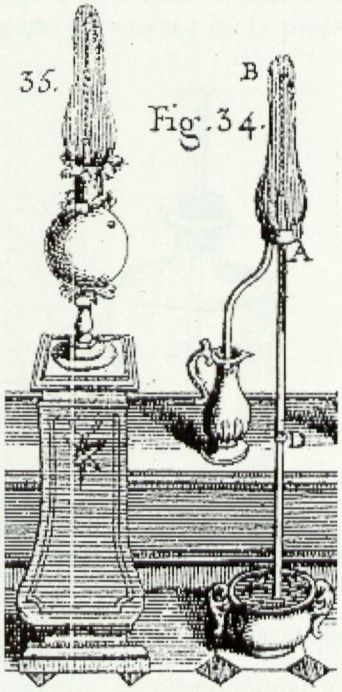


Fig. 230.- Fuente de vacío

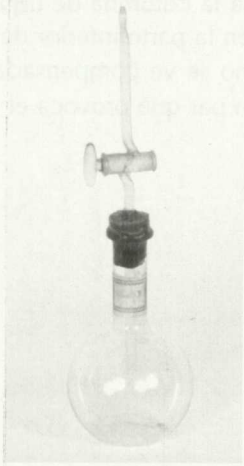


Fig. 231

163. FUENTE DE COMPRESIÓN

Nº inv.: 95/31/628
1900-1930
Dm. 7,7x27,1 cm
Vidrio, corcho, goma

Este instrumento también permite mostrar los efectos de la presión atmosférica de un modo similar al anterior, aunque empleando aire comprimido en vez de vacío. La experiencia se realiza llenando parcialmente el recipiente con agua y comprimiendo el aire que quede en su interior. Al abrir la llave se observará que el agua sale por el tubo interior como un surtidor. Este fenómeno tienen lugar debido a la diferencia de presiones entre el exterior (presión atmosférica) y el interior (mayor que la atmosférica), y continuará hasta que se igualen las dos presiones, esto es, cuando haya salido tanto agua como para que el interior del recipiente se halle a presión atmosférica.

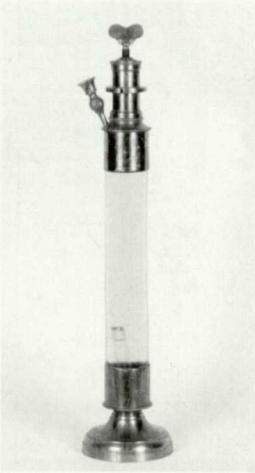


Fig. 232

164. LUDIÓN

Nº inv.: 95/31/355
1810-1840
Dm. 14,3x66,5 cm
Vidrio, latón, agua, corcho

Este instrumento didáctico, que ha visto diversas versiones desde el s. XVII, permite reproducir los efectos de suspensión, inmersión y flotación en un líquido. Al girar la llave provocamos un aumento de presión en el interior del aparato que se transmite de la membrana al agua, haciendo que ésta entre en el tubito de vidrio. El consiguiente aumento de peso hace que se hunda. Al disminuir de nuevo la presión saldrá del tubo el agua que entró y éste volverá a flotar.

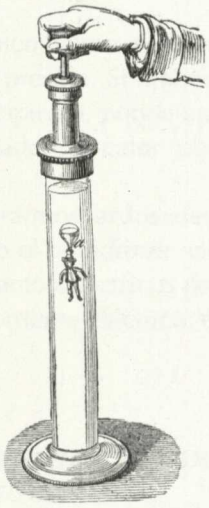


Fig. 233.- Ludión

Fig. 234

165. MOLINETE HIDRÁULICO

Nº inv.: 95/31/356
1840-1870
35x52,1x57 cm
Madera, latón, hojalata

Mediante este instrumento didáctico, ideado por Barker, se puede ilustrar el funcionamiento de la turbina, que aprovecha la potencia motriz del agua basándose en el principio de Pascal. Según este principio la presión ejercida por un líquido contra las

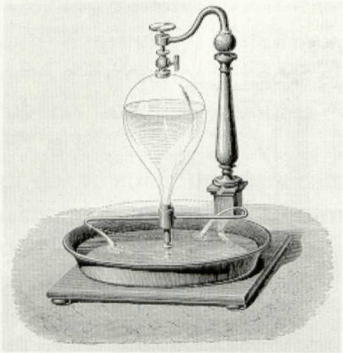


Fig. 235.- Molinete hidráulico

paredes laterales del recipiente es la debida a la columna de líquido que soporta en ese punto. Puesto que los tubos situados en la parte inferior del molinete están abiertos, la presión sobre la pared opuesta no se ve compensada y aparece una fuerza en cada tubo, constituyendo ambas un par que provoca el giro.

Fig. 236

166. BOMBA ASPIRANTE IMPELENTE

Nº inv.: 95/31/785
1860-1880
44x21,2x60,7 cm
Madera, latón, vidrio, acero, metal
«DELEUIL» / «A PARIS»

Las bombas aspirantes impelentes se emplean para elevar líquidos a gran altura, aprovechando el efecto de la presión atmosférica y controlando el paso del líquido mediante un sistema de válvulas. Para ello se llena el depósito metálico de agua y se acciona la palanca. Al subir el émbolo, el agua entra en el cilindro; al descender, la válvula que presenta en su base se cierra por efecto de la presión del agua, impidiendo que ésta salga de nuevo al exterior, por lo que pasa al segundo cilindro, también provisto de válvula. Al ascender el émbolo nuevamente entrará más agua, que se irá acumulando en el segundo cilindro, debido a que las válvulas le impiden volver hacia atrás. Por faltar el segundo cilindro no se sabe si el instrumento iría provisto de un tubo por el que saliera el agua, similar a los modelos empleados para extinguir incendios.

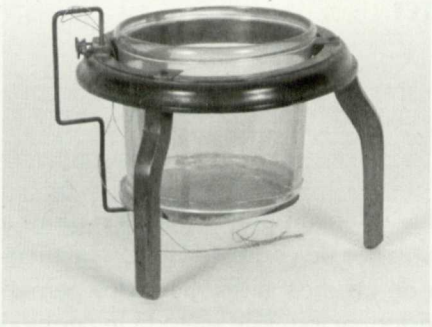


Fig. 237

167. CILINDRO DE VIDRIO CON SOPORTE Y MEMBRANA

Nº inv.: 95/31/556
1870-1890
23,2x20,5x18,5 cm
Madera, vidrio, metal, cuerda, papel

Aunque no se ha podido verificar, probablemente este instrumento se emplease para mostrar los efectos mecánicos de la presión. Si ambas bases estuviesen cubiertas con membranas y se calentase el recipiente, podría apreciarse el abombamiento de las membranas por el efecto dilatador del calor sobre el aire o el fluido contenido en su interior.

También podría tratarse de un aparato para mostrar los efectos sobre el mercurio de una corriente eléctrica, en cuyo caso el cilindro de vidrio debería estar cerrado en la base. En esta situación, los contactos eléctricos penetran en el mercurio y, cuando se hace pasar por ellos una corriente eléctrica, el nivel de mercurio se eleva.

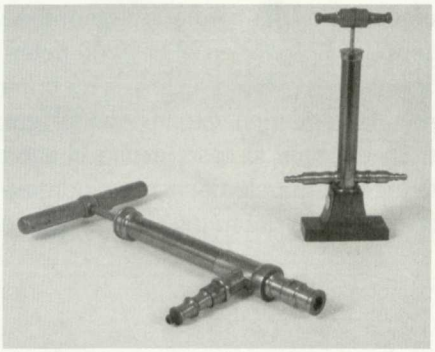


Fig. 238

168. BOMBA DE COMPRESIÓN Y BOMBA DE INYECCIÓN DE GASES

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/363; 95/31/364
1860-1880; 1870-1890
4,9x24,7x38,8 cm; 5,2x17,1x33 cm
Acero, latón, madera

Este tipo de instrumentos, destinados tanto a inyectar y comprimir el aire o los gases contenidos en un recipiente, como a extraerlos o hacer el vacío, se vienen usando desde el s. XVIII con escopetas de viento, fuentes de compresión, etc.

El cuerpo de bomba presenta en su interior dos válvulas, una para cada boca, que se abren en sentido opuesto, de modo que cuando asciende el émbolo se abre la válvula de absorción del gas y cuando desciende se abre la de expulsión. Dependiendo de la disposición de los tubos tomará aire del exterior o el gas de un recipiente, transportándolos a donde sea preciso.

Fig. 239

169. BOMBA DE COMPRESIÓN

Nº inv.: 95/31/619
1870-1890
13x28,5x58 cm
Latón, goma, madera, metal

Este otro modelo de bomba también sirve para extraer o inyectar fluidos. Consta de un émbolo que aspira el fluido al ser elevado y lo expulsa al ser descendido. En la base presenta una rosca para adaptarlo al recipiente en que se desee extraer o inyectar el fluido. A ambos lados de la rosca hay sendas válvulas que permiten que haya absorción o expulsión según el movimiento del émbolo sea ascendente o descendente. Además lleva un tubo de goma en la parte superior que puede servir igualmente para transvasar fluidos de forma orientada.

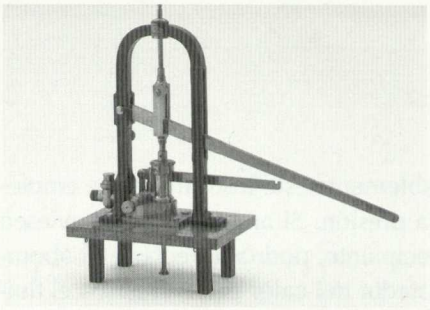


Fig. 240

170. BOMBA DE COMPRESIÓN DE CAILLETET

Nº inv.: 95/31/786
1850-1870
65x22,4x56,8 cm
Madera, latón, acero, metal

Este modelo de bomba de compresión fue diseñado por Cailletet en torno a 1878 con el objeto de conseguir, mediante procesos de compresión y enfriamiento, la presión necesaria para la licuefacción de algunos gases, llamados permanentes por la dificultad que oponían a tal transformación. Este método le permitió obtener temperaturas más bajas que las conseguidas hasta entonces y, para determinados gases, si no la licuefacción, al menos la aparición de nieblas en su seno.

Trabaja con el tubo inferior sumergido en agua, actuando de bomba aspirante impelente accesoria, por lo cual puede aplicarse, además de a un aparato para licuar gases, a una bomba hidráulica, proporcionando a ambos la presión que precisan. En el primer caso, proporciona el agua necesaria para comprimir el mercurio depositado en una probeta, en la que también se halla el gas que deseamos licuar. Tras alcanzar una presión lo suficientemente elevada mediante el bombeo sucesivo de agua, se empezará a formar un depósito líquido; en el caso de determinados gases, esta elevada presión no es suficiente y es preciso recurrir a un brusco enfriamiento, que se consigue provocando la repentina expansión del gas mediante la apertura de la válvula adecuada. En el segundo caso, aspira el agua del depósito en el que se sumerge el tubo inferior, y la impele hacia el cilindro en que se halla el émbolo de mayor tamaño, sobre el que se sitúan los objetos que se quieren prensar.

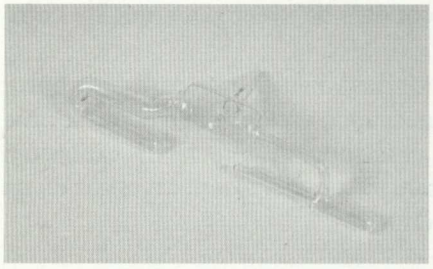


Fig. 241

171. VACUOSCOPIO

Nº inv.: 95/31/789
1910-1940
9x5,8x21,7 cm
Vidrio
«Leybold»

El vacuoscopio es un instrumento que se emplea para medir el grado de vacío conseguido en una bomba cuando éste es muy elevado y, en concreto, para presiones que oscilan entre los 35 y los 0,01 mm de Hg. Se compone de un recipiente, que alojará de 10 a 15 cm^3 de mercurio, de un barómetro reducido (graduado de 0 a 50), y de un manómetro de compresión (graduado de 0,01 a 35). Una vez adaptado a la bomba de vacío funcionará como uno o como otro dependiendo de la posición en que se sitúe, que puede variarse con un giro de 180º. Si lo situamos como barómetro reducido medirá presiones comprendidas entre 50 y 2 mm. de Hg. Como manómetro de compresión medirá de 4 a 0,01 mm. de Hg. El principio que explica este funcionamiento es muy similar al empleado en el tubo de Mariotte: cuando el mercurio ocupa una de las ramas está comprimiendo los gases en ella contenidos con la presión del aire o el gas existente en el tubo, que aparecerá indicada en la escala previamente graduada.

172. BAROSCOPIO

Nº inv.: 95/31/358
1830-1850
10x20x20 cm
Latón, papel, acero

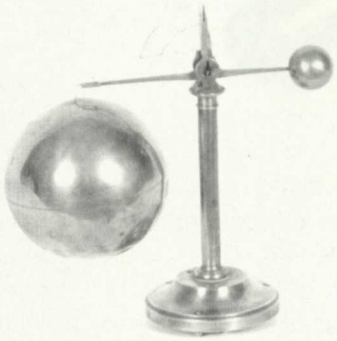


Fig. 242

Este instrumento se viene empleando desde el s. XVIII para comprobar experimentalmente el principio de Arquímedes aplicado a los gases. Si, una vez equilibrada la balanza, se introduce en la campana de una máquina pneumática y se hace el vacío, se observará que se inclina hacia la esfera mayor, ascendiendo la menor. Esto es debido a que en el vacío no existe el empuje del aire que permite compensar el peso de la esfera mayor.

173. HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO

Nº inv.: 95/31/360
1880-1900
Dm. 9,2x8,5 cm
Latón

Fig. 243

La experiencia para la que Otto von Guericke diseñó estos hemisferios en 1654, que aparece descrita tres años después por Gaspar Schott (1608-1666) en su libro *Mechanica Hydraulico-Pneumatica*, representó un experimento crucial para mostrar la existencia del vacío mediante la acción de la presión del aire. La experiencia consiste en unir los hemisferios y extraer el aire, cerrando a continuación la llave. Quedarán tan fuertemente unidos que será necesaria una enorme fuerza para separarlos. En aquella ocasión, siendo los hemisferios de gran tamaño, se emplearon varios caballos como medio de tracción.

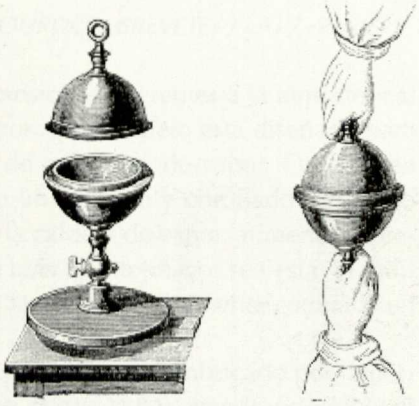


Fig. 244.- Hemisferios de Magdeburgo

Fig. 243

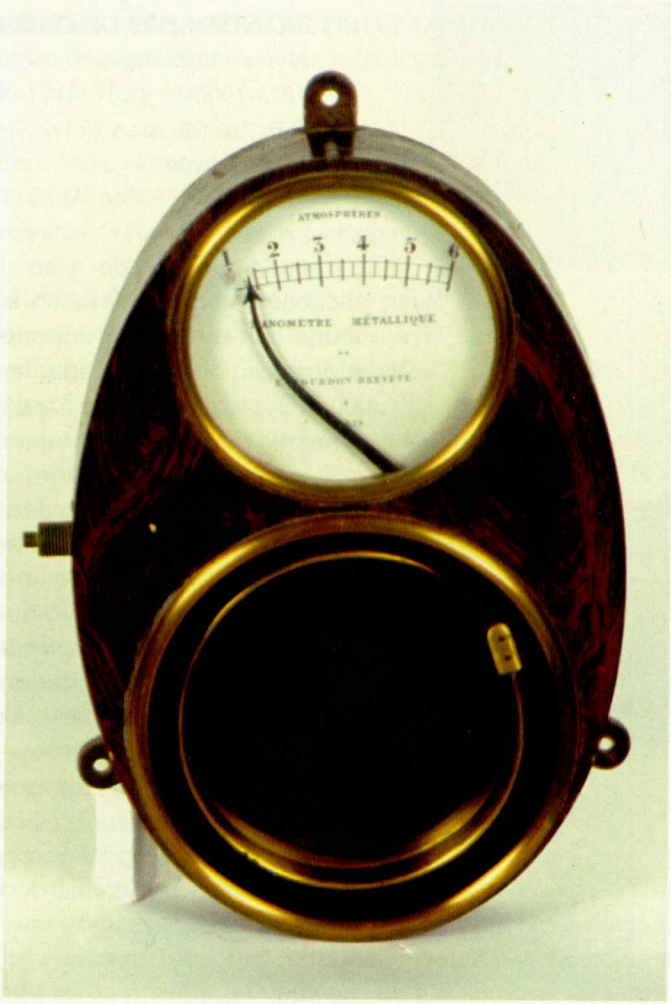


Fig. 245

174. MANÓMETRO METÁLICO DE BOURDON

Nº inv.: 95/31/382
1850-1870
6,9x24,8x35,3 cm
Hierro, vidrio, latón, porcelana
«MANOMETRE METALLIQUE» / «DE» / «E. BOURDON BREVETE» / «A» / «PARIS»

Los manómetros se emplean para medir presiones diferentes a la atmosférica, caso en el que reciben el nombre de barómetros. Este modelo está diseñado para medir presiones elevadas, principalmente las de máquinas de vapor. Consiste en un tubo plano y elástico de metal, cerrado en un extremo y enrollado formando una espira. Al conectar el extremo abierto con la caldera de vapor, aumenta la presión en su interior y el tubo se desarrolla tanto más cuanto mayor sea ésta. El indicador unido al extremo libre se desplazará por la escala, previamente graduada en atmósferas, señalando la presión.

Este modelo es especialmente interesante por haber sido fabricado por la persona que lo inventó en 1849: Eugène Bourdon (1808-1884), siendo este ingenio motivo de protesta por parte de Lucien Vidie (1805-1866), quien le acusó de infringir con el barómetro metálico la patente de su barómetro aneroide, de 1845.

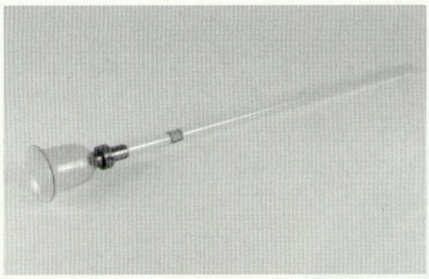


Fig. 246

175. MANÓMETRO DE CUBETA PROFUNDA

Nº inv.: 95/31/468
1875-1900
Dm. 7x69,5 cm
Vidrio y latón

La finalidad de este instrumento didáctico, al que le falta un largo tubo de vidrio con escala y un soporte, es la comprobación de la llamada ley de Boyle-Mariotte (cuyo nombre, todo sea dicho, ignora la importante contribución de Hooke) para presiones inferiores a la atmosférica. Para ello se llenan de mercurio las dos terceras partes del tubo de vidrio graduado (que falta) dejando aire en el resto. Si lo invertimos y lo introducimos en la cubeta llena de mercurio hasta que coincidan los niveles, y posteriormente sacamos el tubo hasta que el volumen de aire que contiene en la parte superior se haya duplicado, observaremos que la presión ejercida por el mercurio es la mitad de la presión atmosférica, tal y como establece Boyle en «su» ley acerca de la compresibilidad de los gases.

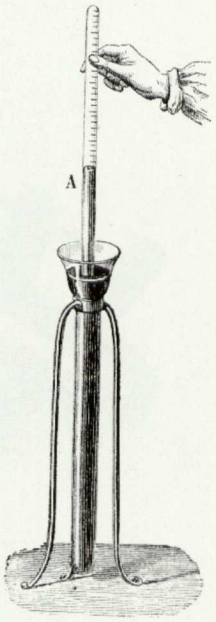


Fig. 247.- Manómetro de cubeta profunda

176. MANÓMETRO DE REGNAULT

Nº inv.: 95/31/555
1880-1900
36x40,7x125,5 cm
Madera, latón, vidrio, mercurio, acero

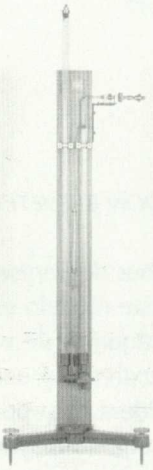


Fig. 248

Este instrumento es un manómetro de aire libre, modificado por Regnault con el objeto de conseguir gran precisión, aunque sólo para pequeñas presiones, superiores o inferiores a la atmosférica. Consta de dos tubos paralelos de igual diámetro unidos en su parte inferior, donde una llave permite la salida del mercurio contenido en su interior. El tubo izquierdo está en contacto con la atmósfera, y el derecho con el gas cuya presión quiere determinarse. Dicha presión viene dada por la diferencia de nivel entre las columnas de mercurio en ambas ramas, que se determina mediante un catetómetro. El termómetro permite hacer las correcciones adecuadas dependiendo de la temperatura.

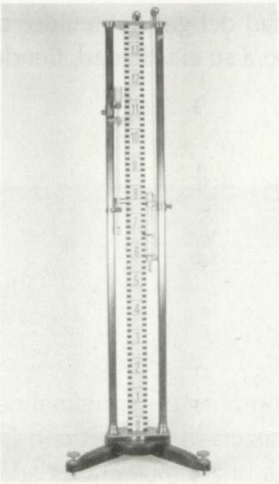


Fig. 249

177. APARATOS PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE

En orden de presentación, nº inv.: 95/31/557; 95/31/381
1890-1910; 1825-1845
41x47,5x158,1 cm; 15,4x27x125,5 cm
Madera, latón, vidrio, metal
«TALLER DE MECANICA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID» (95/31/557)
«Lerebours» / «Rue du Pont Neuf à Paris» (95/31/381)

Estos dos instrumentos didácticos, permiten comparar densidades de líquidos, así como comprobar el principio de Mariotte, según el cual, a temperatura constante, la presión de un gas varía inversamente con su volumen y directamente con su densidad. En el segundo de ellos, el más antiguo, la experiencia se realiza depositando dos líquidos diferentes en los recipientes en que se sumergen los tubos llenos de aire. Al hacer ascender el émbolo se observa que los líquidos se elevan por su correspondiente tubo hasta equilibrar la presión externa (atmosférica) con la interna, a una altura inversamente proporcional a sus densidades.

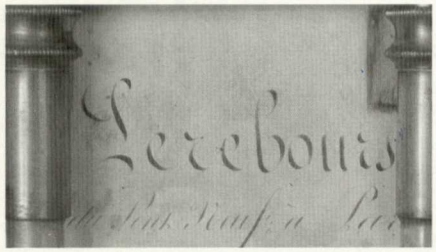


Fig. 251

En el primer caso se procede vertiendo mercurio en los tubos, estando éstos unidos por una goma, hasta alcanzar en ambos el mismo nivel. Si cerrada la llave se eleva el otro tubo una altura equivalente a la columna barométrica, duplicando así la presión, el volumen de gas se observará que se ha reducido a la mitad.

Fig. 250

178. ESLABÓN PNEUMÁTICO

Nº inv.: 95/31/362
1850-1870
Dm. 4,2x36 cm
Madera, latón, vidrio, acero, corcho

Fig. 252

Este instrumento constituye una aplicación de la compresión repentina del aire, permitiendo comprobar tanto la compresibilidad de los gases como su elasticidad. El efecto en que se basa fue descubierto accidentalmente en 1802 por un armero francés cuando observó que una pieza de lino atascada en el cañón de una escopeta ardía, y fue comunicado a la Academia de Lion por Joseph Mollet, profesor en la escuela Central de Lion. Este modelo en concreto se corresponde con el diseño patentado por Dumotiez en 1805, que fue el primero en comercializar este instrumento. Cuando accionamos el émbolo el aire contenido en el tubo de vidrio se comprime tan rápido que se calienta hasta hacer arder la substancia inflamable que se halle situada en el pistón.

También nos permite mostrar la elasticidad del gas contenido: cuando soltamos el émbolo cesa la presión y el gas, debido a su elasticidad, tiende a recuperar su volumen, desplazando el émbolo.

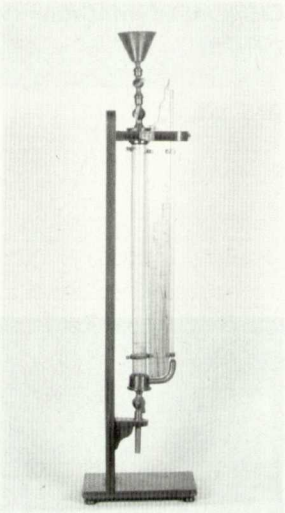


Fig. 253

179. APARATO DE GAY-LUSSAC Y THÉNARD

Nº inv.: 95/31/359
1850-1870
27,3x20,6x111,7 cm
Madera, vidrio, latón, metal

Gracias a este instrumento podemos comprobar experimentalmente las leyes de John Dalton (1766-1844) relativas a la mezclas los gases con los vapores, a saber, que la presión y cantidad de un vapor a una temperatura dada son las mismas en el vacío y en el seno de un gas, y que la fuerza elástica total es la debida a la suma de la del gas y la del vapor.

Llenos ambos tubos de vidrio con mercurio al mismo nivel, se cierran los grifos y se atornilla el globo lleno de aire seco. Abriendo las 3 llaves sale parte del mercurio, que es reemplazado por el aire del globo, el cual adquiere una presión menor que la atmosférica. Ésta se restablece echando mercurio en el tubo fino, hasta igualar los niveles, anotando este valor. Se sustituye el globo por un embudo lleno de líquido y, cayendo éste gota a gota, se vaporiza lentamente, al tiempo que baja el nivel del tubo graduado y sube el otro. Cuando la diferencia de niveles se mantiene constante, indicio de que el aire del tubo está saturado, se echa mercurio en el fino hasta alcanzar en el grueso el mismo nivel que antes de vaporizar el líquido. La diferencia de alturas en las dos ramas es igual a la presión del vapor que se ha formado, valor que corresponde con el obtenido en el vacío, con lo que se comprueba la primera ley.

La segunda ley queda también demostrada por el equilibrio que existe entre las presiones externa e interna en el aparato.

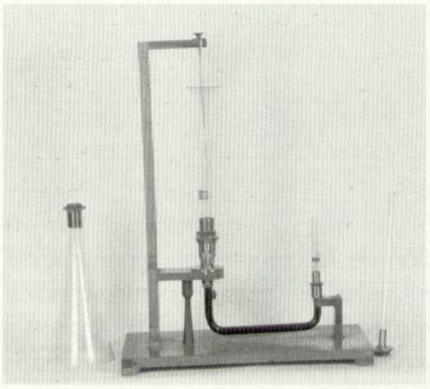


Fig. 254

180. APARATO DE HALDAT

Nº inv.: 95/31/357
1860-1880
31,6x59,8x78 cm
Madera, vidrio, latón, acero

Según el principio de Pascal, la presión sobre el fondo de un recipiente no depende de la forma de éste, sino de la altura que el líquido alcance en él y de su densidad. Este principio puede comprobarse gracias a este instrumento. Para ello consta de tres tubos de vidrio de diferentes formas pero igual altura que se adaptan de uno en uno. El proceso es el siguiente: se echa mercurio en el interior del tubo hasta la altura de la llave; después se atornilla el recipiente troncocónico y se llena de agua, cuya presión hará subir el nivel del mercurio en el tubo de vidrio; a continuación, señalando el nivel de éste en el tubo mediante un anillo y el del agua en el recipiente mediante una varilla, se abre el grifo para evacuar el agua; si ahora se cambia este recipiente por el cilíndrico, y se llena de agua hasta el nivel indicado por la varilla, se comprobará que también el mer-

curio ha alcanzado su nivel anterior. Con esto se prueba que la presión que recibe el mercurio en ambos casos es la misma, no dependiendo por tanto de la forma del recipiente.

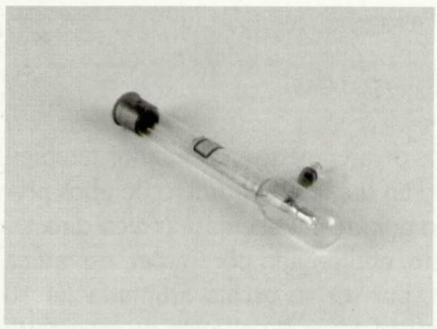


Fig. 255

181. APARATO PARA MOSTRAR EL MÁXIMO DE DENSIDAD DEL AGUA

Nº inv.: 95/31/352
1900-1915
7,5x3x20,2 cm
Vidrio, metal y caucho

Este instrumento didáctico está diseñado para ser empleado en una lámpara de proyección, con el objeto de ilustrar con mayor claridad a un grupo de alumnos el máximo de densidad, equivalente a la unidad, que presenta el agua a la temperatura de 4º. Para ello está provisto de una escala de temperaturas transparente, que permite ver que el aumento máximo de volumen se produce precisamente cuando en la escala el mercurio indica 4º.

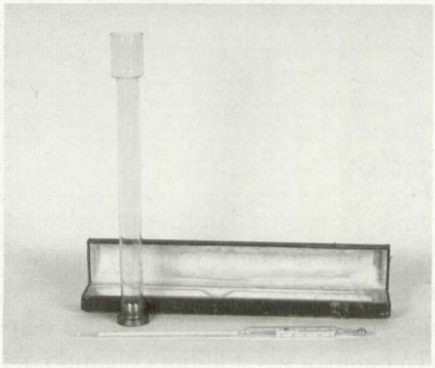


Fig. 256

182. ALCOHOLÍMETRO

Nº inv.: 95/31/366
1850-1870
8,3x49x6,5 cm
Piel, vidrio, latón, mercurio, lacre, papel, madera
«Normal» / «Alkoholometer» / «MAGAZIN» / «VOR» / «W.J. Rohrbeck.» / «Berlin.»
«NORM : EICH . COMM:»
«Nº 141 Alkoholometer n. Tralles. Temp. 12 1/2 º Réaumur. W.J. Rohrbeck in Berlin. Gew. 852,7 ts.»

Los areómetros son instrumentos destinados a conocer la densidad de un líquido basándose en el principio de que al introducir un cuerpo en un líquido, el volumen de la parte sumergida es igual a su masa total, que es constante, dividida entre la densidad del líquido. Esta última por tanto, vendrá dada por el volumen sumergido del areómetro. Los areómetros reciben nombres concretos dependiendo del líquido con que se utilicen; si éste es alcohol reciben el nombre de alcoholímetros.

Fig. 257

La primera referencia del uso del areómetro en Inglaterra fue la publicada por Boyle en las *Philosophical Transactions* de 1675, teniendo tal instrumento el objeto práctico de permitir detectar monedas falsas a través de su densidad. A finales del s. XVIII este tipo de instrumentos se desarrollaron orientados a conocer el porcentaje de alcohol en bebidas para establecer las tasas correspondientes. Los areómetros modernos, como este, son muy similares, estando destinados generalmente a uso en laboratorio. Este modelo en concreto permite conocer el porcentaje de alcohol puro de un líquido (se trata por tanto de un alcoholímetro) que se halle a 12,5º de la escala Réaumur (a otra temperatura se deberán hacer correcciones). Como la escala ha sido previamente calibrada el enrase indica directamente el porcentaje de alcohol.

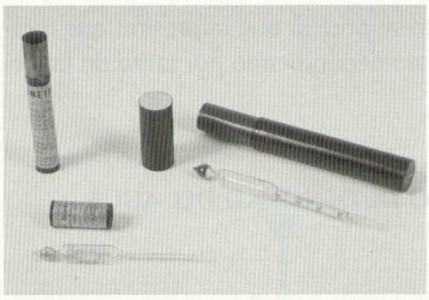


Fig. 258

183. ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC Y AREÓMETRO DE CARTIER

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/368; 95/31/377
1890-1910
Dm.2,4x15,4 cm; dm.3,2x22,1 cm
Cartón, papel, vidrio, plomo, algodón, hojalata
«Dujardin-Salleron», su dirección: «24, Rue Pavée»
«ALCOOMETRE LEGAL (TYPE 1884)»
«DUJARDIN SUCCR DE J. SALLERON, PARIS» (95/31/368)

La fotografía representa otros dos modelos de areómetros, destinados también a determinar el porcentaje de alcohol puro de un líquido. El primero de ellos presenta una escala previamente calibrada, razón por la cual el enrase indica directamente el porcentaje de alcohol. El otro modelo, el diseñado por Cartier, no indica directamente el porcentaje de alcohol puro, por ser su escala arbitraria (el 10 corresponde al agua y el 44 al alcohol). En ambos casos el volumen de areómetro sumergido nos indicará la cantidad de alcohol, que se refleja en la densidad del líquido.

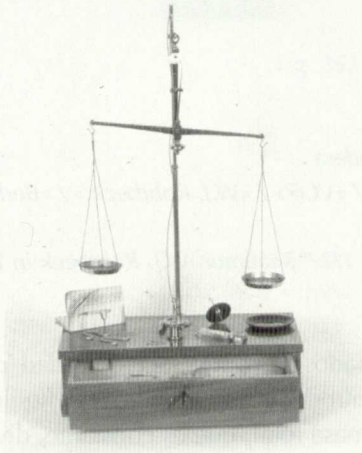


Fig. 259

184. BALANZA DE MOHR

Nº inv.: 95/31/383
1890-1910
21,2x34,2x56,9 cm
Madera, latón, metal, cartón, cordón, marfil
«Celsius» / «Reimann's D.R.» / «Patent nº 791»

Para determinar el peso específico de un líquido se puede emplear también otro tipo de instrumentos, como por ejemplo esta balanza. La medida se realiza colgando de uno de sus brazos el inmersor, sumergiéndole en el líquido cuya densidad quiere conocerse, y del otro un platillo. La balanza se equilibra colgando del brazo derecho (el del inmersor) tantos jinetillos como sea necesario. La densidad será el resultado de dividir la suma del peso de cada jinetillo multiplicado por su correspondiente brazo, dividido entre el del agua desalojada por el inmersor.

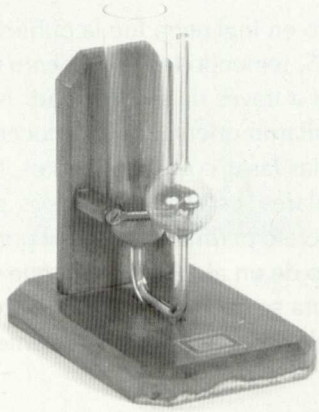


Fig. 260

185. APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA CAPILARIDAD

Nº inv.: 95/31/466
1890-1910
4x8,8x17,2 cm
Vidrio, madera, latón, tela

Este instrumento, ideado por Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) en el s. XIX, está destinado a estudiar la acción capilar entre sólido y líquido. Con él se puede mostrar que para un mismo sólido y un mismo líquido, a una temperatura dada, el ángulo de contacto es constante. Para ello se introduce un poco de mercurio en el tubo cilíndrico hasta que llegue al recipiente esferoidal, donde forma una gota convexa (no moja el vidrio) que forma un ángulo de contacto de 45º con la tangente a la pared. Si añadimos más mercurio, llegará un momento en que la superficie del mercurio sea perfectamente plana, debido a que forma con la tan-

gente a la pared un ángulo de 45º. Si seguimos echando mercurio el menisco pasará de convexo a cóncavo, debido a que la pared ha invertido su curvatura.

Este fenómeno es debido a que los líquidos no son fluidos perfectos y su superficie se comporta como si fuera un sólido elástico. De este modo, las moléculas limítrofes del líquido tienden a suprimir el ángulo recto para establecer el enlace más corto posible, que en este caso consiste en formar un ángulo de 45º con la tangente a la pared del recipiente.

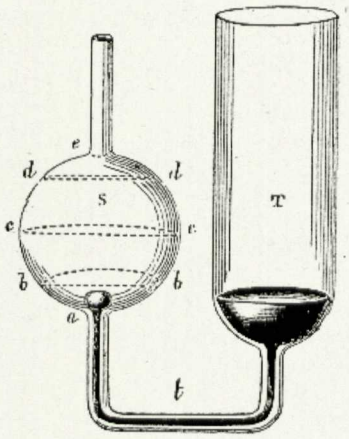


Fig. 261.- Capilaridad

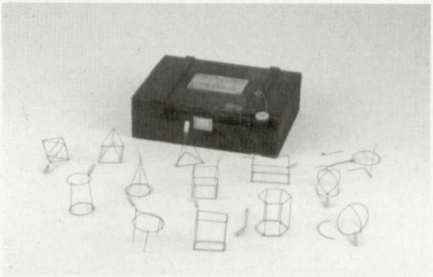
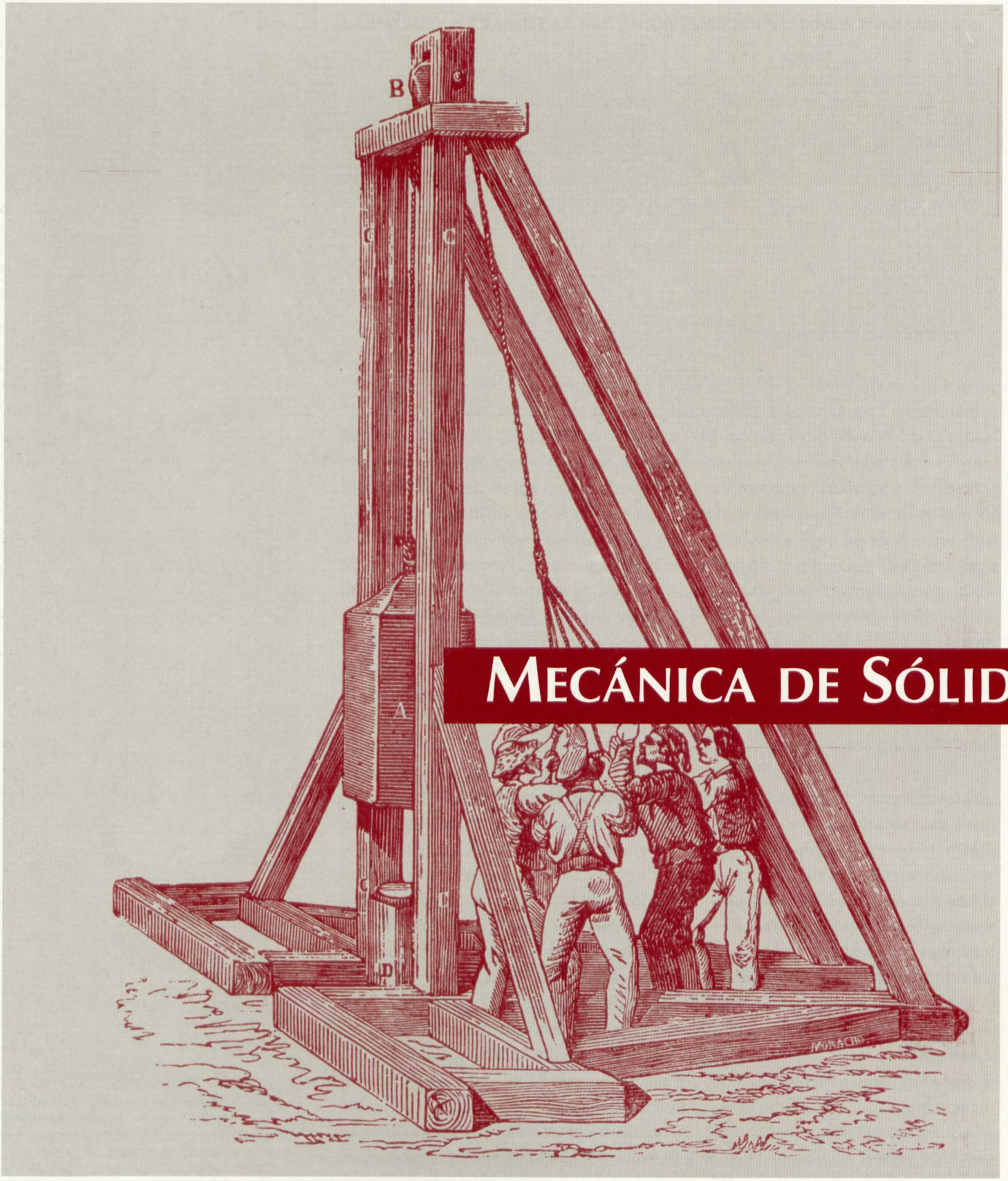


Fig. 262

186. CAJA CON DOCE FIGURAS DE PLATEAU

Nº inv.: 95/31/400
1870-1890
26x19,3x8,5 cm
Acero, hueso, madera

Este conjunto de armaduras metálicas con diferentes formas geométricas se utiliza para formar las figura de Plateau con agua jabonosa, mostrando con ello los fenómenos de capilaridad que tienen lugar siempre que existe contacto entre un líquido y una superficie sólida, en este caso la armadura metálica y el agua con jabón. Joseph Antoine Plateau (1801-1883) publicó entre 1843 y 1868 un conjunto de memorias sobre las fuerzas moleculares en las que presentaba una serie de consideraciones sobre el fenómeno de la tensión superficial. Este trabajo fue revisado y editado en 1873.



Mecánica de Sólidos

LA INTRODUCCIÓN DE LA MECÁNICA EXPERIMENTAL NEWTONIANA

Mª Ángeles del Egido Rodríguez

El desarrollo de la Mecánica[1] en el s. XVIII se beneficia de anteriores logros, y no sólo de aquellos que se circunscriben a los nuevos conocimientos científicos del s. XVII, al perfeccionamiento del método experimental o a la evolución de las matemáticas. También la ciencia clásica contribuyó con algunas notables aportaciones. Así, a los estudios teóricos sobre composición de movimientos y ventajas mecánicas de ciertos ingenios llevados a cabo por Aristóteles en el s. IV a.C. desde un punto de vista dinámico, es decir, atendiendo a las causas que producen el movimiento, se unieron otros como los de Arquímedes, quién un siglo después introdujo el modelo geométrico para el tratamiento de los sistemas, aproximación no dinámica que desprecia los efectos de las condiciones reales. También la técnica alejandrina de los ss. I y II, para el diseño de máquinas de guerra y construcción, favoreció la aparición de una ingeniería matemática basada en el estudio de máquinas simples y compuestas realizado por Filón de Bizancio y Herón de Alejandría. Estas aportaciones clásicas proveyeron a la ciencia del XVII de un modelo matemático de partida de gran relevancia para su aplicación a los sistemas naturales.

El s. XVII vive un espectacular aumento de investigadores, producción y publicaciones científicos, que supieron aunar todos los conocimientos antes citados con una visión mecánica de la materia, cuyas propiedades principales son tamaño, forma y movimiento, en un espacio geométrico en el que las leyes matemáticas se adaptan adecuadamente a la explicación de una importante área de la llamada entonces 'filosofía natural', lo que actualmente llamamos 'física'. Las leyes sobre el impacto y el análisis del movimiento circular son dos de los temas, tratados por Descartes y Huygens entre otros, que se verán habitualmente presentados en los gabinetes de física experimental durante los dos siglos posteriores.

El análisis infinitesimal de insignes matemáticos como Isaac Barrow (1630-1677) y Gottfried W. Leibniz (1646-1716) prepara el camino de nuevo en lenguaje matemático. En 1687 Newton escribe los *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* que suponen un importante cambio en el estudio de la física matemática al introducir un método y tres axiomas revolucionarios. Como nuevo método de investigación de la naturaleza introduce el lenguaje matemático, denominado por

[1] Como obras generales para este tema pueden consultarse Dugas, René, *Histoire de la Mecanique*, Neuchâtel: Editions du Griffon, 1950 y Truesdell, C. A., *Ensayos de historia de la mecánica*, Madrid: Tecnos, 1975 (1ª edición 1968).

Newton 'método de las fluxiones' y por Leibniz 'cálculo diferencial', que permite integrar en el estudio del movimiento las variaciones de las cantidades que se van produciendo en su desarrollo, así como la correcta explicación del resultado final en un gran número de problemas no resueltos hasta entonces, como los movimientos de planetas y satélites. Por otra parte los axiomas que propone son la ley de inercia, la ley de relación entre fuerza y aceleración y la ley de acción y reacción, que permitieron la resolución de sistemas más complejos en los que no era necesario el conocimiento de la naturaleza de la fuerza implicada.

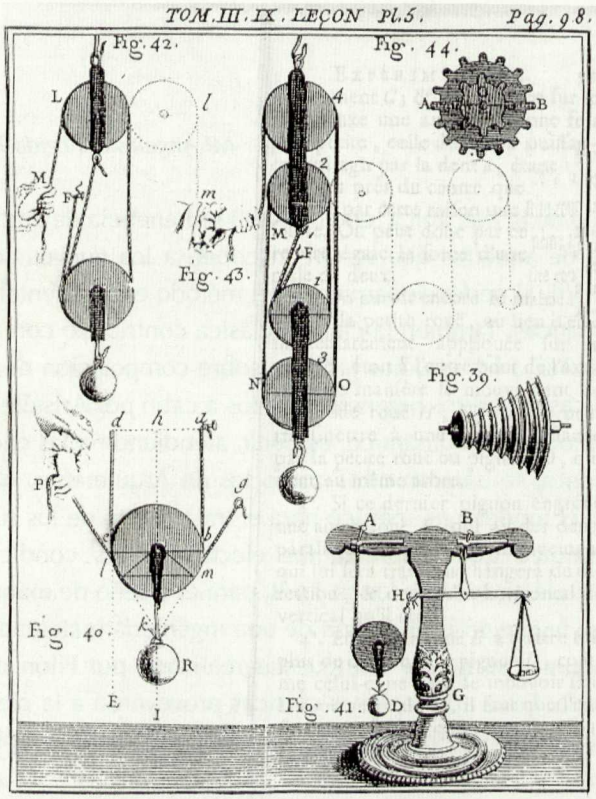


Fig. 263.- Ilustración de la obra de J. A. Nollet, *Leçons de physique experimentale.*

Estas innovaciones se plasman en una nueva física en el s. XVIII, experimental y newtoniana, que ambiciona constituirse en el fundamento de la explicación de todos los procesos naturales. Una de las más importantes vertientes de la influencia de la física newtoniana en la ciencia es el triunfo de la matematización que se plasma en el interés por la medida y la experimentación. En el área de la enseñanza de las ciencias en el s. XVIII, se escriben importantes tratados que introducen la mecánica newtoniana en los diferentes países europeos, pues incorporan a las explicaciones matemáticas detalladas descripciones de instrumentos científicos, que son modelaciones que permiten comprobar experimentalmente la veracidad de las leyes abordadas. Los tratados de física del XVIII, cuyos títulos recogen en su mayoría la alusión al contenido como 'física experimental' o 'filosofía experimental', escritos por J. A. Nollet[2] en Francia, Musschenbroek[3] y 'sGravesande[4] en Holanda, John T. Desaguliers (1683-1744)[5] en Londres, describen instrumentos con los que observar y verificar experimentalmente las leyes matemáticas establecidas.

2 Nollet, J.A. *Leçons de physique expérimentale*, París, 1745-1748.

3 Musschenbroek, P. van *Elementa phisicae, conscripta in usus academicos*, Leiden, 1741.

4 ´sGravesande, W.J. *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. Sive introductio ad philosophiam Newtonianam*, Leiden, 1713.

5 Desaguliers, J.T. *A Course of Experimental Philosophy*, Londres, 1734.

En estos libros de física experimental se basan los diseños de una gran parte de los instrumentos de la colección de la Facultad de Ciencias Físicas, como es habitual, por otra parte, en todas las colecciones de instrumentos de Mecánica de los ss. XVIII y XIX. A los modelos de máquinas simples ya ideados por los griegos como palancas y tornillos que ilustran las leyes de la estática, se añadieron durante los ss. XVII y XVIII los relativos a la dinámica, en vista de los nuevos enfoques y resultados que los físicos de estos siglos habían aportado desde el punto de vista de las fuerzas que intervienen, una vez elegido un adecuado sistema de referencia: las investigaciones sobre choques y movimiento circular; la composición de fuerzas lineales con especial referencia al caso del plano inclinado, el rozamiento, las condiciones de equilibrio y el estudio de la posición del centro de gravedad. Tanto los nuevos modelos de instrumentos como aquellos ya conocidos y estudiados por los griegos, son formulados en el nuevo lenguaje matemático, representan la materialización en madera y metal de las leyes mecánicas conocidas, estudiadas en los gabinetes científicos y centros de formación durante los ss. XVIII y XIX y responden a modelos que ya se encuentran presentes en los citados manuales de física del XVIII.

No obstante, hay que tener en cuenta que los axiomas de Newton tal como aparecen en los libros actuales, en lenguaje diferencial y aplicado a todos los puntos del sistema, no se parecen a los que él propuso en sus *Principia* para resolver la mecánica de un sistema de un punto sometido a fuerzas centrales. Por tanto, si bien los filósofos experimentales del XVIII se refieren a la mecánica newtoniana en sus libros, en realidad recogen sus aplicaciones a un cuerpo, estudiando la mecánica del sólido e interpretando las magnitudes como vectores, tal y como hizo Euler por primera vez hacia 1760[6]. Estas aportaciones del s. XVIII se circunscriben en la denominada mecánica racional, que parte de axiomas matemáticos para formular principios como los de momento lineal y presión.

El desarrollo de la física en el XIX avanza según esta línea puramente matemática que tiene difícil plasmación en un gabinete experimental. Los trabajos de Lagrange, Laplace, Fourier, Poisson, William R. Hamilton (1805-1865) y Jules H. Poincaré (1854-1912), por citar algunos, contribuyen a consolidar la llamada mecánica clásica a través de investigaciones matemáticas sobre las consecuencias de la mecánica newtoniana, euleriana y el principio de conservación de la energía. Tan sólo decir que de entre estos físicos matemáticos, algunos defienden el estudio de los fenómenos naturales desde un punto de vista macroscópico y continuo, tal como propone Lagrange, y otros presentan sus modelos matemáticos basándose en los movimientos y fuerzas moleculares, método propuesto por Laplace, aplicable no sólo a la mecánica, sino también al calor, la óptica o la electricidad, de modo que pudiera conseguirse la unificación de las diferentes áreas de la física. Seguidor del primero se muestra Fresnel, quien defiende la teoría ondulatoria de la luz, ya propuesta por Young a partir de ecuaciones newtonianas, lo que propicia el estudio experimental de las ondas en sus diferentes aspectos: la relación entre longitud de onda, frecuencia, amplitud, composición e interferencia.

Simultáneamente a esta evolución teórica de la mecánica en el XIX, se producen investigaciones experimentales cuyos resultados, si bien se enmarcan en la

6 Euler, L. *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum*, 1760.

mecánica matemática clásica, propician el diseño de nuevos experimentos. Entre ellos, existen dos ejemplos bien representados en la colección de la Facultad de Ciencias Físicas que nos ocupa: el péndulo reversible de Henry Kater (1777-1835) y el péndulo de Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868). Ambos son producto de la aguda intuición experimental de estos personajes y no de una marco teórico conocido que propiciara estos diseños experimentales.

Henry Kater, dedicado a la mejora de instrumentos de geodesia y a la estandarización de los pesos y medidas en Inglaterra, miembro de la Royal Society, es conocido por el diseño del péndulo que lleva su nombre, y que utilizó dentro de sus trabajos topográficos para medir la elipsicidad de la Tierra. Los estudios de las propiedades del péndulo fueron iniciados por Galileo y Huygens en el XVII, diseñando para ello diferentes experimentos. La importancia de este nuevo diseño se halla en la posibilidad de obtener medidas de la aceleración de la gravedad más precisas que las hasta entonces obtenidas por medio del diseño de péndulo de Huygens, y con ello, medidas más exactas de dicha elipsicidad.

Foucault es conocido por dos importantes experimentos científicos: la determinación de la velocidad de la luz, entre 1850 y 1862, y la demostración mecánica de la rotación de la Tierra sobre sí misma, entre 1851 y 1852. A este último aspecto se refiere la experiencia conservada en esta colección.

Foucault fue un pionero de la fotografía astronómica al que se debe el primer daguerrotipo del sol realizado en 1845. La necesidad de una larga exposición de la imagen astronómica para realizar una imagen fotográfica, hacía necesaria la incorporación de un sistema de movimiento al telescopio que garantizara el seguimiento del astro en cuestión. Para ello, Foucault decidió utilizar el movimiento de un péndulo cónico que ya había proyectado Huygens en el XVII. Sin embargo, observó que este péndulo mantenía su plano de oscilación aún cuando se hiciera girar el torno al que iba sujeto; por tanto, si el plano de oscilación de un péndulo es fijo respecto a la Tierra, la rotación de la Tierra sobre sí misma debe ser observable mediante la rotación del mismo plano de oscilación respecto de la Tierra. Para ello, en el sótano de su casa montó un gran péndulo con un hilo de acero de dos metros de largo y una lenteja de cinco kilos, que hizo oscilar libremente. Observó que el plano de oscilación del péndulo gradualmente giraba en dirección al movimiento diurno de la Tierra[7]. Un mes después, en febrero de 1851, repitió el experimento en una gran sala de la planta baja del Observatorio de París, con un péndulo de once metros de longitud, demostrando que el desplazamiento angular del plano de oscilación es igual al producto del movimiento angular de la Tierra y el seno de la latitud. El hallazgo de la relación entre estos parámetros, por lo que puede deducirse de las publicaciones de Foucault, es inicialmente intuitivo a partir del resultado de estas observaciones, aunque posteriormente hallara su correspondiente desarrollo matemático. Este experimento se repitió en prácticamente todos los observatorios del mundo durante los dos años siguientes, en lo que se convirtió en un símbolo que aún hoy muchos observatorios, como el Observatorio Nacional de Madrid, conservan, y nuevos centros de formación científica, como la Casa de las Ciencias de La Coruña, gustan de incorporar.

[7] Foucault, L. "Demonstration physique du mouvement de la Terre au moyen du pendule" en *Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences*, vol. 32, 1851, p. 135.

MECÁNICA DE SÓLIDOS

Leonor González de la Lastra

187. APARATO PARA MOSTRAR LA COMPOSICIÓN DEL MOVIMIENTO

Nº inv.: 95/31/330
1835-1855
15,7x48,9x48,1 cm
Madera, latón, papel, cuerda
«Pixii Père et Fils»

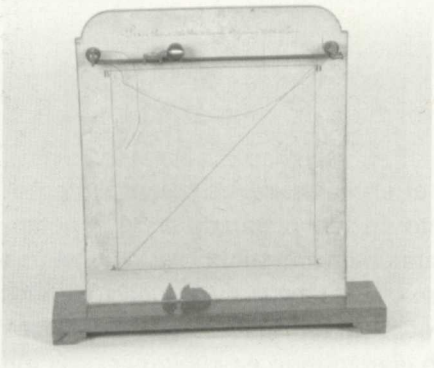


Fig. 264

Este instrumento, que ya aparece descrito en obras de mediados del s. XVIII, como la del Abate Nollet, permite mostrar la composición de dos movimientos simultáneos, uno horizontal y otro vertical. Para ello está provisto de un carrito que se desliza por las barras horizontales, movido por una cuerda con un peso que pasa por una polea lateral. Una segunda cuerda, fija al otro extremo de las barras, también con un peso, pasa por la polea unida al carrito. Cuando el carrito se desplaza horizontalmente, el giro de su polea hace que el peso que cuelga de él se eleve, describiendo una trayectoria diagonal en el tablero, que representa la suma de los dos movimientos perpendiculares. Este instrumento tiene una curiosa aplicación en el teatro contemporáneo: simular el vuelo de personajes y objetos.

188. APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE ELÁSTICO

Nº inv.: 95/31/491
1870-1890
29,6x45,8x81,1 cm
Madera, latón, acero

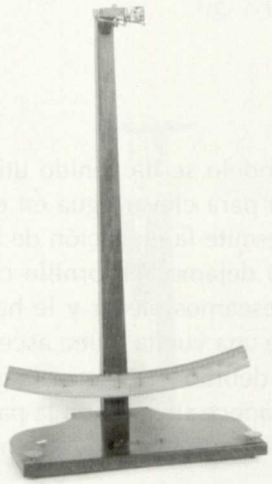


Fig. 265

Gracias a este instrumento didáctico podemos comprobar experimentalmente las leyes de conservación de la energía y de la cantidad de movimiento en los choques elásticos. Esto se consigue si hacemos chocar dos esferas en diferentes situaciones y observamos la relación entre las masas y las alturas alcanzadas en la escala, por ejemplo: haciendo incidir desde una altura determinada una esfera de doble masa sobre otra situada en el origen; haciendo colisionar dos esferas de la misma masa, bien dejando caer ambas simultáneamente desde alturas diferentes, bien con una de ellas situada en el origen.

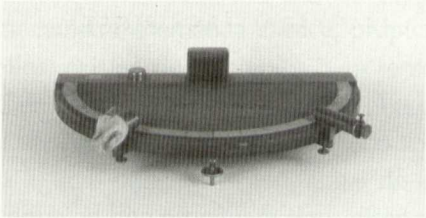


Fig. 266

189. APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE OBLÍCUO

Nº inv.: 95/31/324
1870-1900
31,6x52,1x12,8 cm
Madera, tela, latón, piel, vidrio, agua

Este instrumento permite comprobar experimentalmente las leyes que rigen el choque elástico que tienen lugar con incidencia oblicua, según las cuales el ángulo de incidencia es igual al de reflexión, estando ambos situados en el mismo plano. Esto se consigue lanzando con el percutor una bola orientada hacia la placa negra, comprobándose que, tras la reflexión, la bola se recoge en el cilindro con piel, el cual forma con la placa el mismo ángulo que el percutor.

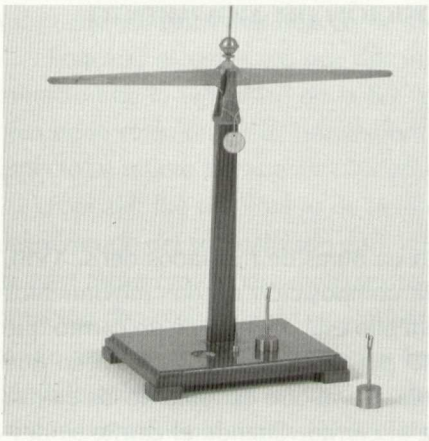


Fig. 267

190. PALANCA DE PRIMER GÉNERO

Nº inv.: 95/31/498
1860-1890
17,3x40,3x40,3 cm
Acero, latón, madera

Modelo didáctico destinado a explicar el principio de las palancas de primer género, caracterizadas por tener el punto de apoyo situado entre la potencia y la resistencia. Con él se muestra que para obtener equilibrio estable en una balanza, el centro de gravedad ha de hallarse bajo la arista de suspensión, pues si se halla sobre ella tenemos una balanza loca, equilibrio inestable, y si ambos coinciden la balanza no oscila, conservando el equilibrio en cualquier posición que adopte. Esto puede comprobarse variando la posición del cuchillo mediante el tornillo plano y la del centro de gravedad mediante la esfera. Aplicación de este tipo de palancas son por ejemplo las balanzas.

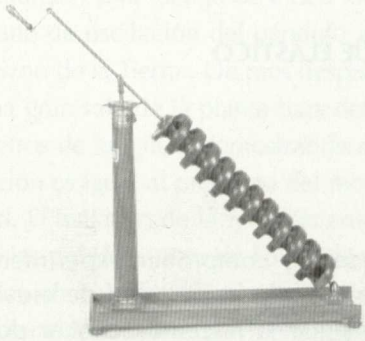


Fig. 268

191. TORNILLO DE ARQUÍMEDES

Nº inv.: 95/31/310
1810-1830
13,2x54x53,7 cm
Caoba, nogal, metal

El instrumento representado por este modelo se ha venido utilizando con regularidad desde que Arquímedes lo ideara para elevar agua en el s. III antes de nuestra era. Se trata de un tornillo que permite la elevación de harina, agua o grano mediante el giro de la helicoide. Si dejamos el tornillo con la vuelta inferior semisumergida en la materia que deseamos elevar y le hacemos girar mediante la manivela, aquella irá pasando de una vuelta a otra ascendiendo por el interior hasta el extremo superior. Esto es debido a que, por la geometría de la helicoide y el peso del material, éste permanece siempre en la parte más baja de cada vuelta; el sentido del giro hace que esto se traduzca en un ascenso del cuerpo.

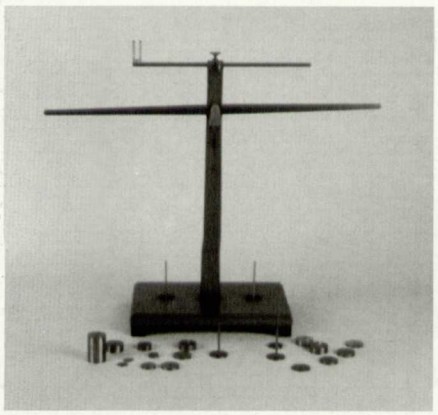


Fig. 269

192. APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS OPUESTAS

Nº inv.: 95/31/499
1860-1890
16,8x49,3x42 cm
Acero, latón, madera

Este instrumento didáctico está destinado a ilustrar las leyes que rigen la composición de fuerzas que actúan en direcciones paralelas y sentidos contrarios. Si disponemos la polea con un peso en un extremo y el otro unido a uno de los pivotes de la palanca, estaremos aplicando sobre ésta una fuerza paralela y de sentido contrario a la debida a las pesas que situemos en el otro extremo del brazo. La resultante será paralela a ambas, tendrá el sentido de la mayor, módulo igual a su diferencia, y dividirá la recta que las une en partes inversamente proporcionales a las intensidades de ambas componentes. El equilibrio se alcanzará por tanto cuando la relación entre las fuerzas aplicadas sea inversamente proporcional a la relación entre los respectivos brazos.

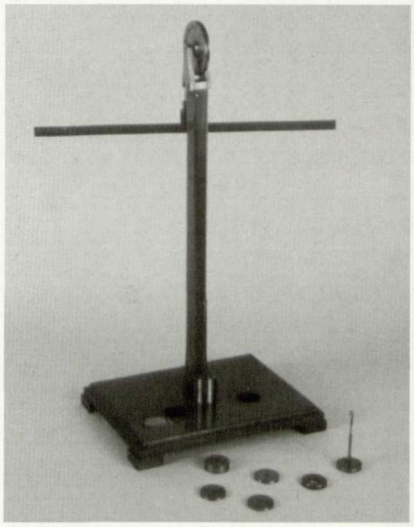


Fig. 270

193. APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS DE IGUAL SENTIDO

Nº inv.: 95/31/335
1860-1890
17,4x32,4x44,5 cm
Cuerda, latón, madera

Este otro modelo también está destinado a comprobar la ley de equilibrio que rige la composición de dos fuerzas paralelas desiguales, pero en este caso, aplicadas en el mismo sentido. Según tal ley, la resultante será paralela a las componentes, de módulo igual a su suma y aplicada en un punto tal que divide a la recta que las separa en partes inversamente proporcionales a las intensidades de éstas. Suspendiendo pesas de los ganchos de la palanca, se observa que para conservar el equilibrio sus masas deben ser inversamente proporcionales a la distancia al punto medio, que es donde se aplica la resultante. Además, para equilibrar la polea ha de colgarse del cordón un peso que nos dará valor de la fuerza resultante.

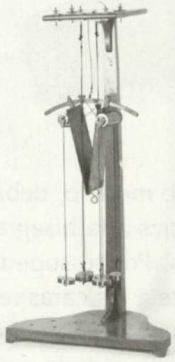


Fig. 271

194. CUÑA DE 'sGRAVESANDE

Nº inv.: 95/31/336
1855-1865
29,2x45x90 cm
Latón, madera, cuerda
«Breton Fres à Paris»

Con este instrumento didáctico podemos visualizar las fuerzas presentes en la cuña doble, la cual permite con una determinada potencia vencer mayor resistencia. Este tipo de aparatos ya se fabricaban en el

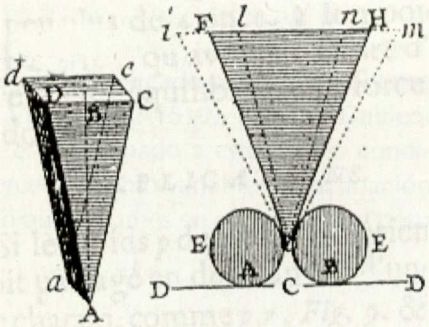


Fig. 272.- Cuña de 'sGravesande

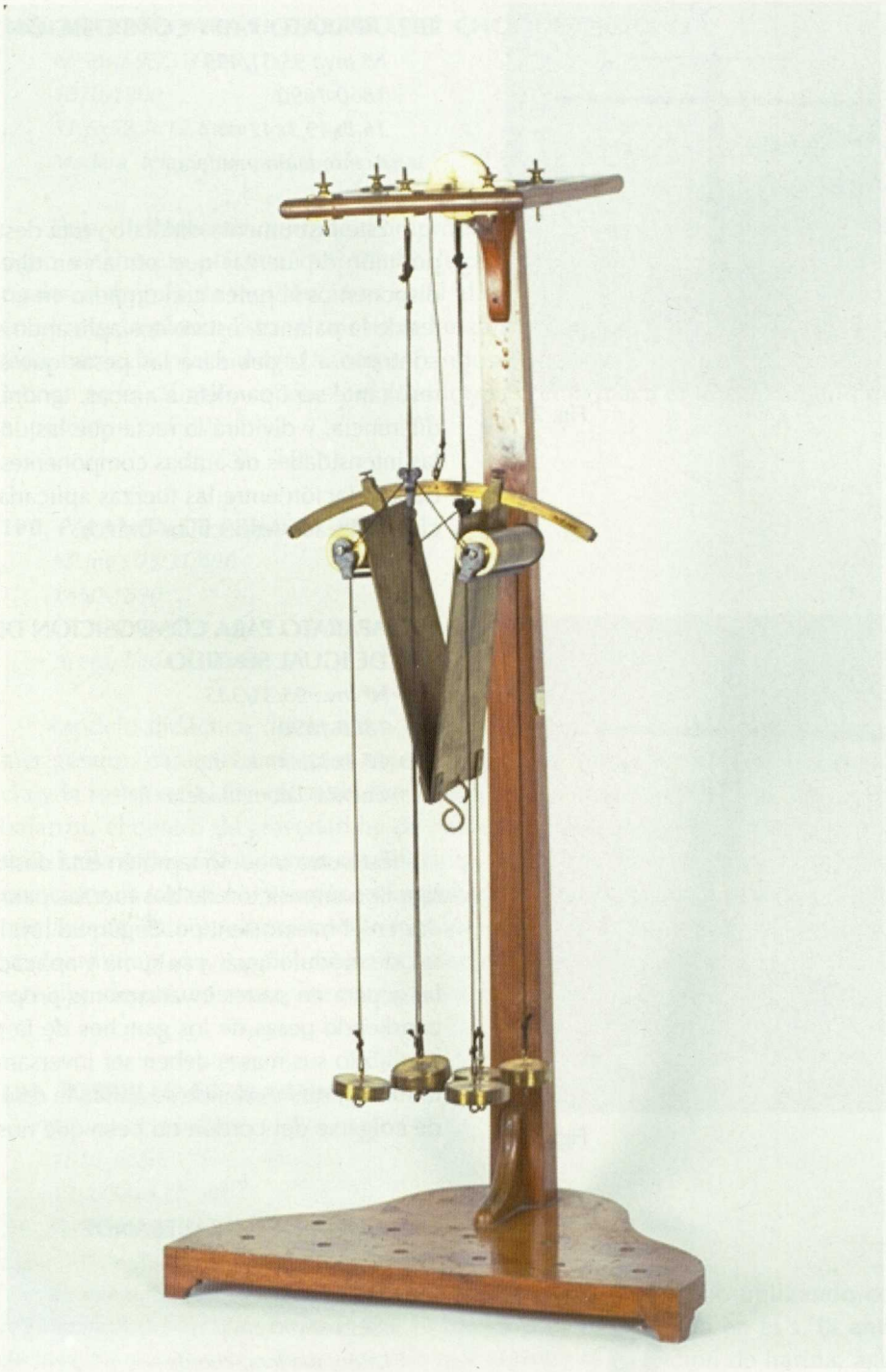


Fig. 271

s. XVIII, época a que corresponde el diseño de este modelo, debido a 'sGravesande. Consta de dos planos, de ángulo variable gracias a la bisagra que los une, de los que pende un peso que representa la potencia. Por su superficie deslizan dos cilindros cuya presión ejercida perpendicularmente a las caras representa la resistencia. Para desplazarlos se precisa tanta menos fuerza cuanto menor sea el ángulo de la cuña. El equilibrio se alcanza cuando la altura de la cuña es el doble de la base, esto es, la resistencia es el doble de la potencia.

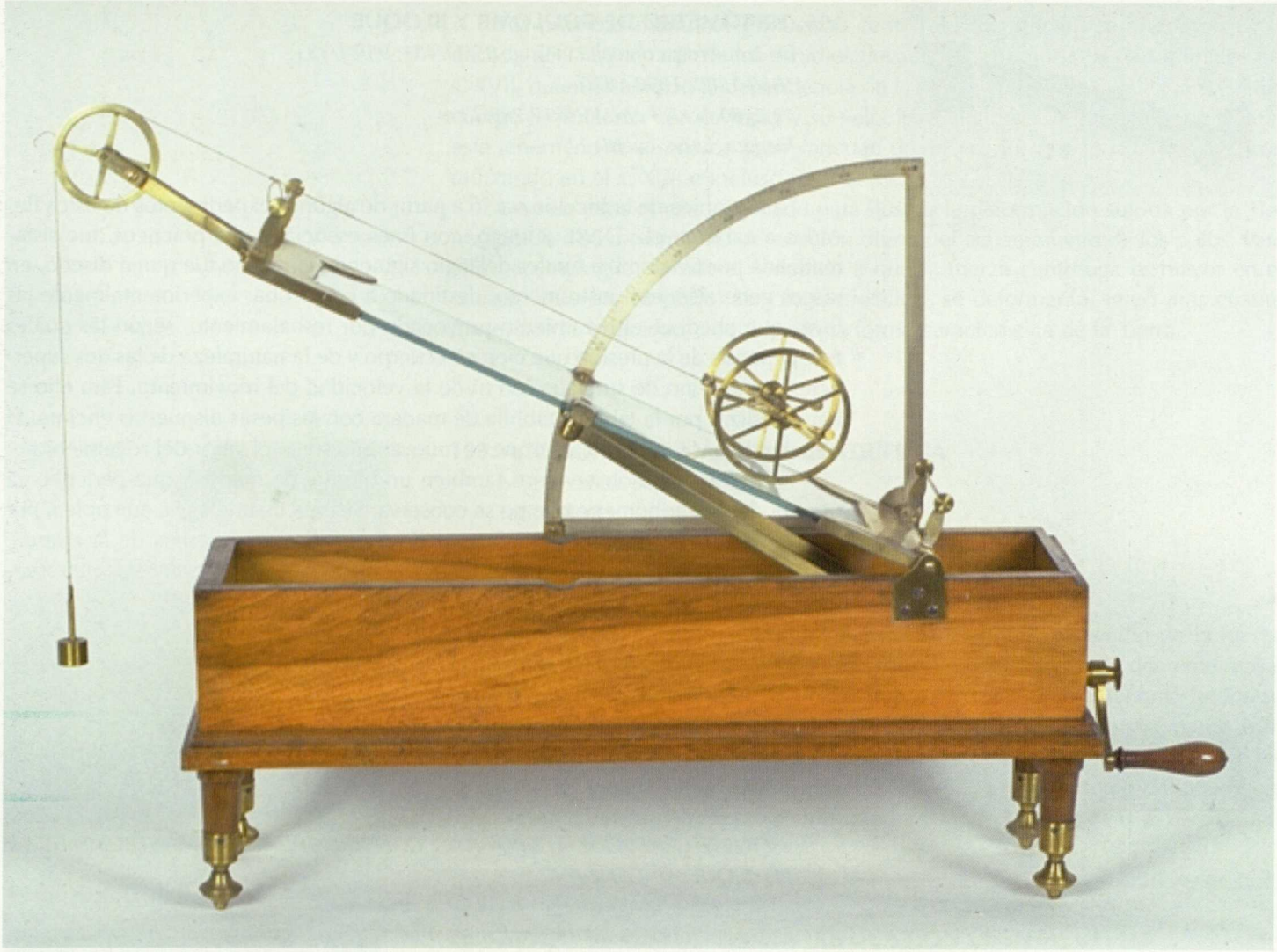


Fig. 273

195. PLANO INCLINADO

Nº inv.: 95/31/332
1835-1855
20x86x50 cm
Madera, latón, vidrio, cuerda, acero
«Pixii Père et Fils à Paris»

Los estudios teóricos relacionados con el plano inclinado pueden remontarse a los trabajos, por ejemplo, de Leonardo da Vinci (1452-1519), Stevin y Galileo. Este modelo, realizado con fines didácticos, está destinado a estudiar las condiciones de equilibrio en un plano inclinado, teniendo como variables la inclinación del plano (visible en el arco graduado), el peso que situamos en el carrito, y el peso que pende del extremo de la polea.

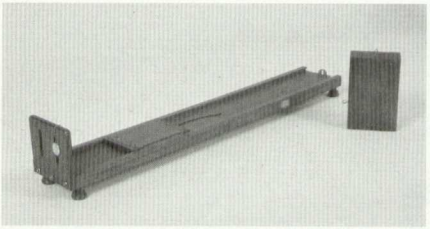


Fig. 274

196. TRIBÓMETRO DE COULOMB Y BLOQUE

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/481; 95/31/333
1860-1880; 1850-1870
12,2x80,4x13,3 cm; 11,5x17,2x5,2 cm
Madera, latón, cuerda

La mecánica de la fricción nació a partir de algunos experimentos de física llevados a cabo en el s. XVII, y luego, con fines esencialmente prácticos, fue sistematizada por Coulomb a finales del siglo siguiente. Él mismo fue quien diseñó, en rasgos generales, este instrumento, destinado a comprobar experimentalmente las leyes que obedece el rozamiento provocado por resbalamiento, según las cuales éste depende de la presión que ejerce el cuerpo y de la naturaleza de las dos superficies, aunque no de su extensión ni de la velocidad del movimiento. Para ello se hace deslizar por la tabla la tablilla de madera con las pesas dispuestas encima. El esfuerzo necesario para hacer que se mueva representa el valor del rozamiento.

En la fotografía observamos también un bloque de madera, que pertenece a otro modelo de tribómetro que no se conserva. Se trata de una mesa con polea, por la que desliza el bloque de madera unido a uno de los extremos de la cuerda, situando en el otro las pesas necesarias para hacer que se mueva; éstas representarán el valor del rozamiento.

Fig. 275

197. TRIBÓMETRO

Nº inv.: 95/31/280
1890-1920
19,7x123,5x31,5 cm
Acero, latón, madera
«SOCIETE GENEVOISE,» / «POUR LA CONSTRUCTION,» / «D'INSTRUMENTS DE PHYSIQUE,» / «GENEVE»

Este otro modelo de tribómetro es más moderno y sofisticado, aunque su funcionamiento es similar al de los anteriores. Si hacemos deslizar por la plancha el peso de acero unido a uno de los extremos de la polea, y situamos en el otro las pesas necesarias para hacer que se mueva, podremos estudiar el valor del rozamiento en diversas situaciones, que vendrá representado por las pesas que hayamos colgado de la polea.

Fig. 276

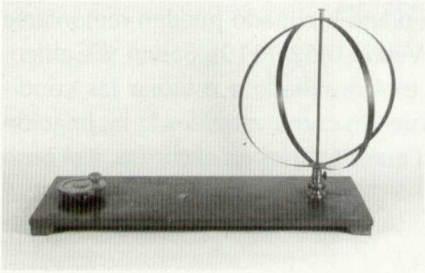


Fig. 277

198. APLASTAMIENTO DE MERIDIANOS

Nº inv.: 95/31/321
1850-1870
36,5x78x44,3 cm
Madera, latón, acero

Las primeras máquinas de fuerzas centrales o centrífugas se diseñaron en la década de 1720 a partir de los estudios llevados a cabo por Huygens a finales del s. XVII, quien estableció la dependencia de la fuerza centrífuga que actúa sobre un cuerpo en rotación con su masa y su velocidad angular. Con el objeto de ilustrar este fenómeno se diseñaron gran variedad de accesorios que todavía se siguieron utilizando en el s. XIX, e incluso en el s. XX.

Uno de ellos es éste, diseñado para ilustrar la deformación sufrida por la Tierra debido a su movimiento de rotación diurna: el achatamiento de los polos. Para ello hacemos girar la esfera y, debido a que la fuerza centrífuga es mayor en el ecuador que en los polos, las cintas metálicas se deformarán, tanto más cuanto mayor sea la velocidad, adquiriendo la forma característica de la Tierra.

Fig. 278

199. ACCESORIO DE MÁQUINA CENTRÍFUGA

Nº inv.: 95/31/632
1850-1880
Dm. 14,5x21 cm
Vidrio, mercurio, agua, latón, madera

Aquí observamos otro accesorio destinado a estudiar la acción de la fuerza centrífuga. En este caso se analiza su efecto sobre dos cuerpos de diferente masa: el agua y el mercurio. Al ser comunes a ambos tanto la velocidad como la distancia al eje de rotación, la fuerza será mayor para aquel cuya masa sea mayor, esto es, el mercurio. Esto se comprueba adaptando el accesorio a una máquina de fuerzas centrales y observando que el mercurio ocupa la parte externa del recipiente mientras que el agua queda en la más interna cuando se hace girar al sistema.

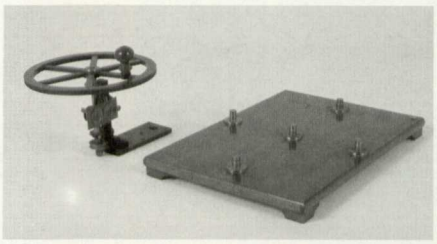


Fig. 279

200. MÁQUINA DE FUERZA CENTRÍFUGA CON CUENTAVUELTAS Y BASE PARA ACCESORIOS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/323; 95/31/490
1920-1940; 1880-1900
24,8x31x24,5 cm; 35x49,6x6,5 cm
Madera, latón, acero, metal

En esta fotografía observamos dos instrumentos relacionados con el estudio de la fuerza centrífuga. El primero de ellos permite observar los efectos de la mencionada fuerza mediante un rápido movimiento de rotación impreso por el árbol mayor de una polea al menor, en el cual se sitúan los diferentes accesorios; provisto de un cuentavueltas, permite conocer el número de revoluciones y calcular la velocidad de giro. El segundo de los instrumentos es una tabla que se emplea como soporte para adaptar los diversos accesorios de la máquina de fuerzas centrales cuando no están siendo utilizados.

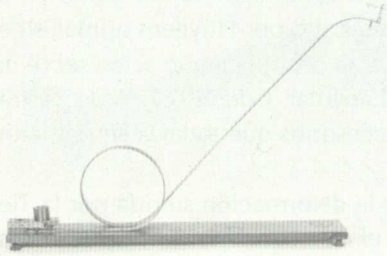


Fig. 280

201. PISTA PARA FUERZA CENTRÍFUGA CON CARRITO

Nº inv.: 95/31/328
1890-1910
16,1x89,9x64,7 cm
Madera, acero, latón
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

Una de las demostraciones más populares de los efectos de la fuerza centrífuga es la que representa este instrumento, también conocido como "looping". Cuando soltamos el carrito desde el extremo más elevado del bucle metálico, la energía potencial que posee inicialmente debido a la altura se transforma en cinética, de modo que el carrito adquiere una velocidad tal que recorre el bucle sin caerse en el punto en que se encuentra boca abajo. Esto es debido a que en ese punto experimenta una fuerza centrífuga que supera a la de la gravedad. Si se sitúan sobre el carrito los discos de latón, la fuerza centrífuga será mayor, y se observará que estos tampoco se caen.

Fig. 281

202. PÉNDULO DE FOUCAULT

Nº inv.: 95/31/486
1860-1880
16,2x23x29,5 cm
Madera, tela, latón, acero

Este instrumento fue diseñado por Foucault para demostrar la rotación de la Tierra. En 1851, mientras realizaba una experiencia, se dio cuenta de que el péndulo que estaba utilizando había girado ligeramente en el sentido de movimiento diurno de la bóveda celeste. Llegó a la conclusión de que, puesto que un péndulo al oscilar cumple siempre la propiedad de mantener constante su plano de oscilación, lo que estaba observando era la consecuencia de la rotación terrestre, que tiene lugar en sentido contrario al observado en el péndulo. De este modo consiguió probar el movimiento de rotación de la Tierra, empleando, en su primera experiencia, una esfera de 5 Kg. pendiendo de un hilo de dos metros de longitud. La rotación completa que Foucault observó tuvo lugar en unas 30 horas, no 24 (como sucedería en el polo norte), debido a que la velocidad de rotación depende de la latitud en que se halle situado el péndulo.

La esfera de este péndulo tiene un peso de 18,1 Kg. Sabemos que la Facultad de Ciencias instaló en el anfiteatro del Conservatorio de Artes (situado en el ahora Ministerio de Agricultura) el segundo péndulo que llegó a España, aunque no podemos asegurar que se trate de éste ejemplar. Se eligió este lugar debido a que era el único que daba la altura necesaria.

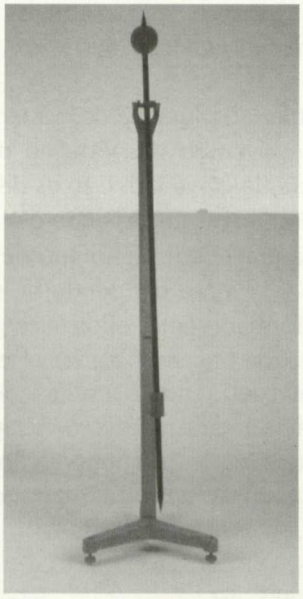


Fig. 282

203. PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER

Nº inv.: 95/31/732
1950-1965
43,6x38x176,5 cm
Acero, metal
«OFFICINE» / «GALILEO» / «B 324"/»Delegación para España» / «Marq. Valdeiglesias. 8» / «MADRID-Tel. 214498»

El péndulo ha sido considerado desde el s. XVII un instrumento muy útil para medir la fuerza de la gravedad, pero cuando se buscaba una precisión elevada se planteaba el problema de la determinación exacta de la longitud de oscilación, valor necesario para realizar tal medición. Este problema fue resuelto a principios del s. XIX gracias al péndulo reversible ideado por Kater, a quien la Royal Society premió en 1817 por sus trabajos.

El instrumento que observamos en la fotografía es un péndulo compuesto reversible, destinado a la medición de la gravedad, así como a mostrar la ley del péndulo simple con fines didácticos. Se halla provisto de dos cuchillas que permiten su inversión y de un sistema cardan para conseguir que las oscilaciones se realicen siempre en el mismo plano. Los contrapesos pueden deslizarse por la barra para distribuir el peso y conseguir que el tiempo de oscilación sea el mismo cuando apoya en cualquiera de las dos cuchillas, momento en el cual la distancia entre ellas nos da la longitud de oscilación, magnitud que junto con el periodo y la amplitud de la oscilación nos permiten determinar la intensidad de la gravedad en cualquier lugar.

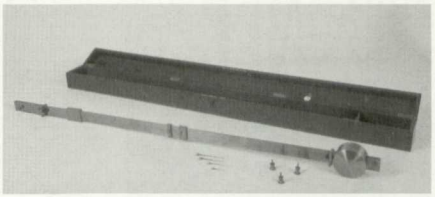


Fig. 283

204. PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER

Nº inv.: 95/31/737
1870-1890
9x7x130,3 cm
Madera, latón, tela, acero

Aquí observamos un segundo modelo de péndulo reversible, pero destinado a realizar medidas de precisión. Se halla provisto de dos cuchillas, que permiten su inversión, y tres contrapesos: uno fijo, otro móvil, y un tercero con tornillo micrométrico para ajustes más precisos. Su funcionamiento es similar al del péndulo anterior: si deslizamos los contrapesos hasta conseguir que oscile en el mismo tiempo cuando apoya en cualquiera de las dos cuchillas, conseguiremos que el eje de oscilación y el de suspensión sean intercambiables y que, por tanto, la distancia entre ellas sea la longitud de oscilación, una de las magnitudes que necesitamos para determinar la gravedad. Las otras magnitudes necesarias son el periodo de oscilación y la amplitud. Esta última puede determinarse con facilidad adaptando en los extremos del péndulo dos de las cuatro agujas que aparecen en la caja y observando en un arco graduado el ángulo que forman sus posiciones extremas. A este instrumento le falta el soporte.

205. APARATO DEL PÉNDULO DE MACH

Nº inv.: 95/31/492
1890-1910
27,5x42,5x50,5 cm
Acero, latón, madera
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID»

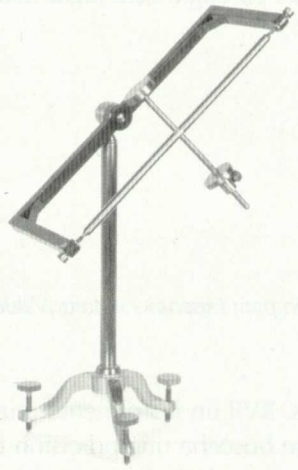


Fig. 284

Este instrumento está diseñado para mostrar la influencia de la fuerza aceleradora sobre las oscilaciones de un péndulo, así como que éste no oscilaría en ausencia de dicha fuerza, es decir, en ausencia de gravedad. Esto es debido a que el momento de la fuerza que hace que un péndulo oscile depende del ángulo formado por la fuerza motriz (la dirección de la gravedad) y el plano de oscilación (definido por la línea que une el eje de giro y la masa del péndulo), siendo este momento menor cuanto mayor es el ángulo formado entre ellos (este ángulo está comprendido entre 0° y 90°). Esto se comprueba haciendo variar el eje de oscilación del péndulo: cuando éste es horizontal, el péndulo oscila normalmente; pero a medida que lo inclinamos las oscilaciones disminuyen, desapareciendo cuando está vertical, debido a que en esta situación la componente horizontal de la gravedad es nula, porque el plano de oscilación es perpendicular a ella.

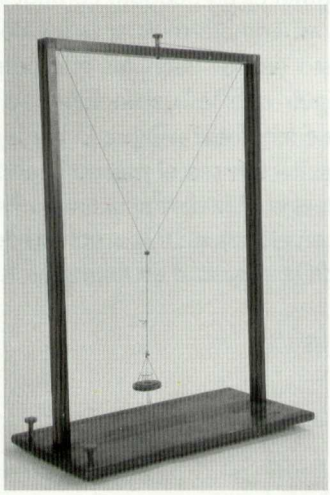


Fig. 285

206. PÉNDULO DOBLE

Nº inv.: 95/31/325
1880-1900
41x84,5x121,3 cm
Madera, cuerda, vidrio, plomo

Este péndulo doble, conocido como péndulo doble de Airy, está diseñado para describir en sus oscilaciones las figuras de Lissajous, las cuales pueden visualizarse gracias a que de su extremo cuelga un embudo con arena que va dibujando la trayectoria. Estas figuras se obtienen debido a

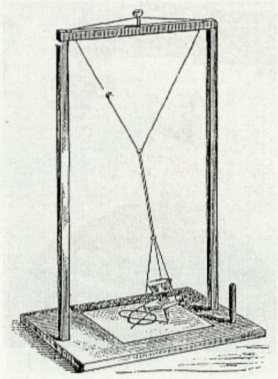


Fig. 286.- Péndulo doble

la combinación de movimientos de los dos péndulos, pues el superior oscila perpendicularmente al plano de la armadura y el inferior lo hace paralelamente. En función de la relación entre las longitudes de ambas porciones de la cuerda, variable gracias al anillo móvil, se podrán obtener unas figuras u otras.

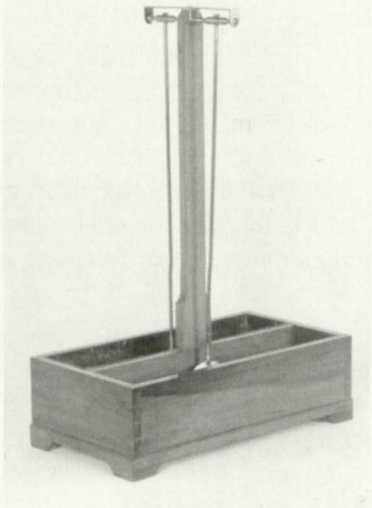


Fig. 287

207. DOBLE PÉNDULO PARA AMORTIGUACIÓN DE OSCILACIONES

Nº inv.: 95/31/331
1850-1880
23x43,6x63,5 cm
Madera, latón, plomo, acero

Esta experiencia, realizada por primera vez por Hooke ante la Royal Society de Londres en 1670 y estudiada algunos años después por Newton en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), está destinada a mostrar la amortiguación de las oscilaciones de un péndulo que se mueve en el seno de fluidos diferentes. Si se llena uno de los compartimentos con agua y el otro se deja vacío, es decir, lleno de aire, puede observarse que la amortiguación de las oscilaciones es proporcional a la resistencia del medio en que se mueve el péndulo y que, por tanto, será mayor en aquél que contiene agua.

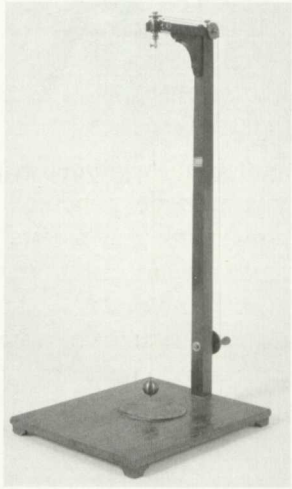


Fig. 288

208. INSTRUMENTO PARA ESTUDIAR ELASTICIDAD POR TORSIÓN

Nº inv.: 95/31/494
1870-1900
53x38,9x96 cm
Madera, nylon, latón, cuerda

Este instrumento está destinado a estudiar la deformación de un hilo por torsión. Los primeros estudios importantes en este campo, fueron realizados en torno a 1777 por Coulomb, quien en 1784 propuso la ley de torsión para hilos metálicos. Para estudiar la deformación del hilo, este instrumento dispone de una aguja en la parte inferior del péndulo que permite medir el ángulo de torsión. Para realizar tal estudio se sujeta la esfera y se hace girar el hilo algunos grados mediante la polea. Al soltar la esfera ésta reacciona girando en sentido contrario, debido a la fuerza elástica del hilo, hasta volver, tras varias oscilaciones, a su posición inicial. La relación entre el ángulo girado y el módulo del momento del par tiene aplicaciones en muchos aparatos de medida, como por ejemplo la balanza de torsión, diseñada por Coulomb a partir de los estudios mencionados anteriormente.

Fig. 289

209. PLANOS DE COHESIÓN

Nº inv.: 95/31/337
1850-1870
9,7x10,7x24,8 cm
Latón, vidrio, acero

Este instrumento se diseñó con el objeto de estudiar las fuerzas de cohesión, cuya explicación fue objeto de numerosos debates desde la segunda mitad

del s. XVII. La experiencia se realiza frotando los dos discos suavemente, a veces interponiendo entre ellos una substancia pastosa, hasta que quedan unidos, de modo que no se separan aunque colguemos de ellos el peso. En el s. XIX este fenómeno se explicaba en base a fuerzas moleculares; hoy en día la causa es atribuida a fuerzas electrostáticas.

Fig. 290

210. MARTILLO DE AGUA

Nº inv.: 95/31/319
1850-1870
Dm.4,8x36 cm
Vidrio, cartón

Este instrumento permite mostrar cómo la cohesión de las moléculas del agua aumenta enormemente cuando se elimina el aire contenido entre ellas. Este efecto fue observado por primera vez por François Donny (Universidad de Ghent). Si se invierte bruscamente, la masa de agua caerá en bloque sobre el fondo sin dividirse en gotas, emitiendo un ruido seco, similar al golpe de un martillo. Esto prueba que la resistencia del aire es la causa de la desigualdad en el tiempo de caída de los cuerpos, pues en el vacío todas las partes del agua caen con igual velocidad.

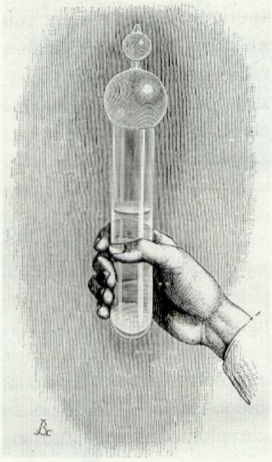


Fig. 291.- Martillo de agua

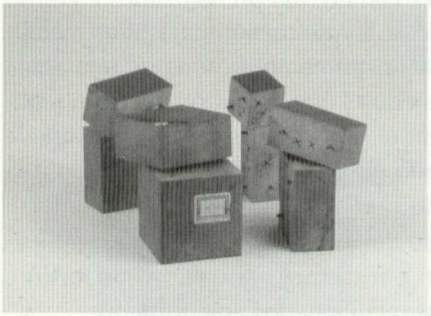


Fig. 292

211. CUBO DESMONTABLE

Nº inv.: 95/31/639
1870-1900
11x11x11cm
Madera

Este cubo desmontable está destinado a la enseñanza de principios de geometría y demostraciones relativas al cálculo de la posición del centro de gravedad. Puede dividirse en siete piezas diferentes: dos cubos de diferente tamaño, tres prismas de base cuadrada y dos de base rectangular.

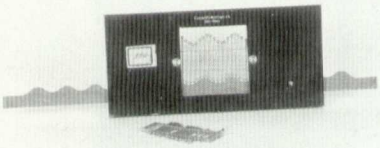


Fig. 293

212. APARATO PARA MOSTRAR LA INTERFERENCIA DE ONDAS

Nº inv.: 95/31/334
1920-1940
2,8x43,3x11,7 cm
Madera, acero, metal
«E. Leybold's Nachfolger A.G.» / «Cöln - Rhein».

Este instrumento permite ilustrar las interferencias de ondas simples y compuestas y proyectarlas en una pantalla para facilitar su visualización. Para ello se desliza la barra de metal por el hueco de la tabla de madera; en esta situación, las varillas se moverán verticalmente siguiendo su forma, simulando el desplazamiento de una onda. Si situamos el marco en un proyector, podremos observar tal movimiento proyectado en la pantalla.

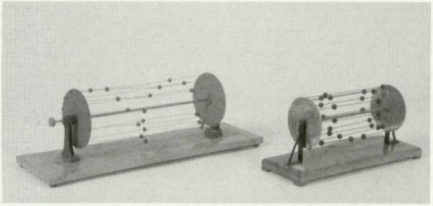


Fig. 294

213. APARATOS PARA LA REPRESENTACIÓN DE ONDAS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/477; 95/31/478
1950-1965; 1930-1960
19,9x69,5x22,5 cm; 15,7x48,2x21,2 cm
Madera, cobre, acero, metal
«OFFICINE» / «GALILEO» / «FIRENZE-MILANO.» / «DELEG. PARA ESPAÑA.» / «MARQ. VALDEIGLESIAS 8.» / «MADRID.» / «Nº 1987» (95/31/477).
«CEDAC» (95/31/478)

Estos instrumentos son modelos mecánicos que permiten mostrar los fenómenos de propagación de las ondas transversales estacionarias, además de ayudar a comprender conceptos como la frecuencia o la longitud de onda. Consta cada uno de ellos de dos discos unidos mediante hilos paralelos, en los que se hallan fijas una serie de esferas equidistantes y ligeramente desplazadas con respecto a las filas contiguas. De este modo, al hacer girar los discos, observaremos la evolución de una onda plana. Cuanto mayor sea la velocidad de giro, mayor será la frecuencia de la onda propagada. Podemos modificar la longitud de onda desplazando las bolas en las barras de modo que el espacio entre ellas sea menor.

Fig. 295.- Firma

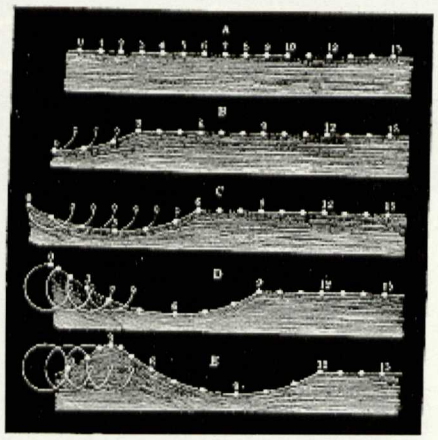
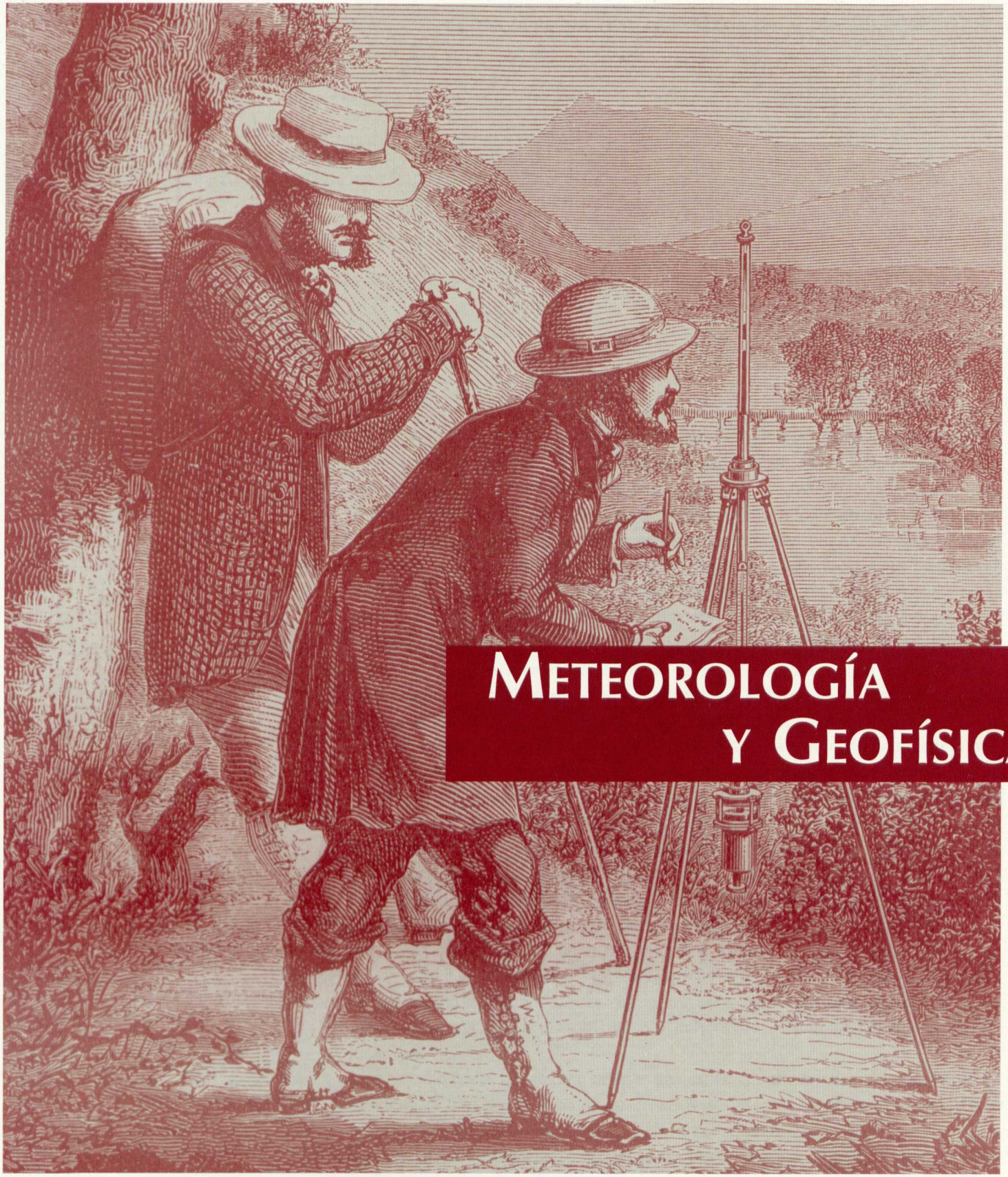


Fig. 296 Representación de ondas



Meteorología y Geofísica

HACIA UNA CIENCIA PREDICTIVA: LA INSTRUMENTACIÓN METEOROLÓGICA DEL S. XIX

Víctor Guijarro Mora

INSTRUMENTACIÓN

Ya en el s. XVIII la meteorología[1] aparece vinculada con los estudios de física experimental, que comprendía, además, los estudios de mecánica elemental, calor, electricidad, magnetismo, luz y aire. La razón de esta asociación era doble: por un lado, los filósofos naturales recogían en los manuales de física los trabajos producidos en épocas precedentes que admitían una confirmación experimental, hecho que facilitaba las demostraciones y el aprendizaje por parte de un público poco familiarizado con las matemáticas. Por otro lado, la meteorología contenía una parte descriptiva, vinculada con la constatación de una amplia variedad de fenómenos atmosféricos, y otra asociada con los resultados procedentes de las investigaciones relacionadas con el calor, el peso del aire, e incluso, con la electricidad (recordemos que hasta mediados del XVIII no se demostró que el rayo producido en las tormentas tenía un carácter eléctrico).

Sin duda, los primeros pasos serios para el asentamiento de una ciencia predictiva de los fenómenos atmosféricos, que tienen una influencia permanente en nuestras vidas, se dieron en el XVII. Es en este siglo cuando se inventa un instrumento crucial[2], el barómetro, que permite detectar mínimas variaciones de la presión atmosférica. El hecho de que contara con una amplia tradición de estudios mecánicos del comportamiento del aire facilitó su comprensión, y el que deviniera un instrumento útil para la investigación científica. Su vinculación con la medición de la presión atmosférica y con la meteorología llegaría en 1647, después de que Descartes dirigiera una carta a Mersenne donde le enviaba una escala graduada para que observara si los cambios de tiempo así como de localización tenían alguna influencia en la altura de la columna, observaciones que debían compararse con las que el propio filósofo francés se encontraba realizando en su localidad.

No sólo fue el primero en asociar una escala al instrumento, sino que también puede considerarse un precedente de las redes de observaciones, fundamentales en el desarrollo de la meteorología. El primer intento importante sin embargo se produce en la Accademia del Cimento, de Florencia, en el año 1654. Aquí se dise-

1 Pueden consultarse para este tema, como obras generales, Fierro, A., *Histoire de la météorologie*, París: Editions Denoël, 1991 y Frisinger, H. H., *The History of Meteorology: to 1800*, Boston: American Meteorological Society, 1983 (1ª ed. 1977).

2 Para una visión general de los instrumentos empleados en meteorología puede consultarse Middleton, W. E., *Invention of the Meteorological Instruments*, Baltimore: The John Hopkins Press, 1969. Para el caso concreto del barómetro, véase, del mismo autor, *The History of the Barometer*, Wiltshire: Baros Books, 1994 (1ª ed. 1964).

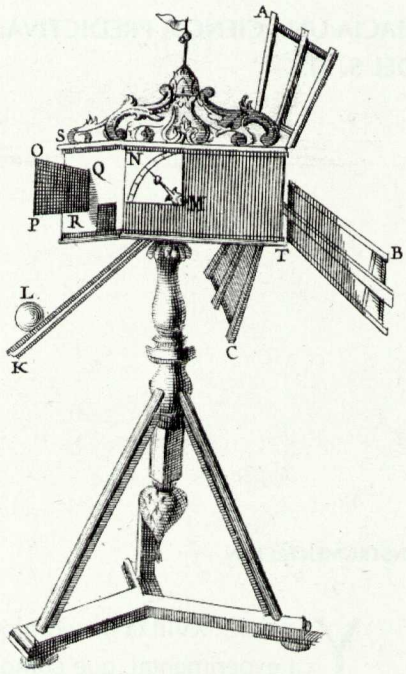


Fig. 297.- Anemómetro

ñaron y fabricaron termómetros[3], divididos en 50 grados (actualmente en el Museo di Storia de la Scienza de Florencia), destinados a diferentes ciudades (Varsovia, París, Insbruck) con el fin de recoger observaciones de la temperatura en distintos puntos. Estos trabajos se prolongarían hasta 1667.

En este período ya estaban los filósofos naturales familiarizados con el uso de otros instrumentos, como el anemómetro (medición de la velocidad del viento), el pluviómetro (medición de las precipitaciones) y el higrómetro (medición de la humedad). Con estos elementos podía emprenderse el estudio y la comprensión de los mecanismos climáticos. Pero para acometer esta tarea era preciso contar con instrumentos adecuados, esto es, duraderos, portátiles, comparables, fiables y precisos. Sin estos requisitos de uniformidad difícilmente podía tener sentido reunir los datos procedentes de diferentes ciudades, problemas que ya se habían puesto de manifiesto a la hora de fabricar los termómetros en la academia florentina.

Precisamente durante el s. XVIII fue cuando los fabricantes y los físicos pusieron un mayor empeño en conseguir instrumentos que cumplieran estas condiciones. Cada uno de estos aparatos fue adquiriendo la consideración de fiable en momentos diferentes. Así, el barómetro, que ya se entendía como un ingenio para la predicción del tiempo y que por ello se había extendido su uso doméstico, comenzó a ser suficientemente preciso a partir de los trabajos de Jean André de Luc (1727-1817) en la década de los 60. Más tarde, Jean N. Fortin (1730-1831) diseñó un tipo de barómetro portátil, denominado barómetro de cisterna, cuyo uso se extendió por todo el s. XIX.

En cuanto a los termómetros, los esfuerzos se centraron en el diseño de una escala derivada de la determinación de principios físicos reproducibles. Se propusieron varias, pero sólo tres sobrevivieron, la de 180°, la de 100° y la de 80° entre el punto de ebullición del agua y el de su congelación, asociadas popularmente

3 Para este instrumento véase Middleton, W. E., *A History of the Thermometer and Its Uses in Meteorology*, Baltimore: The John Hopkins Press, 1966.

Temperaturas medias anuales de España.

Madrid	Segun el Observatorio	14,°17
Salamanca	D. Dionisio Barreda	13,1
Valladolid	D. Demetrio Duro	10,5
Soria	D. Benito Calahorra	9,0
Santiago	D. Antonio Casares	14,4
Oviedo	D. Leon Salmean	12,7
Santander	D. Manuel Herran	11,1
Bilbao	D. Manuel Naveran	14,2
Vergara	D. José Alfageme	12,7
Tudela	Escuela de Agricultura	14,0
Zaragoza	D. Valero Causada	13,4
Barcelona	D. F. Salvá y otros	17,0
Tarragona	D. Francisco J. Bru	15,1
Valencia	Sociedad de Amigos del País	18,4
Málaga	D. José Uriarte	18,1
San Fernando	El Observatorio	19,8
Sevilla	D. Fernando Castro	17,3
Menorca	M. Cleghorn	18,15
Sta. Cruz (Canarias)	Profesor Bandini	21,6

Fig. 298.- Temperaturas medias anuales de España

con los nombres de Fahrenheit, Celsius y Réaumur. No fue fácil llegar a estos resultados, ya que había que tener en cuenta diferentes elementos, que pasaban por la elección de un líquido adecuado y de una propiedad asociada con el calor (en este caso se empleó la dilatación), así como la fabricación de tubos de vidrio uniformes. A estas dificultades habría que añadir la disposición de un líquido adecuadamente purgado. A finales de siglo, los instrumentos fabricados por A. Mossy alcanzaban una sensibilidad de 1/100 de grado Réaumur.

Otro de los instrumentos fundamentales para la disciplina que se examina es el higrómetro. Este aparato, basado, en algunos casos, en la capacidad de absorción de humedad de determinadas sustancias, así como en el cambio de volumen que algunas experimentan, no llegó a convertirse en una herramienta precisa hasta el diseño del higrómetro de cabello por parte del físico suizo Horace Benedict de Saussure (1740-1799). Se trataba de un aparato fiable, comparable y práctico, por lo que su uso se difundió notablemente, a pesar de la oposición de de Luc, al que ya nos hemos encontrado anteriormente, que había propuesto sus modelos basados en el cambio de longitud que con la humedad sufre una tira de barba de ballena. Durante el siguiente siglo se propusieron higrómetros basados en otra propiedad, esta vez el enfriamiento producido cuando se evapora el agua.

Mapas y registros

El conjunto del utillaje al que nos hemos referido constituye el cuerpo fundamental de los aparatos empleados en las mediciones meteorológicas. Pero además era preciso constituir, como ya se ha dicho, redes de observaciones, ya que el tipo de estudio realizado exigía comparar los datos recogidos en grandes extensiones.

Durante el XVIII se emprendieron trabajos en este sentido, uno de ellos fue el emprendido por la Royal Society de Londres, y otro, por la Società Meteorologica di Mannheim. Ninguno de ellos, sin embargo, consiguió constituirse en un sistema suficientemente eficaz. Tendríamos que esperar, por tanto, al siguiente siglo.

En el s. XIX se produce la emancipación de la meteorología. Diferentes hechos contribuyeron a este despegue: el perfeccionamiento de los instrumentos de medida, el nacimiento de la aerostación y el progreso de las teorías sobre el clima y el tiempo. Dentro de la barometría se produce una novedad importante, inventada por Vidie en 1844: el barómetro aneroide, que ya no emplea líquidos como en los casos anteriores, sino que está constituido por un estuche metálico herméticamente cerrado. También se diseñan otro tipo de aparatos, por ejemplo, los termómetros de máxima y mínima (provistos de indicadores empujados por el líquido termométrico), ya diseñados, aunque con un comportamiento insatisfactorio, en el siglo anterior. A esta lista podemos añadir los higrómetros, que ya hemos mencionado, no basados en las propiedades de absorción, sino en los efectos de la condensación. Dentro de este grupo se incluyen los higrómetros de punto de rocío, basados en la idea de medir la temperatura a la que se empieza a producir la condensación sobre una superficie determinada, dato que se compara con la temperatura exterior.

Sería imposible realizar en esta presentación una lista exhaustiva de todos los ingenios ideados en este siglo. Para destacar solamente un grupo, que además representa una novedad en el período que estamos viendo, mencionaremos los instrumentos registradores. Todos los ingenios esenciales para la meteorología contaron con una versión consistente en un tambor movido por un mecanismo de relojería y una aguja que dibujaba sobre el papel graduado, dispuesto sobre el tambor, las variaciones que se producían a lo largo de varias horas. Así comenzaron a ser familiares los barógrafos (en cuyo desarrollo desempeñaron un papel fundamental los barómetros aneroides mencionados), los termógrafos (especialmente los diseñados por Richard Frères en los años 80) y los higrógrafos. Estos además podían presentarse juntos en un solo equipo de medición portátil.

En cuanto a la exploración de la atmósfera, una de las fechas más relevante es el 24 de agosto de 1804. Este fue el día escogido por Gay-Lussac y Biot para realizar una ascensión a bordo de un globo aerostático que alcanzó la altura de 7016 metros. En este viaje estaban provistos de un barómetro, un termómetro y un higrómetro, además de otro tipo de utillaje. Se trata del precedente más directo del estudio de los estratos superiores de la atmósfera y del empleo de los globos sonda a partir de 1920.

Centrándonos en los trabajos teóricos, los más relevantes se remontan a la conexión establecida por Edmond Halley (ca. 1656-1743) en 1688 entre el calentamiento y la formación de los vientos, idea basada en que el aire caliente asciende, por lo que para que se restablezca el equilibrio es necesario que una nueva cantidad de aire fluya hacia esas zonas. El siguiente paso en estas investigaciones fue el dado por G. Hadley, pero esta vez teniendo en cuenta el movimiento de la Tierra. De esta manera se sentarían las bases del análisis dinámico de la atmósfera, que se completará en los años siguientes.

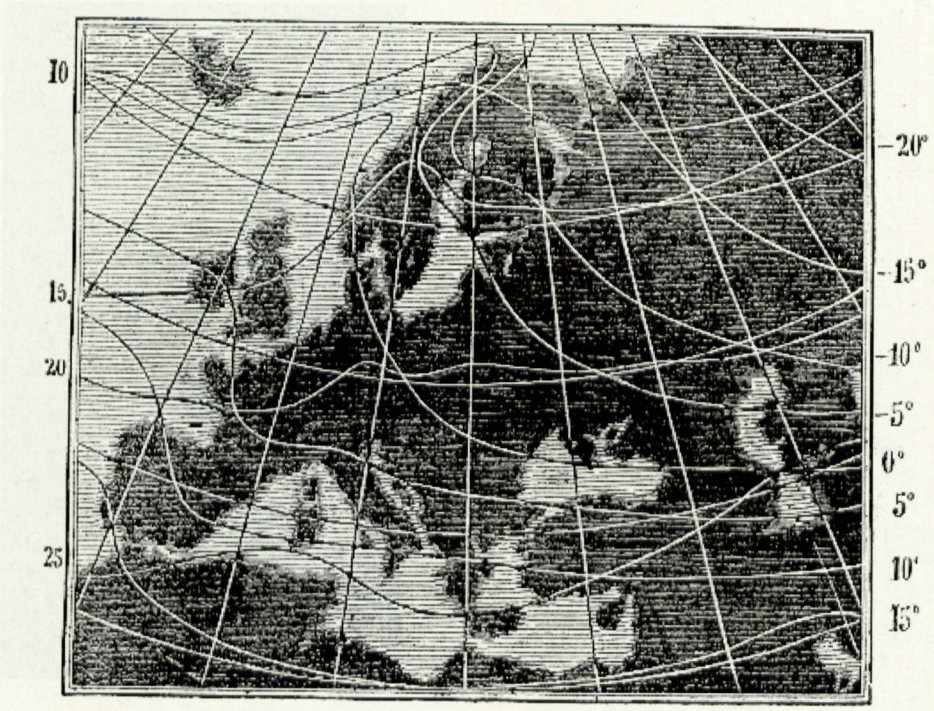


Fig. 299.- Mapa de isotermas

La meteorología exige para convertirse en una verdadera ciencia predictiva, además del perfeccionamiento de los elementos que se han venido enumerando, el tener en cuenta un gran número de factores que se ponen de manifiesto durante amplios espacios de tiempo y en extensas regiones, lo cual obliga a emplear medios especiales para conseguir reunir las observaciones precisas. Uno de estos medios puesto ya en práctica desde el s. XVII, con la exigencia de contar con un utillaje y un lenguaje normalizado, fue la creación de redes internacionales. En este sentido, un paso importante fue la creación de un Servicio meteorológico internacional con centro en el Observatorio de París, cuyo cometido era la centralización de los datos procedentes de diferentes estaciones, entre las que se encontraban Bruselas, Ginebra, Lisboa, Madrid y Roma. En 1857 aparece el primer número del *Bulletin (météorologique) international de l'Observatoire de Paris* publicando a partir de 1864 un mapa de isobaras (líneas de igual presión) de Europa[4].

En un nivel diferente, pero con el mismo propósito, estuvo el aprovechamiento del primer medio de comunicación simultánea a gran escala, el telégrafo, para fines meteorológicos. Para quienes estaban interesados en estas tareas, lo verdaderamente importante no era contar con una memoria de los registros, sino recibir las observaciones en una oficina central en el tiempo en que estaban ocurriendo. Esta posibilidad se convirtió en realidad a partir de 1850.

A continuación veremos una brevísima muestra de piezas asociadas con la sección de meteorología, vinculada a la disciplina de la física experimental de la Facultad de Físicas, junto con otras relacionadas con la geofísica, como el sismógrafo y un clisímetro. Algunos textos, como los de los profesores de la Facultad, V. González Valledor, *Programa de un curso elemental de física y nociones de química* (Madrid. 1857, 5ª ed.) y el de M. Rico y M. Santisteban, *Manual de física y*

4 Para observar la evolución de explicaciones teóricas, puede consultarse Middleton, W. E., *A History of the Theories of Rain*, Nueva York: 1966.

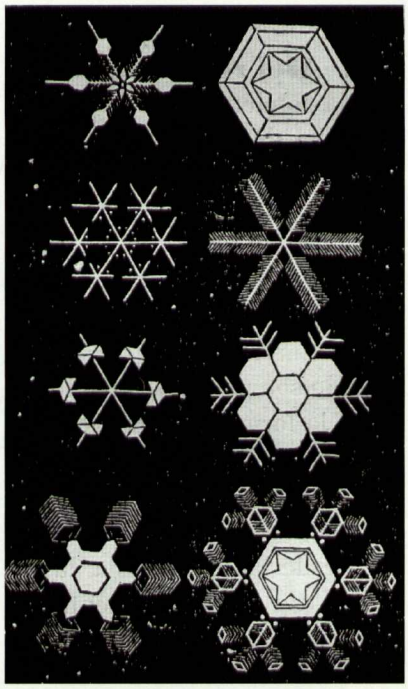


Fig. 300.- Forma de la nieve

química (Madrid, 1865, 5ª ed.) sirven de orientación a la hora de conocer los contenidos de esta disciplina. En ellos puede comprobarse que la meteorología ocupa, solamente en el segundo, un breve apartado donde se trata del calor terrestre, los climas, la irradiación solar, los vientos, la higrometría, la lluvia, la electricidad atmosférica y el arco iris. La instrumentación, por tanto (teniendo en cuenta que de los barómetros ya se ha tratado en otras partes del *Manual*), ocupa un espacio también breve en esta obra, donde se habla de modelos sencillos de pluviómetros y de los higrómetros de absorción y condensación. Indudablemente uno de los factores que determinan la escasa atención a estos saberes en este contexto es el hecho de que no se considere como un cuerpo teórico independiente, sino, siguiendo una tradición de más de cien años, como un apéndice de la física experimental.

METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA

Leonor González de la Lastra

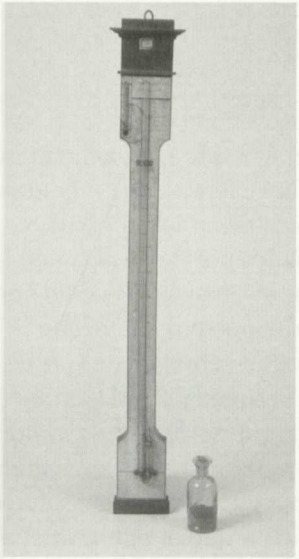


Fig. 301

214. BARÓMETRO DE SIFÓN Y FRASCO CON MERCURIO

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/385; 95/31/840
1820-1840; 1870-1890
15,5x6x103 cm; dm.6,3x15,8 cm
Madera, vidrio, corcho, mercurio

El barómetro de sifón se emplea para detectar variaciones de la presión atmosférica. Este tipo de instrumentos, ideados a mediados del s. XVII, consta de un tubo de vidrio en forma de «U», cuya rama inferior, más corta, está abierta. De este modo el mercurio contenido en su interior recibe las variaciones de la presión atmosférica, indicándolas en la escala. Este modelo, de fabricación francesa, está graduado en pulgadas y la parte superior de la escala, donde se mueve el rango normal de variaciones de presión (entre 25 y 29 pulgadas de mercurio), está dividida en líneas (1pulgada=12 líneas=2,7 cm.), para poder obtener medidas más precisas. Posee además un termómetro comparativo destinado a hacer correcciones, pues los cambios de temperatura producen variaciones volumétricas en el mercurio que pueden afectar a la medida.

Acompaña al instrumento en la fotografía un frasco con mercurio, que podría estar destinado a algún barómetro, bien para reponer el que se fuera perdiendo con el tiempo, para facilitar su transporte, o para conservarlo cuando no se estuviera usando el instrumento. No obstante, esta no es la única aplicación del mercurio, pues se emplea en numerosas experiencias de la física, como por ejemplo en mecánica de fluidos o electricidad, por lo cual en todo gabinete era necesario un frasco hermético con mercurio.

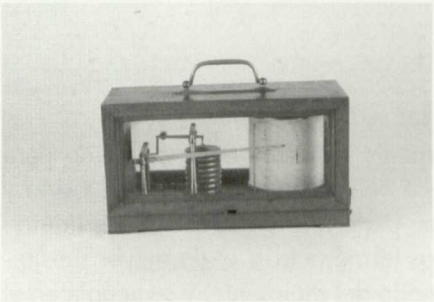


Fig. 302

215. BARÓMETRO REGISTRADOR O BARÓGRAFO

Nº inv.: 95/31/15
1880-1891
29,5x15,6x18,6 cm
Madera, vidrio, acero, papel, metal, latón
«PRINCIPE, 12»; «ARAMBURO».
«BREVETES SGDG» / «RF" / «PARIS» / «16206»

Mediante este tipo de barómetros podemos registrar las variaciones de presión a lo largo de una semana, variaciones que son detectadas gracias a los cambios de volumen que experimentan unos discos metálicos. Consta por tanto de dos partes fundamentales: el mecanismo registrador, constituido por una aguja indicadora y un cilindro que gira accionado por un mecanismo de relojería, y los discos metálicos, que constituyen un barómetro aneroide, sistema ideado por Vidie en 1845. En el interior de estos discos se ha realizado el vacío, razón por la cual son muy sensibles a las variaciones de presión. Dichas variaciones comprimen los discos haciendo que se produzca en ellos un movimiento de descenso; éste se transmite hasta la varilla indicadora, la cual imprime los valores de la presión de forma continua en el papel graduado.

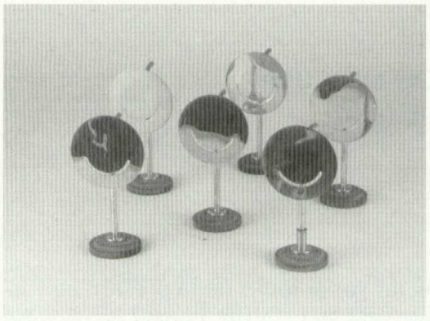


Fig. 303

216. HIGRÓMETROS DE PUNTO DE ROCÍO

Nº inv.: 95/31/610; 95/31/611; 95/31/612; 95/31/613; 95/31/614; 95/31/615
1940-1960
7,5x9,1x17,7 cm
Madera, metal niquelado

La higrometría es la parte de la meteorología que concierne al estudio de la humedad atmosférica. El análisis de dicho valor se funda en la medida de las variaciones del vapor de agua atmosférico que nos ofrecen los higrómetros.

Los higrómetros de punto de rocío, diseñados por John F. Daniell (1790-1845) en 1820, permiten conocer la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Se basan en un método consistente en medir la temperatura a la que la presión del vapor de agua contenido en la atmósfera se convierte en presión de saturación. Para ello se hace descender la temperatura de la superficie del higrómetro, mediante la evaporación de un líquido volátil, hasta que se produzca condensación en ella en forma de pequeñas gotas de rocío. El valor de esta temperatura a una presión dada nos permite, con ayuda de una tabla de presiones de saturación, conocer el resultado. Dicha condensación es debida a que al enfriarse el aire, su punto de saturación (punto en que contiene la mayor cantidad de humedad posible a esa temperatura) disminuye, y el exceso de vapor de agua se condensa en forma de rocío.

Fig. 304

217. HIGRÓMETRO DE REGNAULT

Nº inv.:95/31/784
1850-1870
11x12,2x46,5 cm
Plata, latón, metal, vidrio, corcho, cartón, paño
«Grasselli Optico» / «de S.M. en Madrid».

El higrómetro de Regnault es un instrumento especialmente diseñado para medir el grado de humedad, por lo que consta de sendos recipientes de vidrio y plata. Para llevar a cabo la medida se llena en parte uno de ellos con un líquido fácilmente volátil como el alcohol. Uno de los termómetros, el de mayor sensibilidad, se introduce a través del tapón en el líquido del recipiente, y se acopla en el tubo de vidrio acodado una goma que comunica con una bomba de aspiración.

Gracias a un segundo tubo, también en comunicación con el interior del recipiente, el aire exterior penetra en el alcohol como consecuencia del vacío generado por la bomba. Debido a ello, se produce una rápida evaporación del mismo y un enfriamiento continuo de la plata que recubre la mitad de la cápsula. Este enfriamiento llega a condensar en la superficie de ésta el vapor de agua de la atmósfera. Una vez se ha formado el rocío se toma nota de la temperatura que marca el termómetro del recipiente. Posteriormente se interrumpe la aspiración y se anota la temperatura a la que el vaho desaparece de la superficie de plata. Con estos dos valores se obtiene el punto de rocío.

El segundo recipiente se utiliza como referencia comparativa entre las superficies de plata, permitiéndonos juzgar en modo más exacto cuándo aparece y desaparece el vaho. Con el termómetro que incorpora podemos conocer en todo momento la temperatura del aire exterior.

Este modelo constituye una mejora del primer higrómetro basado en un enfriamiento rápido por evaporación, concebido por Daniell en 1820 y llevada a cabo hacia 1845 por Regnault.

Fig. 305

218. HIGRÓMETRO DE CONDENSACIÓN DE ALLUARD

Nº inv.: 95/31/618
1880-1900
10,6x10,6x26,6 cm
Madera, latón, vidrio, corcho

Este otro modelo de higrómetro de punto de rocío fue diseñado por Émile Alluard (1815-1908) en 1878 y constituye una posterior modificación del concebido por Daniell en 1820. Se basa por tanto en el mismo método que el anterior, aunque es más preciso: si enfriamos su superficie mediante la evaporación progresiva por burbujeo de aire en el seno de un líquido volátil (éter) hasta que se formen en ella pequeñas gotas de rocío, esa temperatura nos indicará, junto con el valor de la presión, la humedad relativa del aire.

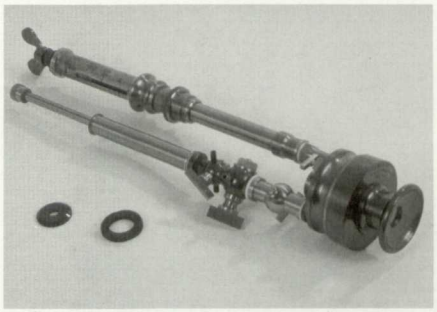


Fig. 306

219. MEDIDOR DE POLVO ATMOSFÉRICO

Nº inv.: 95/31/734
1900-1920
33x18,6x12,6 cm
Madera, metal, vidrio, plástico
«AITKEN'S PORTABLE» / «DUST COUNTER» / «Nº 128.»
«CASELLA» / «LONDON»

Para que el vapor de agua se condense en la atmósfera en forma de nubes es necesaria la presencia de núcleos de condensación (polvo o partículas en suspensión), o en su defecto de algunos iones (átomos o moléculas con carga eléctrica). Este instrumento se emplea para obtener datos acerca de la electricidad atmosférica, permitiendo

Fig. 307

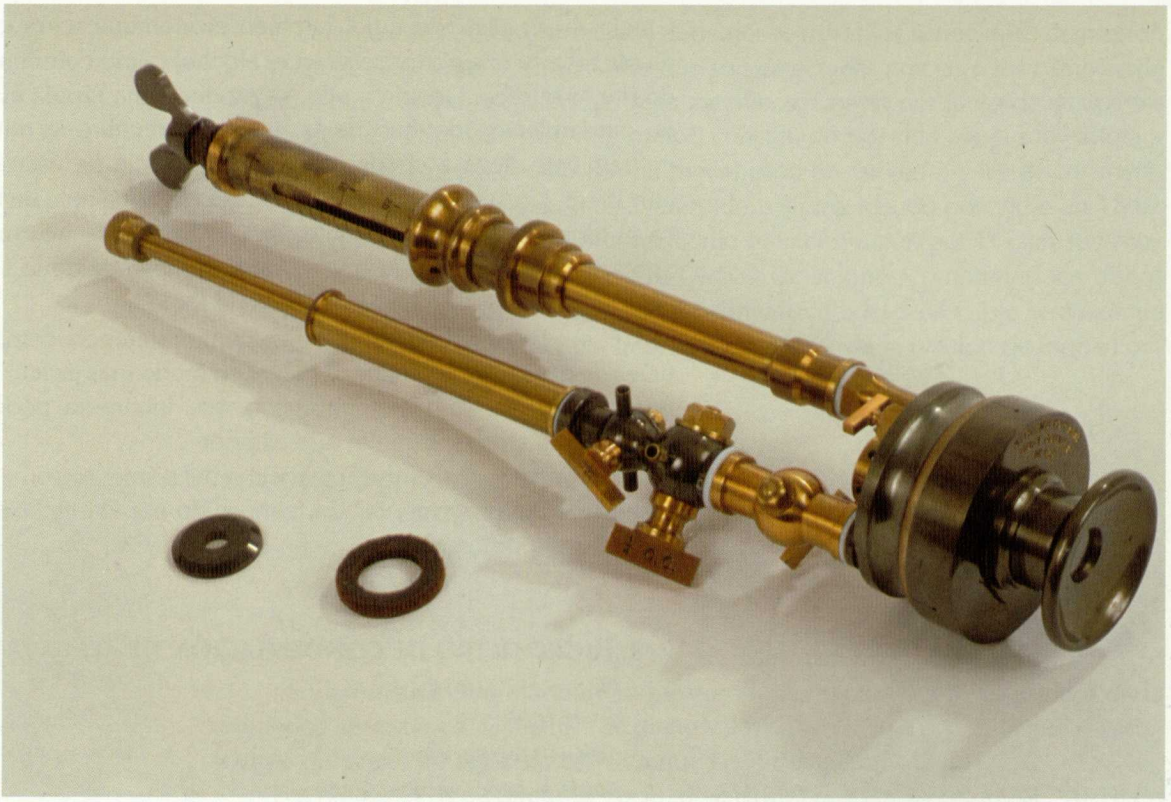


Fig. 306

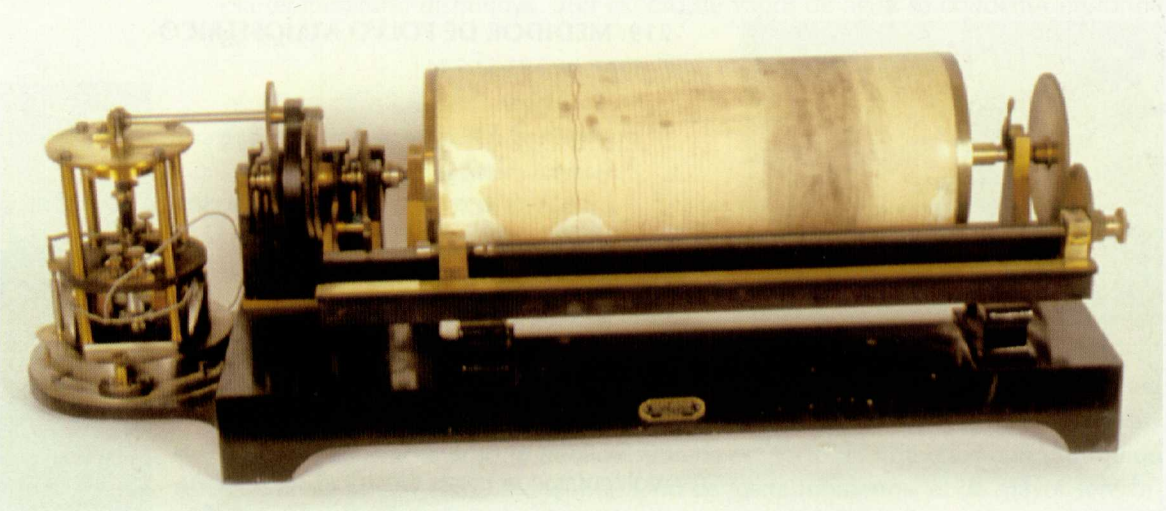


Fig. 308

medir la cantidad de grandes iones que se forman a partir de la unión de otros menores en núcleos o partículas de polvo sin carga. El método en que se basa este instrumento, ideado por Aitken, para observarlos y medirlos es condensar agua en su superficie, y a través de ella determinar la cantidad de iones que han actuado como núcleos de condensación.

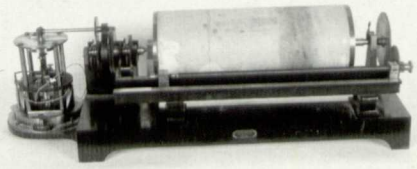


Fig. 308

220. REGISTRADOR SÍSMICO

Nº inv.: 95/31/386
1880-1920
29x80x25 cm
Latón, acero, hierro, papel
«SOCIETE GENEVOISE» / «POUR LA CONSTRUCTION» / «D'INSTRUMENTS DE PHYSIQUE» / «GENEVE»

Este instrumento posiblemente fue utilizado para registrar la amplitud, frecuencia y duración de las ondas sísmicas, vibraciones causadas por los seísmos, así como la actividad volcánica, explosiones y otros fenómenos similares. Los registros pueden obtenerse, bien como respuesta a las vibraciones terrestres mediante la medición de la fuerza lineal, o bien mediante la medición del movimiento de un péndulo desplazado por la vibración. Para ello consta de un electroimán y una bobina, que detectan las vibraciones y mediante un engranaje, las transmiten al registrador.

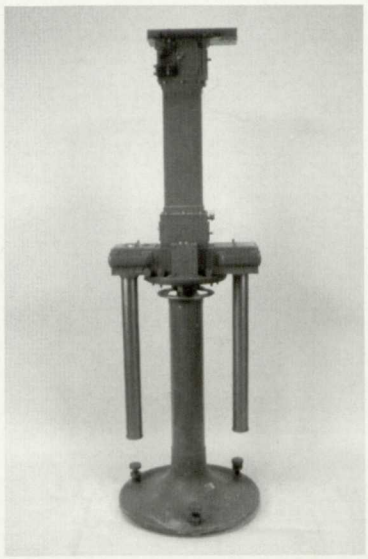


Fig. 309

221. BALANZA DE TORSIÓN

Nº inv.: 95/31/531
1920-1930
Dm. 56x179,5 cm
Metal, acero, vidrio
«ASKANIA WERKE A.G.» / «BAMBERGWERK» / «BERLIN-FRIENDENAU» / «Nr. 63299» /

La principal aplicación de la balanza de torsión es determinar las anomalías que presenta la gravedad en la superficie terrestre, cuya medición exacta ha permitido determinar con precisión la forma de la Tierra. Éstas son debidas a irregularidades locales de la superficie, originadas por la presencia en el subsuelo de masas, bien minerales, bien de densidad diferente a la del terreno que las rodea. Una de las consecuencias de la presencia de estas anomalías es la deformación de las órbitas de los satélites artificiales.

Este instrumento permite conocer dichas irregularidades a través de las perturbaciones que producen en el magnetismo terrestre. Consta de una barra horizontal provista de dos masas iguales en sus extremos, suspendida de un filamento elástico (un hilo de platino-iridio) cuya fuerza de torsión es muy pequeña, para aumentar la sensibilidad ante fuerzas externas. Si se provoca una torsión determinada en el hilo, las oscilaciones de las esferas tardan un determinado tiempo en amortiguarse (puede llegar a ser 1 hora, razón por la que va provista de un reloj). Este tiempo puede verse modificado si alguna anomalía del terreno hace que una de las esferas sea atraída con más intensidad que la otra. Si equilibramos la fuerza

de atracción, midiendo su fuerza comparativa mediante la resistencia del filamento a la torsión, las variaciones registradas nos permitirán conocer estas anomalías. Se halla provista de mecanismos para evitar las influencias de la temperatura o las corrientes de aire y de una cámara fotográfica en la parte superior para registrar la posición de equilibrio a través de los ángulos de torsión.

El Instituto Geográfico adquirió en 1924 una balanza de torsión en los mismos talleres donde se fabricó este ejemplar, aunque desconocemos la relación entre ellas.

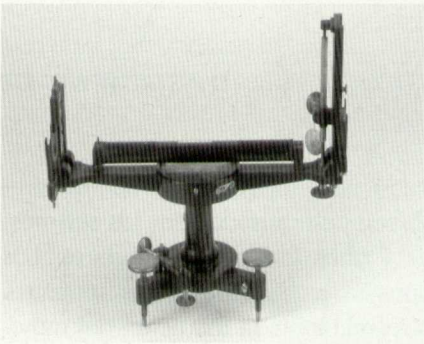
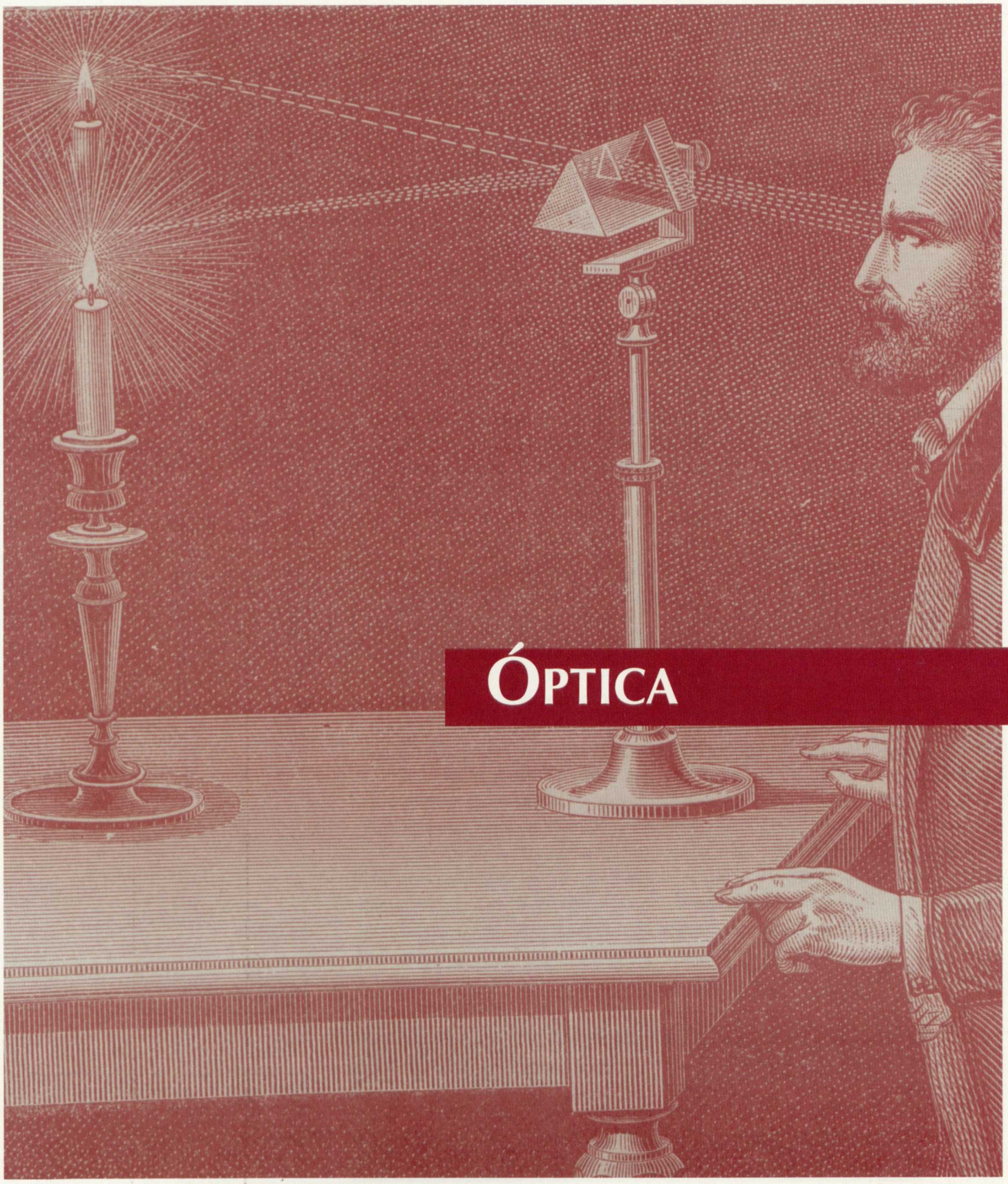


Fig. 310

222. CLISÍMETRO DE PÍNULAS

Nº inv.: 95/31/399
1890-1920
33,5x18,5x27 cm
Metal, vidrio, agua

Los clisímetros son instrumentos que se emplean para medir la pendiente del terreno, de especial utilidad a la hora de darle una inclinación determinada. Tal medida se obtiene a partir de la tangente trigonométrica del ángulo que forma el terreno con la horizontal, que es el dato que nos da este instrumento, gracias a los elementos de que consta: dos pínulas, una de ellas con escala, para medir desviaciones verticales, una brújula con aguja para orientar el instrumento y un nivel, para disponerlo perfectamente horizontal. Probablemente le falte el anteojo.



ÓPTICA

LA INSTRUMENTACIÓN ÓPTICA DEL S. XIX Y EL ACCESO EXPERIMENTAL A LA MATERIA

Víctor Guijarro Mora

La publicación en el año 1704 de la *Óptica,* escrita por Newton, representó la culminación de los trabajos que hasta ese momento se habían desarrollado en relación con el estudio de la propiedades de la luz[1]. Cuestiones como las leyes de la reflexión y la refracción de la luz, y otras también enmarcadas en el campo de la óptica geométrica, como el comportamiento de lentes y espejos, así como sus combinaciones, aparecen recogidas en esta obra a modo de síntesis. Pero además, las siguientes partes de su obra, y en esto reside su originalidad, constituyen un esfuerzo de comprensión de las propiedades físicas que están detrás de los fenómenos luminosos. Cuando el científico inglés interpone un prisma en el haz luminoso que penetra a través del orificio abierto en la pared, su propósito principal es conectar los diferentes índices de refrangibilidad de los colores que componen la luz blanca con su hipótesis corpuscular (cada uno de los corpúsculos que componen la luz tiene un índice de refracción característico). Contábamos pues con un cuerpo teórico que conectaba los resultados experimentales (la famosa comprobación de la descomposición espectral y recomposición de la luz), las matemáticas (los diferentes índices de refracción) y los componentes de la materia.

No se pararon aquí los trabajos recogidos en la *Optica.* Newton también intentó explicar mediante su hipótesis corpuscular una anomalía óptica descubierta en 1669 por Erasmus Bartholin (1625-1698) en los cristales de espato de Islandia, consistente en que cuando se observaba un objeto a través de dos de sus caras opuestas, aparecía doble. Se trataba de una primera constatación de un fenómeno relacionado con la polarización de la luz. En este caso, un rayo se divide en dos, uno, el ordinario, que no sufre desviación en el medio, y el extraordinario, que la sufre.

Fig. 311.- Imágenes dobles de objetos vistos a través de espato de Islandia

[1] Para la evolución de las teorías elaboradas en torno a la luz hasta ese momento puede verse Sabra, A. I., *Theories of Light, from Descartes to Newton,* Cambridge: Cambridge University Press, 1981 (1ª ed. 1967). Para una visión general de la óptica véase Ronchi, V., *Histoire de la lumière,* París, 1956.

El hecho de que estos fenómenos y otros, junto con otras tantas sugerencias, apareciesen en una obra que llevaba la firma de Newton constituía una garantía de amplia difusión, al menos en los contenidos que admitían una representación experimental. Así, prismas, aparatos de los anillos de Newton, refractómetros, lentes y espejos se multiplicaron en las colecciones de los gabinetes universitarios y en colegios. Junto a estas piezas se encuentran las típicas de la instrumentación óptica. Ésta había sido otra de las aportaciones del s. XVII; en su primera década se inventaba el microscopio y el telescopio. El primero, tras un período de entusiasmo y descubrimientos, cayó en una situación de atonía, en la que sólo se produjeron avances en la parte mecánica, no en la óptica (por ejemplo, para la historia natural del XVIII fueron más interesantes los microscopios simples que los compuestos, cuyos sistemas ópticos, debido a la combinación de lentes, incorporaban importantes aberraciones). En cambio, el telescopio conoció diversas mejoras, y después de la incorporación del micrómetro, se convirtió en una pieza fundamental de la astronomía.

El siglo siguiente, el de la Ilustración, no conocería aportaciones fundamentales en el estudio de la luz. Solamente cabe rescatar de este letargo las conquistas en el campo de la instrumentación, especialmente las que se refieren a la posibilidad de desarrollar anteojos acromáticos, debido al descubrimiento, siguiendo un método empírico, de John Dollond (1706-1761), que lo presentó en la comunicación leída en la Royal Society en 1758 (de la que llegó a ser miembro, contrariamente a lo que ocurría en Francia, donde un fabricante difícilmente alcanzaba este tipo de reconocimiento). Otro importante impulso, continuando en el terreno de los instrumentos astronómicos, fue el representado por el desarrollo de los telescopios de reflexión, provistos de un espejo de sección parabólica y ocular intercambiable, además de los soportes altazimutales. Este tipo de piezas fueron realizadas con gran destreza por James Short (1710-1768), gracias a que fue seducido por las matemáticas antes que por la política, en contra de los deseos de su abuela.

Aparte de estas conquistas poco más puede destacarse en este siglo, un período dominado por el corpuscularismo con sólo unas pocas excepciones, entre las que se cuenta la de Euler. Habrá que esperar pues al s. XIX para entrever novedades que tuvieran un inmediato reflejo en el ámbito experimental.

Nuevas teorías, nuevos experimentos

En los primeros 30 años del s. XIX se produjeron descubrimientos fundamentales que permitieron desarrollar los instrumentos ópticos más interesantes de este siglo, terminando así con un período de relativa atonía. Estos instrumentos suponían una verdadera novedad con respecto a los que se habían producido hasta ese momento, ya que permitían un estudio sistemático de las propiedades de la materia, produciendo avances notables en los ámbitos de la química, la cristalografía y la astronomía física.

Young propone en 1801 una teoría ondulatoria de la luz[2] (en contra, por tanto, de la hipótesis de Newton), para explicar los fenómenos de difracción; en Francia

[2] Para este tema véase Buchwald, Jed Z., *The Rise of the Wave Theory of Light. Optical Theory and Experiment in the Early Nineteenth Century.* Chicago y Londres: The University of Chicago Press, 1989.

Étienne-Lous Malus (1775-1812), en torno a 1805, redescubrió que la luz puede polarizarse (hecho que se ponía de manifiesto en el espato de Islandia, al que ya nos referimos), siendo el primero en emplear este término.

En contraste con la oscuridad de la exposición de Young, Fresnel, en los años 20, propone una teoría ondulatoria detallada de la luz, en la que ésta aparece compuesta por ondas transversales. Con ella, aseguraba su autor, podían explicarse los fenómenos conocidos de la óptica. Durante el s. XIX la teoría recibió diferentes confirmaciones, por ejemplo la de que en los medios más densos la velocidad decrece. Los desarrollos teóricos aspiraban a dar cuenta de varios fenómenos cruciales que en esos momentos recibían una atención especial: los de interferencia, los de polarización y los de dispersión (analizados dentro del ámbito de la espectroscopía).

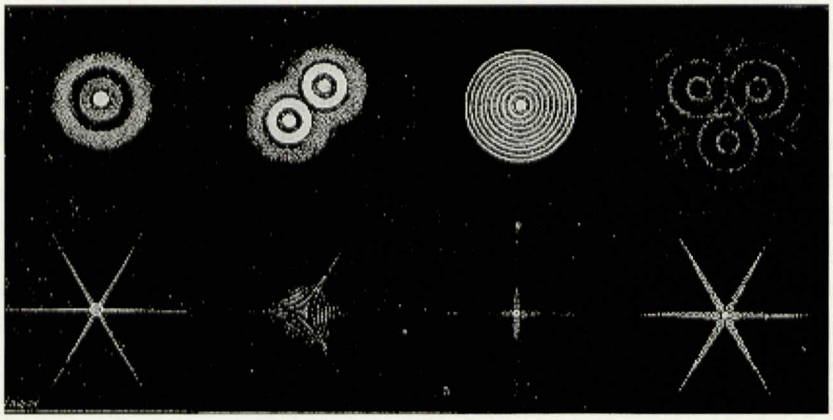


Fig. 312.- Figuras de difracción en los anteojos astronómicos, según J. Herschel

La *interferencia* se produce cuando las ondas de dos o más haces de luz coinciden. Uno de los casos de interferencia más relevantes en este período fue el de la difracción (descubierto por Grimaldi en el XVII), producido cuando el haz pasa a través de ranuras o alrededor de objetos. Para conseguir este efecto los primeros dispositivos empleados consistieron en una retícula de difracción, consistente en un vidrio grabado con finas rendijas. Cuando el haz pasa a través de la rendija, se difracta, y las interferencias generadas producen cintas de luz de distintos colores.

La *polarización*, que en un principio daba la razón a Newton, fue finalmente explicada por la teoría ondulatoria, solamente asumiendo, como hizo Fresnel, que en un haz luminoso ordinario las vibraciones se efectúan perpendicularmente a su dirección de propagación según todos los planos que pasan por ésta (fig. a). Existe una amplia variedad de fenómenos asociados a ella, por ejemplo el caso estudiado por Malus, que es el de la polarización por reflexión. El investigador francés descubrió que la luz podía polarizarse (es decir, vibrar sólo en uno de los planos anteriores) cuando incidía sobre una superficie transparente según un cierto ángulo. En su publicación de 1808 empleó por primera vez el término "polarización", debido a que, según pensaba, las partículas de luz tenían "lados" o "polos", que se alineaban cuando ocurría una reflexión. Como sabemos, este fenómenos puede aprovecharse en fotografía para eliminar reflejos molestos mediante un polarizador adaptado al objetivo de la cámara.

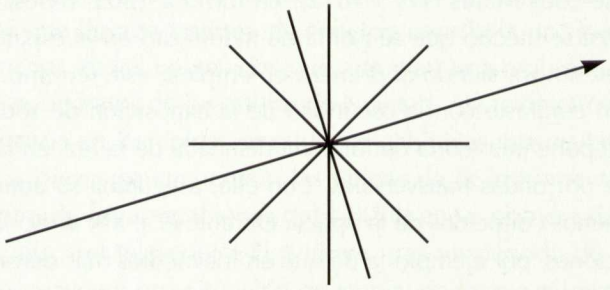


Fig. a. Vibraciones en un haz de luz

Por último, la *dispersión* fue un fenómeno familiar después del experimento de descomposición de la luz de Newton. Esto se produce porque los colores que componen la luz blanca, que tienen diferente índice de refrangibilidad, se separan al atravesar un prisma.

Cada uno de estos descubrimientos, junto con las teorías que les respaldaban, fueron transformados en herramientas útiles para la experimentación científica gracias a los trabajos de Joseph von Fraunhofer (1787-1826), Robert W. Bunsen (1811-1899), Kirchhoff, J. F. Herschel y Anders Jonas Angström (1814-1874), entre otros. Después de sus investigaciones se pudieron desarrollar aparatos que permitían trabajos sistemáticos en centros de investigación, y debido a la existencia de una importante industria de fabricantes de instrumentos en Francia e Inglaterra, se distribuyeron estos instrumentos por todo el Continente, llegando a escuelas y facultades universitarias. Por ejemplo, J. Duboscq fabricaba el llamado doble prisma de Fresnel, empleado en las demostraciones de la interferencia; Jean-Baptiste-François Soleil realizaba microscopios polarizadores empleados en análisis cristalográficos.

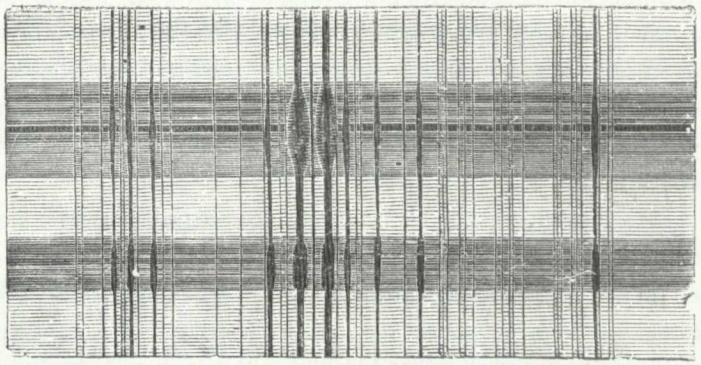


Fig. 313.- Espectro de las manchas solares

En concreto, el descubrimiento de Fraunhofer se fraguó debido a la coincidencia de dos habilidades, la de fabricante de instrumentos (siendo uno de los mejores fabricantes de lentes, pudiendo considerarse además el precedente de la gran industria alemana de instrumentación óptica, dominante en el mundo) y la de teórico. Este personaje observó en los prismas de gran poder dispersivo la aparición en el espectro de multitud de líneas oscuras de separación. En contra de las ideas de Wollaston, Fraunhofer no pensaba que las líneas oscuras representasen

una separación entre colores fundamentales, sino que se correspondían con espectros de emisión de elementos determinados[3]; en concreto la línea oscura que separa el amarillo del naranja se corresponde con las líneas brillantes emitidas por el sodio al ser calentado. Más tarde, J. F. Herschel establecería esta misma relación entre las emisiones de diferentes elementos conocidos y las líneas oscuras que aparecían en el espectro de la luz solar y estelar. Como sabemos, las líneas de absorción que aparecen en el espectro del Sol (precisamente las líneas de Fraunhofer) corresponden a los gases en incandescencia que constituyen la atmósfera solar, que al ser atravesados por la luz del núcleo provocan el fenómeno de absorción.

De esta manera, junto con las aportaciones de Foucault y A. J. Angström (determinación de las longitudes de onda característica de los elementos) nacía la astrofísica, una de las grandes conquistas de la óptica de este siglo. No sólo la astronomía obtendría beneficios de estos trabajos, sino también la química. A través de estos estudios, y añadiendo la fundamental aportación del mechero Bunsen (que permitía un control preciso de la temperatura) fue posible identificar nuevos elementos, como el cesio y el rubidio.

Pero aún faltaba un paso más dentro de este ámbito, el que representaba la posibilidad de adentrarse en la estructura de la materia. Las propiedades de los espectros indicaban que los átomos de los elementos no podían ser las partículas últimas porque contenían varias líneas. Si se tratase de una esfera sólida y simple de materia, vibraría también de una manera simple, por lo que se obtendría de él solamente una línea. No era sin embargo éste el resultado que se obtenía; existían varias líneas que correspondían a diferentes frecuencias, por lo que el átomo debía tener una estructura compleja. Los trabajos que esta idea inspiró nos llevan fuera de la óptica, situándonos a las puertas de la teoría atómica.

En cuanto a la polarización, el primer y mejor medio práctico para obtener luz polarizada es el prisma de Nicol. Este tipo de piezas se obtienen, según la idea del geólogo William Nicol (1768-1851), dividiendo un cristal de calcita (espato de Islandia) a lo largo del plano diagonal; las partes obtenidas se pegan de nuevo con bálsamo de Canadá. En este caso se produce una polarización pero no por reflexión, como habíamos visto antes, sino por refracción: el bálsamo permite que el rayo ordinario pase sin desviarse mientras que el extraordinario se refleja. Teniendo en cuenta esta propiedad, Nicol pensó que se podían obtener resultados importantes si se aplicaban a los estudios de petrología. Y no le faltaba razón, porque disponiendo una muestra de sustancia birrefringente (yeso, mica, cuarzo,..) entre dos prismas de este tipo (uno llamado polarizador y el otro, analizador), en función del espesor y su naturaleza aparecen colores debidos a las interferencias, lo que permite estudiar su composición y estructura cristalina.

A los fenómenos vistos hasta ahora puede añadirse el derivado de la desviación del plano de polarización, de gran utilidad en los estudios de química. Por ejemplo, conociendo que algunas sustancias tienen esta propiedad, si se dispone un líquido que la contenga entre un polarizador y un analizador, entonces podremos saber su concentración en función de la desviación del plano de polarización.

Los campos que hemos mencionado estimularon diversas líneas de estudio que no hicieron sino desarrollarse a lo largo del siglo y que aquí sólo hemos esbo-

[3] Véase John C. D. Brand, *Lines of light: the sources of dispersive spectroscopy, 1800-1930*, Luxemburgo: Gordon and Breach, 1995.

zado. Así, los trabajos de Fraunhofer sobre medición de longitudes de onda empleando retículos (que se conservan en el Deutsches Museum de Munich), y no ya prismas, conocieron una fructífera continuidad durante todo el siglo.

Además de las conquistas a las que nos hemos referido, sin duda otro de los acontecimientos de este siglo, especialmente importante en el ámbito de la instrumentación, es el descubrimiento del acromatismo aplicado a los objetivos de los microscopios. Este hecho fue posible gracias a los trabajos de Joseph J. Lister (1786-1869) que culminaron en la publicación de 1830, donde se exponía el sistema para evitar en las lentes el defecto de la aberración. Así pues, este año debe ser retenido como uno de los momentos decisivos en la historia de la microscopía; a partir de este momento el ritmo de progreso de este tipo de instrumentos se incrementó notablemente. Como Lister era inglés, fue en el suelo anglosajón donde primero se beneficiaron de este invento, convirtiéndose de esta manera Inglaterra en la primera potencia mundial en la fabricación de microscopios en los años centrales del siglo, donde destacaron las firmas de Andrew Ross, Hugh Powell y James Smith[4]. Más adelante, este protagonismo sería desplazado por la extraordinaria pujanza de la industria alemana, heredera por otra parte del legado de Fraunhofer. En este sentido, las firmas más representativas de este campo de la tecnología de precisión fueron Reichert, Zeiss y Leitz.

Así la acromatización de los microscopios hizo posible los siguientes descubrimientos, fundamentales en el desarrollo de la medicina:

1838 Müller descubre el carácter embriónico de los tejidos cancerosos
1848 Leydig describe la división nuclear de las células vivas
1849 Pollender observa los bacilos del antrax en la sangre
1858 Pasteur refuta la teoría de la generación espontánea
1864 Lister comienza a aplicar la antisepsis a la cirugía

Y después de 1878, con el uso de los objetivos de inmersión, fue posible el descubrimiento de microorganismos patogénicos,

1882 Koch: tuberculosis
Friedländer: neumococos
1883 Koch: cólera
Klebs: difteria

Los instrumentos y los programas

Ya nos referimos anteriormente a la necesaria existencia de la figura del fabricante de instrumentos para la producción de herramientas útiles en la experimentación llevada a cabo en los laboratorios. Esto fue posible debido a la interacción entre los físicos y los constructores. Pero no sólo se beneficiaron los particulares y centros de investigación de la existencia de estos mecánicos, sino una vez que estos personajes constituyeron negocios, gracias a su accesibilidad a las materias

[4] G. L'E. Turner, "Hugh Powell, James Smith and Andrew Ross: makers of microscopes", J. North (ed.), *Mid-Nineteenth Century Scientists*, Oxford: Pergamon Press, 1969, 104-138.

primas (el vidrio de buena calidad), también los centros de enseñanza media y superior mostraron su interés en contar con piezas duraderas que permitieran llevar a cabo las demostraciones propuestas en sus programas.

En el siglo que nos encontramos, y centrándonos en el material destinado a escuelas y facultades, fue en Francia donde emergieron las firmas más importantes. Nombres como Soleil y Duboscq, en el apartado de la instrumentación referida a las propiedades de la luz; Lerebours et Secretan, dentro de la telescopía y la instrumentación en general; Nachet y Chevalier, en la microscopía, produjeron piezas demostrativas vinculadas con prácticamente todos los aspectos que hemos mencionado.

Veamos algunos ejemplos de las piezas esenciales que encontramos en todos los gabinetes de los centros educativos y que, siguiendo esta tendencia, también se hallan en la colección de la Facultad de Físicas, como se comprobará a continuación.

Para las experiencias de óptica en general, uno de los elementos fundamentales es contar con una adecuada fuente luminosa. A comienzos del s. XIX la fuente principal, así como la más potente era la luz solar. Seguir el movimiento del Sol mediante un espejo y proyectarlo a través de un tubo provisto de lentes constituían los requisitos básicos para la confección de los correspondientes aparatos. Al principio, la corrección del espejo se realizaba manualmente; sin embargo la invención de los heliostatos permitió suplir este inconveniente fatigoso. Los nuevos instrumentos seguían teniendo un espejo pero ahora se regulaba por medio de un mecanismo de relojería y además contaban con un soporte que teniendo en cuenta los datos de la declinación y la latitud seguían con precisión la trayectoria solar. La alternativa a la luz solar provino de los avances en la química y en la electricidad. Por un lado, comenzó a emplearse el gas, y por el otro, el arco generado entre dos barras de carbón, descubierto por Davy (a cuyo cargo estuvo Faraday en la Royal Institution de Londres) en 1813. Solamente hasta finales de siglo no comenzaron las lámparas con filamento incandescente -por ejemplo, la diseñada por Hermann W. Nernst (1864-1941)- a sustituir en los laboratorios a los aparatos anteriores.

En correspondencia con los desarrollos teóricos y experimentales que ya mencionamos, y ya dentro propiamente de la instrumentación destinada a poner de manifiesto diferentes propiedades de la luz, los instrumentos más innovadores e interesantes son los asociados con la espectroscopía, la difracción y la polarización. En el primer ámbito, como en los otros casos, los primeros ingenios eran rudimentarios, pero poco a poco se estandarizan diferentes modelos que se van produciendo en serie. Este es el caso de los espectroscopios compuestos por tres tubos (el colimador, el anteojo y el portaescala) y uno o varios prismas en el centro, cuyo número aumentaba el poder dispersivo con la finalidad de obtener un espectro más extenso, y por tanto, más fácilmente analizable. Junto a los prismas se produjeron también aparatos que empleaban los retículos de difracción, consistentes en hilos dispuestos paralelamente o bien láminas de vidrio con incisiones. En particular, los realizados por Lewis M. Rutherfurd (1816-1892) en torno a 1870 sobrepasaban en poder dispersivo a los prismas.

El conocimiento del fenómeno de la interferencia permite medir discrepancias o diferencias en el camino óptico del orden de las dimensiones de una longitud de onda (aproximadamente una diezmilésima de milímetro). Basándose en esta propiedad se fabricaron diversos modelos de interferómetros. En este tipo de aparatos un rayo luminoso se subdivide en dos o más haces que recorren caminos diferentes; cuando se reúnen dan lugar a los fenómenos de interferencia. El modelo más famoso, por sus intentos de detección del éter y sus implicaciones en relación con la Teoría de la Relatividad, fue el diseñado a partir de los 80 por Albert A. Michelson (1852-1931) y Edward W. Morley (1838-1923).

También en el caso de la polarización nos encontramos con una amplia variedad de dispositivos experimentales. Entre los más comunes está el polariscopio diseñado por J. Duboscq, que permitía una amplia variedad de comprobaciones, y el sacarímetro de Leon L. Laurent (1840-1909), basado en el poder de determinadas sustancias, ya comentado anteriormente, de girar el plano de polarización de la luz.

Además de estos instrumentos fundamentales, cuyos detalles se explicarán al tratar de los instrumentos individualmente, en los gabinetes existía una amplia variedad de piezas, como los fotómetros, diversos tipos de microscopios y los goniómetros, estos últimos empleados para medir ángulos en las muestras de cristal.

Especialmente interesante por sus virtudes didácticas es el banco de interferencia y difracción, inspirado en las experiencias de Fresnel. Consta de un conjunto de accesorios, lentes, diafragmas, rendijas, y como elementos más interesantes, el biprisma de Fresnel y un micrómetro. Con estas piezas es posible proyectar figuras de difracción sobre una pantalla (las producidas, por ejemplo, por diminutas aberturas), pero también mediante este dispositivo es posible entender los fundamentos de los fenómenos de interferencia, así como repetir los experimentos y las mediciones que conllevan. Esto es posible mediante el llamado biprisma, ideado por el físico francés en torno a 1820, compuesto por dos prismas rectangulares cuyo ángulo obtuso es ligeramente inferior a 180º. El rayo procedente del colimador se refleja de tal manera que forma dos haces, que después de haber

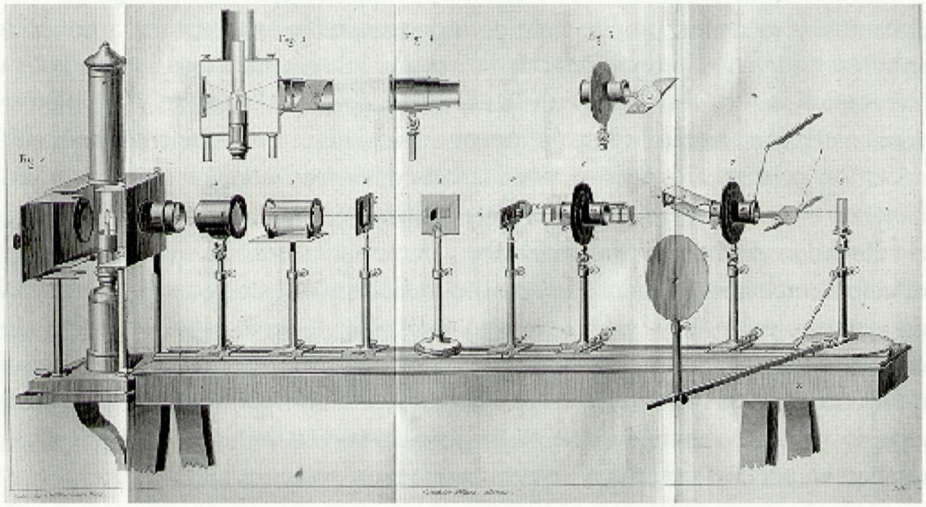


Fig. 314.- Banco óptico

recorrido un corto camino, se superponen interfiriéndose, dando lugar a bandas claras y oscuras. Para medir estas bandas se emplea el micrómetro, provisto de un tornillo con 100 divisiones, correspondiendo cada una a 5/1000 de milímetro.

Así pues, con este tipo de piezas, el carácter demostrativo, impreciso, y a veces espectacular que caracterizó a las demostraciones asociadas con los gabinetes del s. XVIII, va dando paso, al menos dentro del contexto francés, a una física más precisa, asentada en la comprobación de los resultados numéricos derivados de una hipótesis determinada. Las siguientes palabras de A. Libes, autor de la obra que se adoptó como texto[5] cuando la Universidad de Alcalá se estableció en Madrid durante el Trienio Liberal, ilustran lo que venimos contando: «Nollet contribuyó mucho a desterrar de las escuelas la física sistemática para sustituirle la experimental. Este servicio hecho a la ciencia tendría sin duda mas valor, si su estimable autor hubiese sabido evitar el peligro del entusiasmo, tan dañoso y común en la época de los nuevos descubrimientos, si hubiese sabido dejar de despreciar el socorro de la geometría, dar a sus lecciones una marcha menos pueril y rápida, preguntar a la naturaleza con mayor destreza, o al menos interpretar su idioma, cuando sus respuestas arrancadas por una indiscreta importunidad, eran equívocas u obscuras. Nollet de este modo habría imprimido a sus lecciones un carácter de vigor y solidez, que las habría librado del estrago del tiempo; y bajo el pérfido nombre de *física experimental*, la física no habría sido el juguete de la infancia, ni el instrumento del charlatanismo». Más adelante, sigue diciendo, «Lejos de nosotros esta falsa metafísica [la de Nollet]. La precisión, y el método deben caracterizar toda obra destinada a ilustrar la entrada de alguna ciencia».

En general, podemos afirmar que después del relativo letargo del s. XVIII, el que nos ocupa conoció un extraordinario desarrollo en el ámbito de la óptica. Esta sección de los gabinetes junto con las piezas que conforman el apartado dedicado a la electricidad y al electromagnetismo, se nutren de la instrumentación más novedosa dentro del conjunto de material demostrativo. Obviamente esta peculiaridad está en consonancia con el gran impulso que ambas disciplinas experimentaron durante este siglo. Si analizamos las colecciones del siglo anterior, no descubriremos sino una continuidad con lo ya existente en períodos anteriores. Este no es el caso del s. XIX. Así pues, un examen atento de estos instrumentos nos pone en contacto directo con los dispositivos experimentales ideados dentro de los episodios cruciales de la ciencia de la óptica.

Centrándonos en la colección que se llegó a reunir en la Facultad de Físicas, basada en los manuales que para esta disciplina se confeccionaban, ésta contiene prácticamente todas las piezas que para las demostraciones y ejercicios asociados con la sección de óptica estaba previsto[6]. Uno de estos manuales, donde podemos seguir las prácticas concretas propuestas, fue el de V. González Valledor y J. Chávarri (profesores de la Universidad Central), *Curso elemental de física y nociones de química* (Madrid, 1854). Debido a que su contenido está influido básicamente por los textos franceses, las novedades producidas en el país galo contaban con un medio de entrada en España, novedades que venían siempre acompañadas del correspondiente despliegue instrumental.

[5] A. Libes, *Tratado de física completo y elemental*. Barcelona, 1821 (1ª ed. 1818).

[6] Se pueden establecer comparaciones con otra colección similar publicada en la obra de Brenni, P., *Fondazione Scienza e Tecnica. Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano. Ottica*, Florencia: Giunti, 1995.

Si tenemos en cuenta, como afirma J. Vernet[7], que por término medio, España comienza a incorporarse al movimiento científico del resto de Europa entre 1850 y 1880, esta parte de la colección constituye una de las muestras de ese esfuerzo por importar saberes y utillaje que sirviera para poner al día nuestras anquilosadas instituciones.

[7] J. Vernet, *Historia de la ciencia española*, Madrid: Instituto de España, 1975.

ÓPTICA

Leonor González de la Lastra

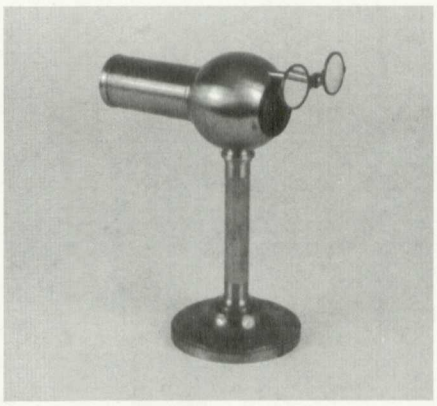


Fig. 315

223. OJO ARTIFICIAL

Nº inv.: 95/31/3
1860-1880
12,1x21,8x27,5 cm
Latón, vidrio, metal

Mediante este modelo simplificado del ojo humano, empleado desde el s. XVIII, se pueden ilustrar los tres estados de la vista: visión normal, miopía e hipermetropía, así como corregir por medio de lentes los dos defectos mencionados. Fue ideado en el s. XVIII por J. A. Nollet y mejorado poco después por Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810). Para realizar dicha demostración se desplaza el tubo de vidrio hasta enfocar un objeto de modo que lo observemos nítidamente. Si se varía posteriormente esta distancia, podremos reproducir los defectos de la visión: miopía, si alejamos el tubo haciendo que la luz converja en un punto anterior, e hipermetropía, si lo acercamos haciendo que converja en un punto más lejano. Ambos defectos pueden corregirse situando delante del tubo la lente cóncava, en el primer caso y la convexa, en el segundo.

Fig. 316

224. MODELO ANATÓMICO DE OJO

Nº inv.: 95/31/45
1862
17,3x30,2x19,3 cm
cartón piedra, papel, vidrio, latón
«Auzoux Doctus» / «fecit anno 1862»

Modelo didáctico de ojo hecho en cartón piedra, diseñado para servir de ayuda en el aprendizaje de la anatomía de este órgano. Era presentado en los catálogos de la época como el más perfecto y preciso jamás construido. Representa la cavidad orbital seccionada por el seno frontal de la nariz, mostrando el globo ocular con sus

Fig. 317

nervios, músculos y venas. El globo puede abrirse por la esclerótica dejando ver el iris (azul) y la coroides (negra), que puede retirarse a su vez para mostrar la córnea y el cristalino. Los nombres de las diferentes partes están indicados mediante pequeñas etiquetas con palabras y números y están representadas con los colores naturales.

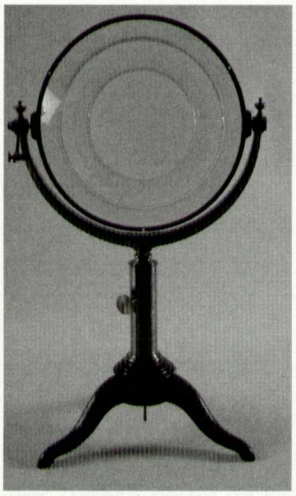


Fig. 318

225. LENTE DE FRESNEL

Nº inv.: 95/31/1
1850-1870
52,4x39,4x87,4 cm
Madera, latón, vidrio, acero

Este tipo de lentes se idearon a principios del s. XIX con el objeto de conseguir una gran abertura, y con ello gran concentración de luz o calor, evitando los problemas que presentaban las lentes de gran grosor: las aberraciones esféricas y la absorción de mucha luz. Ello es debido a que al estar constituida por una lente central planoconvexa y una serie de lentes escalonadas, no concéntricas y también planoconvexas, permite que todos los rayos procedentes de un mismo foco (la fuente luminosa), incluso los más alejados del eje principal de la lente, salgan paralelos.

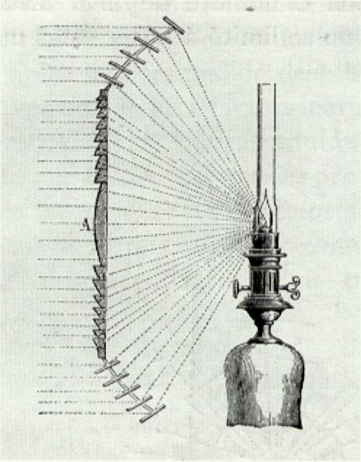


Fig. 319.- Lente de Fresnel

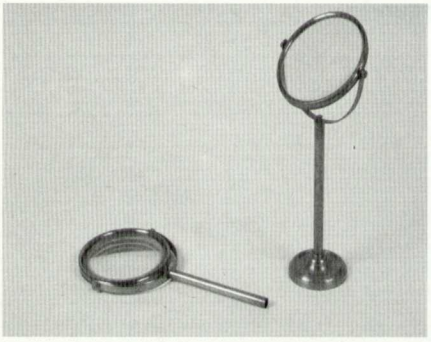


Fig. 320

226. LENTE BICÓNCAVA Y LENTE BICONVEXA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/6; 95/31/8
1850-1880
21,8x2,2x40,8 cm; 20,5x11,6x45,8 cm
Vidrio, latón, plomo

Las lentes eran instrumentos utilizados habitualmente en los gabinetes del s. XVIII y XIX para mostrar sus propiedades ópticas. Las lentes bicóncavas pertenecen al grupo de las lentes divergentes, que se caracterizan por ser más gruesas en la parte externa que en la central. Tienen la propiedad de alejar de su eje los rayos que las atraviesan, por lo cual la imagen que producen es más pequeña y más próxima. Las biconvexas por el contrario son lentes convergentes, se caracterizan por tanto por ser más gruesas en la parte central. Dicha forma les confiere la propiedad de ampliar las imágenes de los objetos situados dentro de su distancia focal, razón por la cual se empleaban en los gabinetes como accesorios en experimentos en los que era necesario conseguir concentración de haces luminosos.

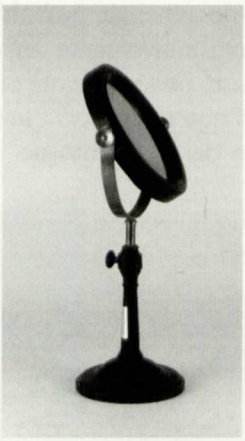


Fig. 321

227. ESPEJO PLANO

Nº inv.: 95/31/12
1850-1880
30x16,6x52,5 cm
Madera, latón, vidrio

Los espejos son vidrios provistos de una capa de azogue (mercurio), que permite conseguir una superficie especular que refleja los rayos de luz. Se empleaban en los gabinetes para mostrar las diferentes imágenes que se podían obtener con ellos dependiendo de su forma (plana, convexa, cóncava, cilíndrica, etc.). Este espejo, al ser plano, no deforma el objeto, sino que permite obtener una imagen de él a tamaño natural, con las mismas proporciones entre sus partes y simétrica.

Fig. 322

228. ESPEJOS DE ÁNGULO VARIABLE

Nº inv.: 95/31/435
1850-1870
36,2x52,4x14,4 cm
Madera, latón, vidrio, acero

Estos espejos se emplean para mostrar la formación de imágenes por reflexión múltiple. Pueden formar entre sí cualquier ángulo comprendido entre 0º y 180º, para observar diferente número de imágenes. Cuanto menor es el ángulo formado entre los espejos mayor es el nº de imágenes que se obtienen del objeto que situemos entre ellos. Para los ángulos de 90, 72, 60, 45, 30 y 20 grados, por ejemplo, se obtienen 4, 5, 6, 8, 12 y 18 imágenes respectivamente.

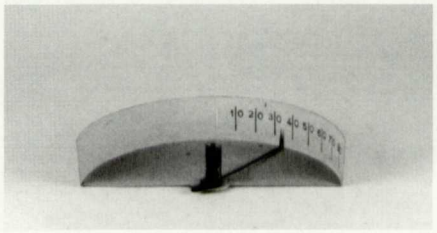


Fig. 323

229. APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFLEXIÓN DE LA LUZ

Nº inv.: 95/31/406
1930-1960
30,5x19x5,7 cm
Estaño, vidrio, metal

Gracias a este instrumento didáctico podemos comprobar experimentalmente las leyes de la reflexión de la luz. Si se hace incidir un rayo de luz por la rendija, o sencillamente se mira a través de ella, se observará reflejado en el espejo uno de los números que aparecen en la parte interior del semicírculo (comprendidos entre 0º y 80º). Este número nos indica el ángulo que forma el rayo reflejado (el que va del espejo al número) con el incidente (el que va de la rendija al espejo), que es precisamente el doble del ángulo que forma cualquiera de ellos con la varilla, que representa a la normal. De este modo se comprueba que en la reflexión el ángulo incidente es igual al reflejado.

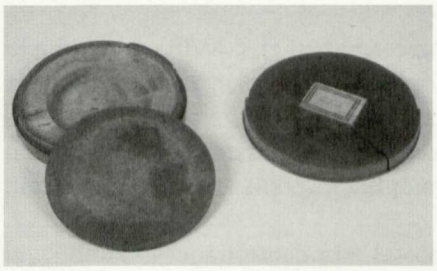


Fig. 324

230. ESPEJO CONVEXO

Nº inv.: 95/31/768
1860-1880
Dm. 8,8x0,7 cm
Madera, metal

Este instrumento, si bien no se ha podido documentar, probablemente sea una lente metálica convexa, empleada como lente convergente en experiencias de óptica. Aunque actualmente la superficie no está perfectamente pulida, es posible que lo estuviera en su origen, pues la caja en que se conserva tiene funciones de protección. Podría ser el espejo de repuesto del heliostato de Henry-Prudence Gambey (1787-1847).

Otras piezas que presentan un número de inventario antiguo cercano a éste están relacionadas con la reflexión y la refracción.

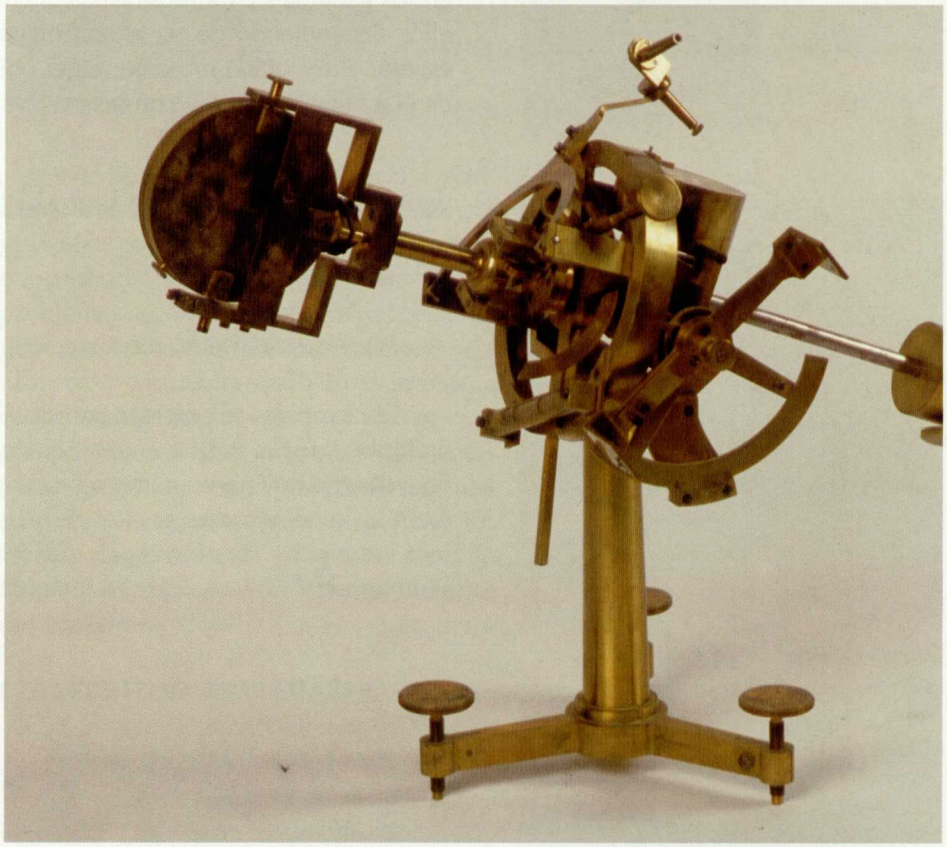


Fig. 325

231. HELIOSTATO DE GAMBEY

Nº inv.: 95/31/13
1825-1845
30x35x61 cm
Latón, acero, vidrio, metal
«LEREBOURS À PARIS»

El primer heliostato fue ideado por 's Gravesande en el s. XVIII con el objeto de aprovechar para sus demostraciones de óptica la luz solar, la cual, hasta la invención de los arcos voltaicos o la luz eléctrica en el s. XIX, era la única fuente de luz constante lo suficientemente potente para experiencias que requiriesen gran intensidad, como la proyección de observaciones microscópicas o la demostración de las propiedades del lentes y prismas.

En este modelo, introducido en 1823 por el fabricante francés Gambey, el espejo se halla adaptado a un mecanismo de relojería que le permite inclinarse y

desplazarse gradualmente siguiendo el movimiento del sol. Para ello es preciso conocer la latitud y declinación del sol, y orientar el instrumento según los valores adecuados de estas magnitudes.

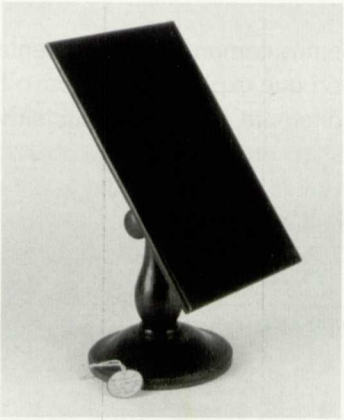


Fig. 326

232. PORTALUZ O HELIOSTATO DE LABORATORIO

Nº inv.: 95/31/61
1850-1870
21,5x18,5x38,7 cm
Madera, vidrio, latón, metal

Como acabamos de ver, los heliostatos son instrumentos destinados a proporcionar luz de forma constante, normalmente gracias a un mecanismo de relojería que permite al espejo seguir el movimiento del sol. En ausencia de este tipo de instrumentos, este espejo puede desempeñar la función de un heliostato permitiendo obtener por reflexión luz solar. Tiene además la ventaja de que, si la orientación con respecto al sol es la adecuada (un ángulo no mayor de 55º), nos proporciona luz polarizada, debido a que los espejos negros polarizan la luz que reflejan.

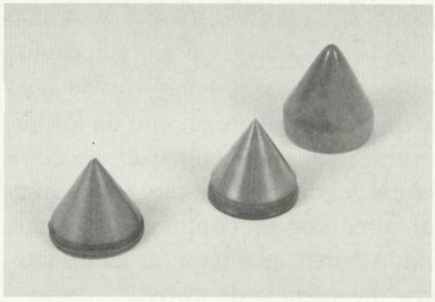


Fig. 327

233. CONOS PARA ANAMORFOSIS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/407; 95/31/769
1860-1880
Dm. 7,3x7 cm; dm. 6,8x7,4 cm
Madera, metal

Este instrumento es un espejo cónico que se emplea para mostrar el fenómeno que tiene lugar en la anamorfosis. Dicho fenómeno, conocido desde el s. XVI, consiste en la reconstrucción, mediante un espejo de la forma y dimensiones apropiadas, de figuras ininteligibles a simple vista que han sido previamente deformadas de acuerdo con proporciones geométricas. Si situamos el cono sobre las láminas en las que aparecen estas figuras, que en este caso no se conservan, éste llevará a cabo la reconstrucción de dichas imágenes. Esto es debido a su forma, que invertirá la transformación geométrica llevada a cabo anteriormente. De este modo, al mirar desde el vértice del cono, el dibujo aparecerá perfectamente claro.

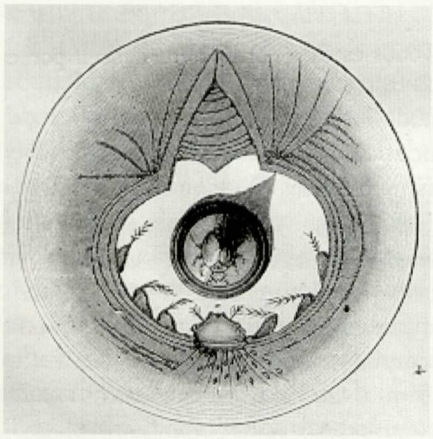


Fig. 328.- Anamorfosis

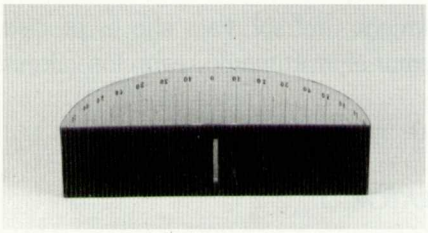


Fig. 329

234. APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFRACCIÓN DE LA LUZ

Nº inv.: 95/31/405
1930-1960
30x15,5x7,5 cm
Estaño, vidrio

Mediante este instrumento didáctico podemos comprobar experimentalmente las leyes de la refracción, es decir, la desviación que experimenta un rayo luminoso al pasar oblicuamente de un medio a otro diferente. Si se llena parcialmente de agua y se hace incidir oblicuamente un rayo de luz por la rendija, se observará que al atravesar el agua se desvía hacia la normal un ángulo que depende del de incidencia y de los índices de refracción de los medios.

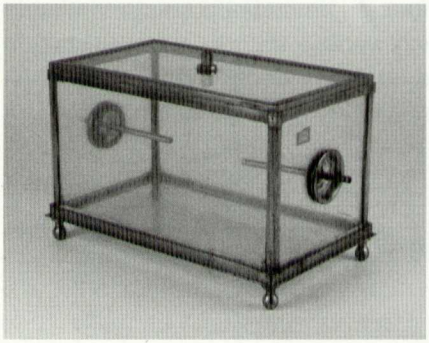


Fig. 330

235. APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA REFRACCIÓN DE LA LUZ

Nº inv.: 95/31/635
1850-1880
50x25,5x30,2 cm
Vidrio, latón, cobre

Este tipo de instrumentos se viene empleando desde el s. XVIII para estudiar las leyes de la refracción mediante el análisis de la trayectoria de un rayo de luz intenso que, aislado en una habitación oscura, atraviesa el recipiente lleno de agua con un líquido fosforescente. Si dicho rayo incide oblicuamente en uno de los círculos laterales, que deberían llevar sendas lentes (cóncava y convexa), se comprueba que al pasar del aire al agua y cambiar de medio el haz sufre una refracción, y una segunda al pasar de nuevo al aire. Por el contrario, si incide perpendicularmente no experimenta desviación. Además, gracias a las lentes laterales, permite mostrar efectos de convergencia y divergencia de rayos.

Fig. 331

236. PRISMA DE ÁNGULO VARIABLE Y POLIPRISMA DE LÍQUIDOS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/404; 95/31/409
1870-1890; 1860-1880
17,6x10,5x28 cm; 23,6x12,2x30,3 cm
Latón, vidrio
«DELEUIL» / «A PARIS» (95/31/404)

Estos dos instrumentos didácticos están destinados a mostrar las propiedades de los prismas (ángulo e índice de refracción), así como los fenómenos relacionados con la refracción y la dispersión de un rayo luminoso al atravesar un prisma líquido. El primero de ellos muestra la influencia en las propiedades del prisma de la variación de su ángulo. Consiste en un recipiente cuyas paredes laterales, formadas por láminas de vidrio, pueden inclinarse, formando con la vertical cualquier ángulo comprendido entre 0º y 40º. Introduciendo agua en el recipiente, el instrumento se convierte en un prisma de ángulo variable que nos permitirá comprobar que la desviación de un rayo de luz que incide sobre el prisma es tanto mayor cuanto mayor es el ángulo de apertura de la cara por la que emerge.

En el segundo caso lo que varia es el índice de refracción. Tenemos para ello un recipiente dividido en compartimentos, destinado a mostrar la diferencia entre los índices de refracción de las diversas substancias que llenan los huecos de dicho recipiente, actuando cada uno de ellos como un prisma. Dicha diferencia se manifiesta cuando observamos a través de él una línea recta horizontal, que aparecerá dividida en rayas situadas a diferente altura, correspondiendo la que ocupe la posición superior al líquido con mayor índice de refracción.

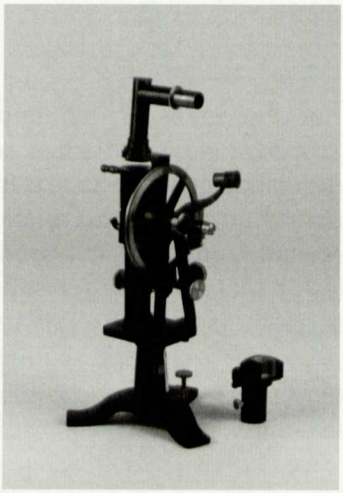


Fig. 332

237. REFRACTÓMETRO DE PULFRICHT

Nº inv.: 95/31/64
1890-1910
25,5x15x29,7 cm
Hierro, vidrio, latón, metal

Los refractómetros comenzaron a utilizarse con gran frecuencia a partir de la segunda mitad del s. XIX tanto en laboratorios como en procesos industriales. Este modelo, descrito en 1888 por el físico Carl Pulfricht (1858-1927), sirve para medir el índice de refracción de los líquidos a diferente temperatura, la cual se consigue mediante una corriente de agua que circula por el tubo que contiene la muestra. Para realizar la medida se introduce el líquido a examinar en el recipiente cilíndrico y, se hace incidir, dirigido hacia la base, un haz de luz monocromática concentrado mediante la lente, el cual sufrirá una refracción bajo el ángulo límite. Observando a través del ocular la cara vertical del prisma, aparecerá dividida en dos sectores, uno iluminado y el otro oscuro. La línea de separación coincide con el ángulo límite del rayo emergente, el cual puede determinarse mediante el ocular. Conociendo el índice de refracción del prisma puede determinarse el del líquido.

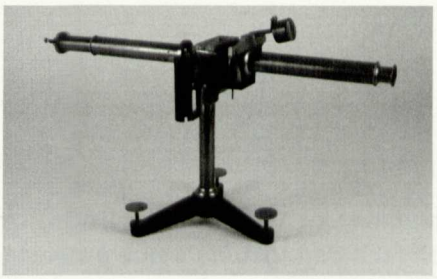


Fig. 333

238. REFRACTÓMETRO DE FÉRY

Nº inv.: 95/31/7
1890-1910
65x30,5x39,5 cm
Hierro, latón, metal, vidrio
«Réfractomètre de Mr. Féry» / «Ph. Pellin» / «Paris» / «Nº 110»

Este instrumento, conocido como refractómetro de Féry, se emplea para medir el índice de refracción de un líquido a partir de la desviación que sufre un haz luminoso al atravesarlo. El índice de refracción del líquido se determina por comparación, esto es, midiendo primero en la escala la desviación que sufre un haz de luz en el agua, siendo conocidos los índices de refracción tanto del agua como del vidrio de la cubeta (que vienen indicados junto a la escala), y comparando este valor con el obtenido cuando en la cubeta introducimos el líquido a estudiar. A la hora de realizar las medidas, ha de tenerse en cuenta la temperatura, pues puede producir

Fig. 334

modificaciones en el índice de refracción. Junto a la escala aparece indicado el valor del índice de refracción del vidrio (1,5114) y del agua (1,3330) a la temperatura de 20º.

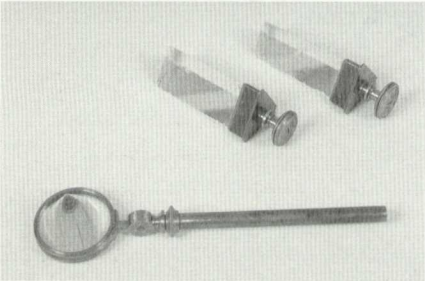


Fig. 335

239. PRISMAS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/776; 95/31/777; 95/31/27
1870-1900; 1840-1860 (95/31/27)
10,8x3,6x3,6 cm; 11,1x3,6x3,6 cm; 5,6x4,9x23,6 cm
Vidrio y latón

El tipo de prisma representado por los dos que vemos a la izquierda en la fotografía fue diseñado por Newton en el s. XVII, y desde entonces se viene utilizando en los gabinetes para mostrar la descomposición de la luz. Para ello se hace pasar por él, en un habitación oscura, un haz de luz blanca y se observa en la pared o en una pantalla el resultado, que será una banda en la que aparecen los colores que componen la luz blanca y que constituyen su espectro: violeta, añil, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo. Este hecho es debido a que cada color, al tener una frecuencia diferente, presenta un índice de refacción característico que hace que se desvíe con un ángulo distinto al atravesar las caras del prisma, resultando que cada uno ocupa una posición.

El otro prisma que observamos en la fotografía es un prisma de forma cónica, utilizado desde el s. XVIII para producir un espectro circular. Si se hace incidir en el vértice del prisma un haz de luz blanca, éste se refractará generando un espectro circular similar a un arco iris.

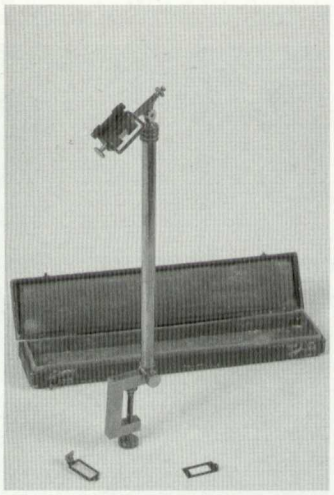


Fig. 336

240. CÁMARA LÚCIDA

Nº inv.: 95/31/42
1850-1870
22x4,9x3,1 cm
Madera, latón, vidrio, papel

La cámara lúcida o cámara clara, patentada por Wollaston en 1806, se emplea para realizar dibujos del natural con facilidad, debido a que proyecta la imagen que vemos en el microscopio sobre el papel donde estamos dibujando, de modo que observamos ambas imágenes simultáneamente.

Este modelo de cámara clara, descrito en 1819 por el científico Giovan Battista Amici (1786-1868), consta esencialmente de un prisma isósceles, una serie de lentes destinadas a mejorar la imagen, y de un tornillo que permite fijarla a la mesa en la posición deseada. Si miramos a través de una de las aristas del prisma de tal forma que ésta corte en dos el campo visual de la pupila, la mitad de esta verá el papel, y la otra mitad recibirá la imagen del modelo por reflexión total en una de las caras del prisma, de modo que ambas nos aparecerán como superpuestas.

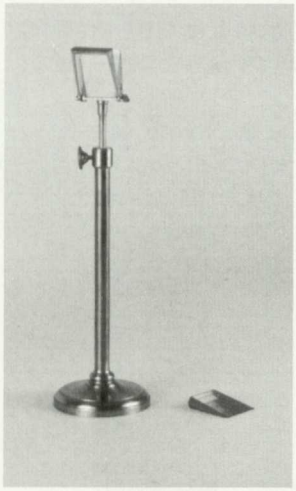


Fig. 337

241. PRISMA ACROMÁTICO

Nº inv.: 95/31/561
1840-1860
Dm. 8,5x31,3 cm
Latón, plomo, vidrio

La aberración cromática consiste en una desigual refracción de los diferentes colores que componen la luz blanca, y se manifiesta en forma de irisaciones. Este instrumento permite comprobar experimentalmente que un prisma puede convertirse en acromático, es decir, capacitado para corregir las aberraciones cromáticas, si le asociamos otro invertido, de diferente material e índice de refracción, dispuesto de forma que anule la aberración (mediante otra opuesta), aunque no la desviación. El prisma central es un *crown* y los laterales son *flint*. Según hagamos pasar un rayo de luz por el prisma central sólo, posponiéndole uno, o anteponiéndole el otro, obtendremos dispersión y desviación de la luz, sólo dispersión, o sólo desviación, quedando en este último caso el prisma acromatizado.

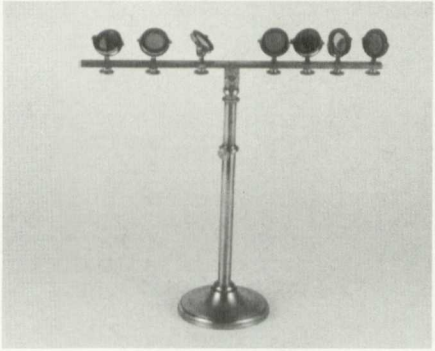


Fig. 338

242. ESPEJOS PARA LA RECOMPOSICIÓN DE LA LUZ BLANCA

Nº inv.: 95/31/402
1870-1890
39,5x13,1x41 cm
Latón, vidrio, metal
«DELEUIL.» / «A PARIS.»

Este instrumento se emplea junto con un prisma en la experiencia de recomposición de la luz, realizada por primera vez por Newton en el s. XVII. Se hace descomponer un rayo de luz blanca en sus siete colores, haciéndolo pasar por un prisma, y después se le da al instrumento y a cada espejo la orientación adecuada para que cada uno recoja uno de los siete haces de diferente índice de refracción. Si se superponen las imágenes recogidas por cada uno de los espejos obtendremos de nuevo luz blanca.

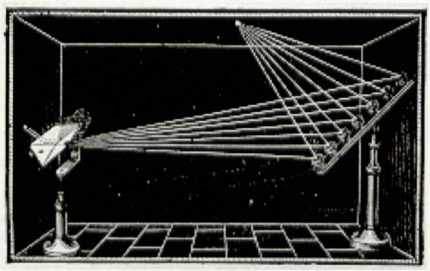


Fig. 339.- Espejos para la recomposición de la luz blanca

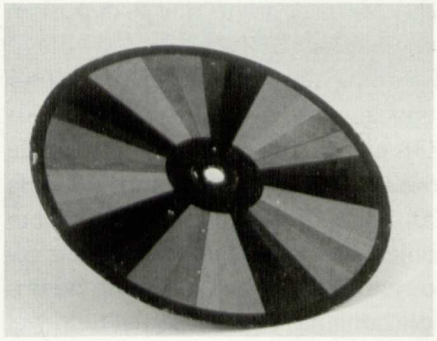


Fig. 340

243. DISCO CROMÁTICO

Nº inv.: 95/31/403
1880-1900
Dm. 31,2x0.2 cm
Metal, papel

Este disco esta dividido en 35 sectores, repitiendo cinco veces los siete colores del arco iris. Se emplea de modo análogo a los llamados discos de Newton para mostrar que la luz blanca está compuesta por siete colores: Si se hace girar la rueda rápidamente, bien adaptada a una máquina de fuerzas centrales, o bien adap-

tándola un mango y haciéndola funcionar como una peonza, se observará el color blanco, debido al fenómeno de recomposición de la luz blanca.

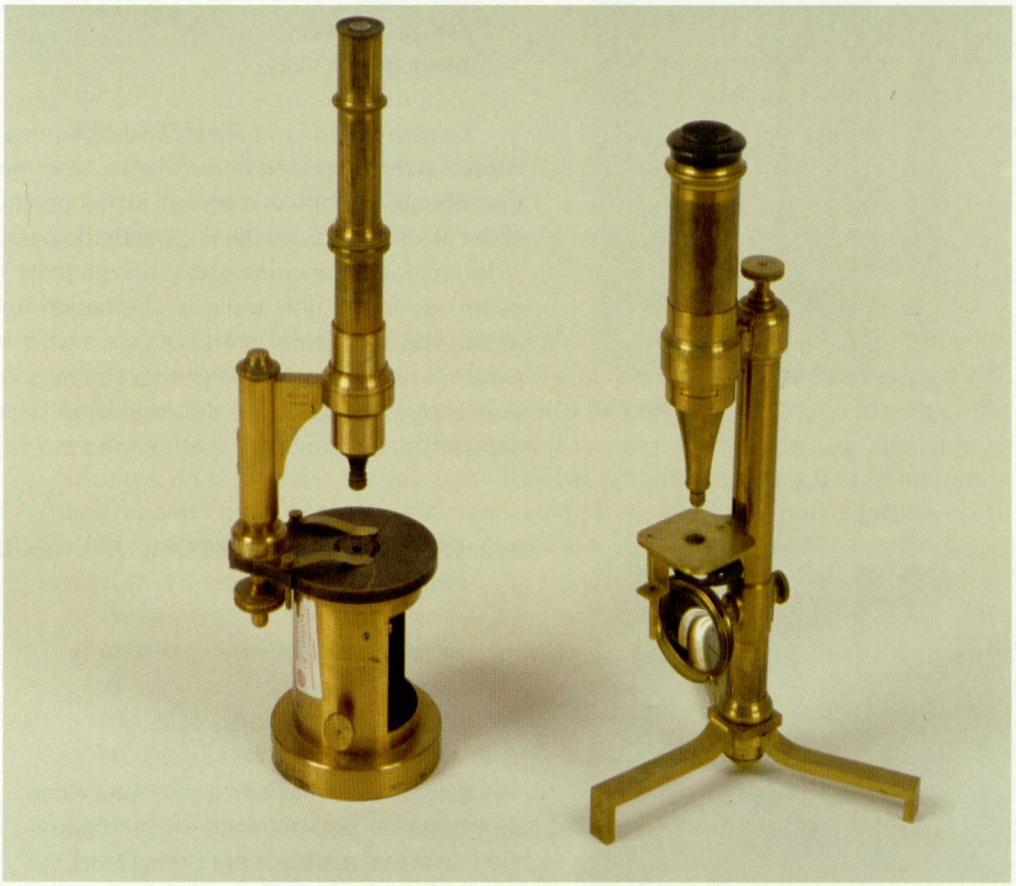


Fig. 341

244. MICROSCOPIOS COMPUESTOS TIPO OBERHAÜSER Y TIPO GOULD

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/9; 95/31/35
1870-1890; 1860-1880
10,9x13x35,6 cm; 21,8x13,7x32,8 cm
Metal, latón, vidrio
«DELEUIL» / «À PARIS» (95/31/9)

El microscopio es un instrumento que se emplea desde el s. XVII para mostrar pequeños detalles, no observables a simple vista, en las muestras que se depositan en el portaobjetos.

El modelo de la izquierda sigue el diseño empleado por Georg Oberhaüser (1798-1868), quien, entre otros ópticos de su época, introdujo en sus microscopios las lentes acromáticas incorporadas desde 1758 en los telescopios. El modelo de la derecha sigue el diseño empleado por Charles Gould, quien trabajó para uno de los discípulos de Jesse Ramsdem (1735-1800), William Cary. Este microscopio consta de: ocular, objetivo acromático, portaobjetos con diafragma (en el que falta la pinza y la lente condensadora), y espejo reflector cóncavo. Dispone de dos mecanismos de enfoque, uno de ellos por desplazamiento del cuerpo del tubo y el otro, más preciso, mediante un tornillo situado en la columna.

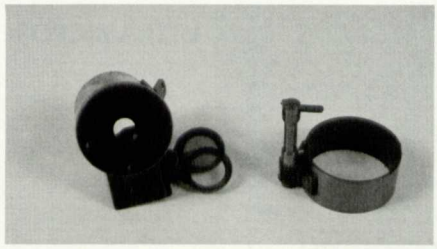


Fig. 342

245. CÁMARAS LÚCIDAS TIPO AMICI Y TIPO SOEMMERRING PARA MICROSCOPIO

Nº inv.: 95/31/856; 95/31/857
1920-1940; 1880-1900
4x4,5x4,5 cm; 3,7x2,9x3,2 cm
Metal, latón, vidrio

En la fotografía observamos dos modelos diferentes de cámara clara, similares a la vista anteriormente aunque destinadas específicamente a ser adaptadas a un microscopio. El primero de los modelos es el descrito en 1819 por el científico Giovan Battista Amici, compuesto por un prisma isósceles acompañado de vidrios de color para mejorar la calidad de la imagen. Se adapta directamente en el ocular del microscopio, y se observa a través del orificio, de tal forma que la arista del prisma corta en dos el campo visual de la pupila; la mitad de ésta verá el papel, y la otra mitad recibirá la imagen del modelo por reflexión total en una de las caras del prisma. El otro modelo corresponde al ideado por el anatomista alemán más famoso de principios del s. XIX: Samuel T. Soemmerring (1755-1830). Funciona también adaptada en el ocular del microscopio, el cual debe situarse en posición horizontal. Consta de un espejo, que falta, y que iría montado en el brazo de acero, formando 45º con el anillo. Al ser el espejo de menor tamaño que la pupila del ojo, permite ver la imagen reflejada por el espejo a la vez que el papel en el que se está dibujando, el cual se ve rodeando al espejo, por la parte periférica de la pupila.

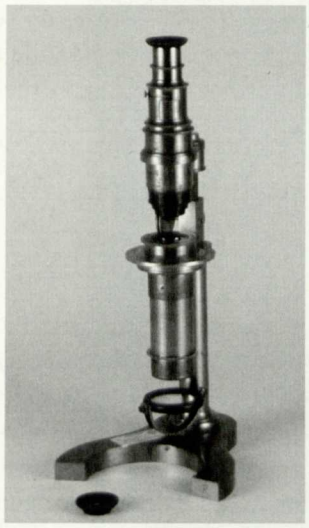


Fig. 343

246. MICROSCOPIO POLARIZADOR

Nº inv.: 95/31/14
1870-1890
16,6x18x43,5 cm
Metal, latón, vidrio
«A. Picart» / «20. Rue Mayet» / «PARIS»

Éste microscopio está destinado a estudiar la actividad óptica de las muestras, por lo cual es de gran utilidad en mineralogía. Para tal fin está provisto de los tres elementos necesarios: una platina giratoria graduada, un polarizador (que transforma la luz natural en luz polarizada), situado antes de que la luz atraviese la muestra, y un analizador (que hace visibles los fenómenos que se producen cuando un objeto es atravesado luz polarizada), situado a continuación de la muestra. Girando la plataforma graduada, en la que se halla el analizador, podemos determinar los grados que la muestra ha desviado el eje de polarización, lo cual ayuda a su identificación y caracterización. Además está provisto de enfoque de cremallera.

Fig. 344

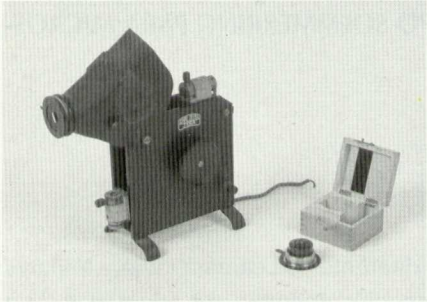


Fig. 345

Fig. 346

247. CONDENSADOR CARDIOIDE Y ARCO VOLTAICO PARA ULTRAMICROSCOPÍA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/755; 95/31/587
1925-1935
8x7,2x4,9 cm; 26,5x9x26,5 cm
Acero, plástico, metal, cerámica, vidrio, cuerda, carbón, madera
«CARL ZEISS» / «JENA»/»KARDIOD-KOND.» (95/31/587)

Los ultramicroscopios están destinados a examinar partículas de materia, por ejemplo bacterias, cuyo tamaño se haya al límite de resolución de la luz visible, llegando a detectar partículas del orden de 5 nm. Mientras que los microscopios normales permiten ver la muestra iluminándola de abajo a arriba y por transparencia, en un ultramicroscopio la luz incide perpendicularmente al eje óptico a través de una rendija, sin alcanzar directamente la lente del objetivo, de modo que los objetos aparecen sin contornos definidos y sobre un fondo oscuro, porque lo que se ve es la luz que difunden.

Los dos instrumentos que observamos en la fotografía, fabricados en una de las casas más importantes de la época en producción de instrumentos de óptica, son una lente condensadora de ultramicroscopio, y una lámpara de arco voltaico con diafragma iris para iluminación en campo oscuro de disoluciones acuosas.

El condensador cardioide, ideado por Henry F. W. Siedentopf (1872-1940) en 1910, supuso un gran avance porque al ampliar la apertura numérica permite mayor poder de resolución. Es un condensador de espejo que posee la ventaja de una corrección cromática perfecta y de gran luminosidad.

La lámpara de arco se emplea como potente fuente de luz para este tipo de microscopios. Para ello se dispone delante del microscopio, de forma que la luz vaya directa al centro del espejo, situada a una distancia tal que no se forme su imagen en él. Inicialmente el diafragma de iris deberá cerrarse hasta la mitad para comprobar la situación del condensador en el microscopio.

Fig. 347

248. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN JEOL

Nº inv.: 95/31/736
1972
103x150x320 cm
Acero, vidrio, metal, plástico, porcelana
«ELECTRON MICROSCOPE» / «TYPE JEM-200A NO. EM13035-72» / «MFG. DATE JAN. 1972» / «JAPAN ELECTRON OPTICS» / «TOKYO LABORATORY CO., LTD. JAPAN»

La microscopía electrónica surge como una necesidad de conseguir un mayor poder de resolución, es decir, de poder distinguir dos partículas separadas por una distancia muy pequeña. Ernst Abbe (1840-1905) demostró en 1873 que este poder de resolución sólo puede conseguirse si la longitud de onda de la luz empleada es inferior al doble de esta distancia. La longitud de onda de la luz visible (500 nm), la empleada por los microscopios ópticos, sólo nos permite por tanto diferenciar dos partículas separadas una distancia superior a 250 nm. Para distancias menores es necesario emplear una luz de menor longitud de onda y se comprobó que esto era posible empleando un haz de electrones, que además podía ser conducido y

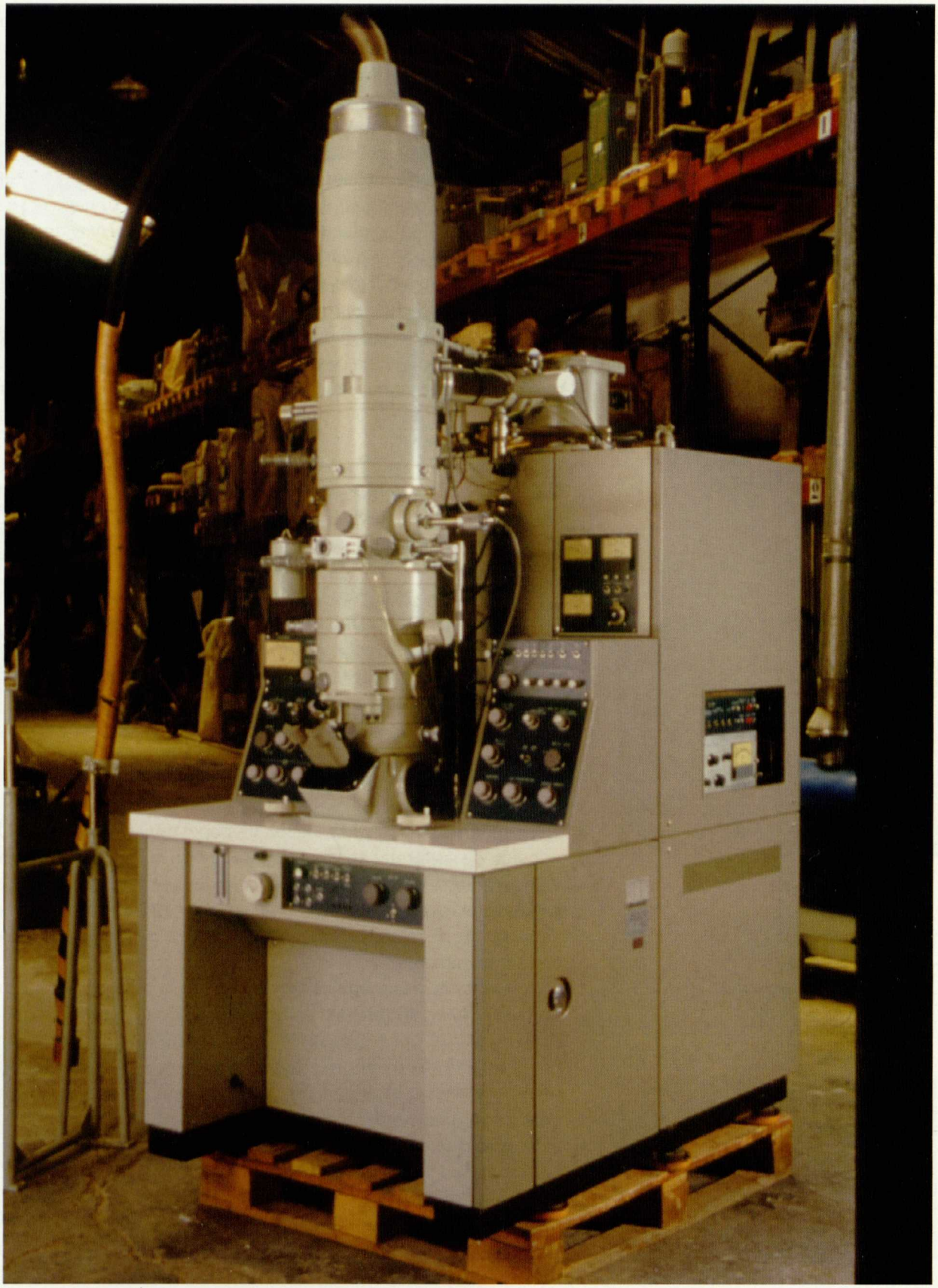


Fig. 347

desviado por campos electromagnéticos y electrostáticos, los cuales desempeñan la misma función que las lentes en los microscopios ópticos.

Hay diferentes tipos de microscopios electrónicos dependiendo el medio empleado para analizar la muestra. Este modelo es un microscopio de transmisión, de mayor resolución que los microscopios de barrido. Este tipo de microscopios se caracterizan por que el haz de electrones acelerados atraviesa la muestra, que ha de ser muy fina, traduciéndose sus diferencias de densidad en diferencias de brillo en la imagen. Consiste en una columna, en la que se hace el vacío para no obstaculizar el paso de los electrones, en cuyo interior, entre un cátodo y dos ánodos, se aceleran electrones a 200 KeV en sentido descendente. Este haz es condensado sobre la muestra mediante dos lentes magnéticas. El haz obtenido tras atravesar la muestra sirve de objeto a una serie de lentes situadas a continuación, de las que depende la resolución, que forman una imagen aumentada de la zona atravesada y la proyectan sobre una pantalla fluorescente. El microscopio electrónico de transmisión se emplea para estudiar cristales, muestras biológicas, o metálicas (cristalinas o amorfas), de las que pueden hacerse fotografías situando placas fotográficas bajo la pantalla.

Este modelo en concreto es uno de los tres que se fabricaron y el único que llego a funcionar, debido a un defecto de fabricación. Se hallaba en el laboratorio de Física de Materiales de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid.

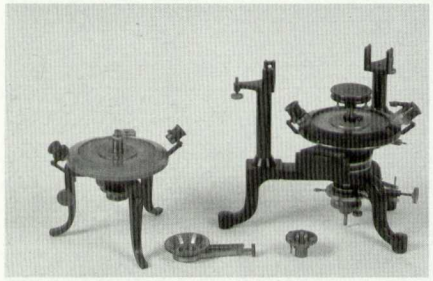


Fig. 348

Fig. 349

249. DOS GONIÓMETROS DE REFLEXIÓN DE WEBSKY

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/65; 95/31/56
1890-1910; 1930-1950
22x19,5x37,5 cm; 30,5x25,3x26,9 cm
Metal, vidrio, latón, plástico, acero
«R. Fuess Berlin.» (95/31/65)
«R. Fuess Berlin - Steglitz» / «51310» (95/31/56)

A principios del s. XIX jugaba un papel muy importante la clasificación y descripción de las formas cristalinas, para lo cual era necesaria la realización de mediciones rigurosas de los ángulos diedros de los cristales. Esta necesidad de técnicas cada vez más precisas llevó a Wollaston en 1809 a idear un goniómetro de reflexión con eje de rotación horizontal, precursor de los instrumentos que observamos en la fotografía.

Se trata de dos modelos fabricados por la misma casa alemana con una diferencia de unos 40 años, a pesar de lo cual siguen ambos fielmente el modelo descrito por el mineralogista alemán Christian Friedrich Martin Websky (1824-86) en 1879. Este modelo constituye un sofisticado goniómetro destinado a investigaciones cristalográficas y ópticas, pues se emplea no sólo para medir los ángulos formados por las diferentes caras de un cristal o los de haces luminosos, sino que además puede ser utilizado como espectrómetro y refractómetro, basándose en las leyes de reflexión de la luz. Consta de una plataforma graduada, sobre cuya platina orientable se deposita la muestra, dotada de micrómetro y dos anteojos: uno de ellos fijo, provisto de un colimador; y el otro móvil, destinado a observar el rayo reflejado con el objeto de medir en la escala el ángulo de reflexión.

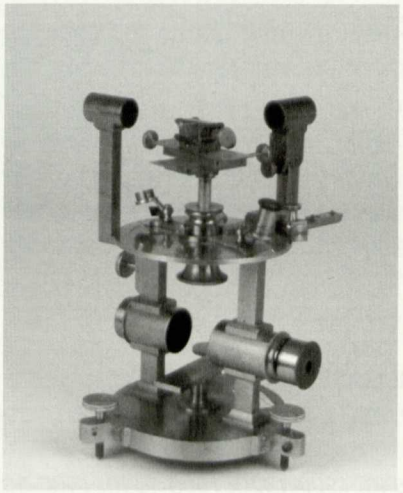


Fig. 350

250. GONIÓMETRO UNIVERSAL

Nº inv.: 95/31/52
1870-1890
29,8x20,4x31,6 cm
Latón, metal
«A. Picart» / «20. Rue Mayet» / «Paris»

Este otro modelo de goniómetro, más antiguo que los anteriores, se emplea en cristalografía para la medida de diversas magnitudes, como por ejemplo ángulos de cristales y de prismas, índices de refracción de cuerpos transparentes, etc. El cristal a estudiar se puede disponer sobre o bajo el círculo dividido, permitiendo esta última posición realizar experiencias variando la temperatura de la muestra mediante un dispositivo que no se conserva. En la parte superior, un mecanismo permite la orientación de la muestra en cualquier posición. Debería ir provisto de dos anteojos con retícula y rendija colimadora, respectivamente, que faltan.

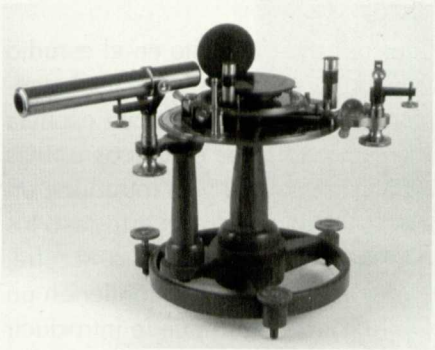


Fig. 351

251. GONIÓMETRO DE DOS CIRCULOS

Nº inv.: 95/31/34
1920-1930
45x41x40 cm
Metal, vidrio
«HANS HEELE» / «BERLIN»

Al igual que los anteriores, este goniómetro está destinado a medir los ángulos formados por haces luminosos o por las caras de un cristal, pero presenta la particularidad de estar destinado a realizar mediciones más rápidas. Fue diseñado en 1893 por Victor Goldschmidt (1853-1933) y Evgraf S. Fedorov (1853-1919), con tal fin, razón por la que se halla provisto de dos círculos graduados provistos de micrómetro y lupa.

Fig. 352

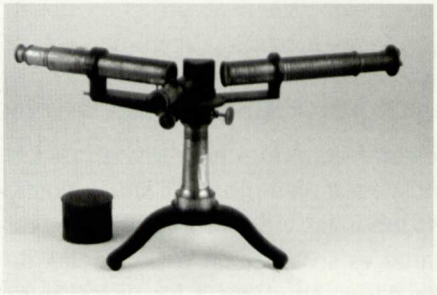


Fig. 353

252. ESPECTROSCOPIO

Nº inv.: 95/31/84
1860-1880
60,8x28x29,5 cm
Latón, vidrio, metal, hierro
«J. Duboscq» / «à Paris» / «nº 61»

El espectroscopio es un instrumento que se emplea para descomponer una luz determinada y observar su espectro, que es característico del elemento o compuesto

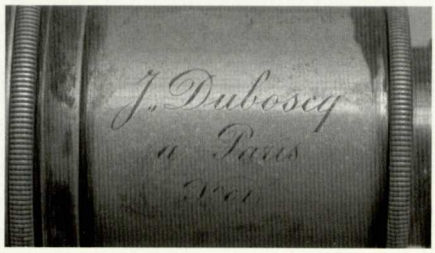


Fig. 354

que la produce. Los primeros modelos de espectroscopio fueron fabricados por Bunsen y Kirchhoff en Alemania en 1859. Éste, fabricado algo más tarde, consta de: un anteojo con una rendija variable que recoge los rayos de luz proyectándolos en forma de haz paralelo sobre el prisma; un segundo anteojo que permite observar el espectro; y un tercer anteojo con una escala micrométrica que, reflejada por el prisma, se observa superpuesta al espectro, y mediante la cual pueden identificarse las rayas del espectro por su longitud de onda y facilitar la identificación o estudio de la muestra.

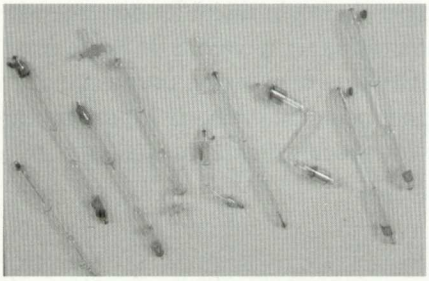


Fig. 355

253. TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE GASES

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/29(2); 95/31/425; 95/31/428(2); 95/31/429(1); 95/31/431(1); 95/31/432; 95/31/433
1880-1910; 1920-1940; 1890-1920; 1920-1940; 1900-1920; 1900-1920; 1900-1920
2,7x2x25,5 cm; 9,2x1,8x16,9 cm; 3,3x1,5x28,6 cm; 4,5x2,6x28 cm; 2,1x1,5x25,2 cm; 2,2x1,4x24,2 cm; 2,3x1,7x20,6 cm
Vidrio, metal

Estos tubos están destinados al análisis espectral, que consiste en el estudio de la descomposición, en un espectroscopio, de la luz emitida por una substancia. Se utilizan en espectroscopía desde mediados del s. XIX y son en esencia tubos de Geissler, consistentes en dos ampollas con contactos eléctricos unidas mediante un capilar, en cuyo interior se hace un vacío parcial y se introduce un gas, generalmente de un elemento químico gaseoso o vaporizado. En este caso los tubos contienen, entre otros, oxígeno, cloro, bromo, yodo, nitrógeno, azufre, selenio, mercurio y metano. Aquellos que van provistos de llave no contienen un compuesto o elemento determinado en su interior, sino que se puede introducir en ellos el que se desee. La luz producida por las descargas eléctricas entre los electrodos puede descomponerse situando el tubo ante la rendija de un espectroscopio; el espectro resultante, que será discontinuo (consistente en una serie de rayas aisladas), nos permitirá obtener información sobre el elemento contenido en su interior.

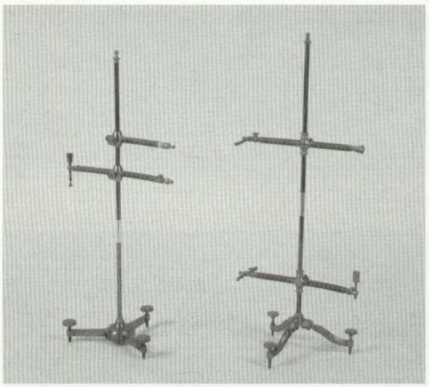


Fig. 356

254. SOPORTES UNIVERSALES DE EDELMAN

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/39; 95/31/40
1870-1900; 1880-1900
28x20,8x67,4 cm; 26,3x19,2x63,5 cm
Latón, ebonita
«TALLER DE MECANICA» / «DE LA» / «FACULTAD DE CIENCIAS» / «MADRID» (95/31/40)

Estos soportes tiene múltiples aplicaciones en física, pues en ellos se pueden fijar diversos elementos para variadas experiencias, por ejemplo, para situar lentes, prismas, para tubos de Delachanal y Mermet, tubos de vidrio con elementos de platino, etc. Su principal aplicación no obstante es sostener en experiencias de análisis espectral tubos conteniendo diferentes gases, similares a los vistos anteriormente.

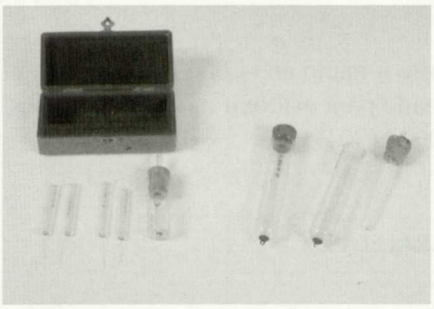


Fig. 357

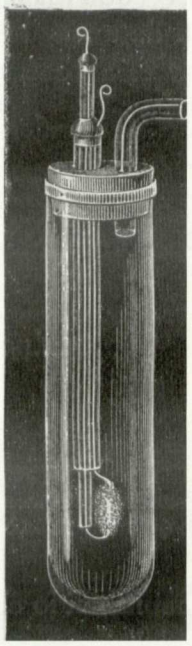
255. TUBOS DE VIDRIO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/434; 95/31/638
1900-1920
11,3x6x4 cm; dm. 2x13 cm
Madera, papel, tela, vidrio, platino, corcho, metal

Estos dos conjuntos de tubos también están destinados al análisis espectral, pero no de gases, sino de substancias sólidas, los unos, y de líquidas los otros.

En el primer caso, y a diferencia del método empleado para el estudio del espectro de emisión de gases, que como vimos era la descarga eléctrica, para estudiar el espectro de emisión de las substancias sólidas el método empleado es la combustión: se deposita en el extremo del hilo de platino un fragmento de la substancia (generalmente sales metálicas volátiles) y se hace quemar en un mechero Bunsen. Dependiendo de la substancia que depositemos, la llama procedente del mechero se teñirá de un color u otro. A la hora de analizar esta luz deberemos tener en cuenta que estará también presente el espectro de la luz procedente del mechero.

El segundo tipo de tubos fue diseñado para estudiar el espectro emitido por substancias líquidas por Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891) en la segunda mitad del s. XIX, época en que este tipo de análisis empezó a desarrollarse de forma sistemática. En este caso, y al igual que sucedía para los gases, el método empleado es la descarga eléctrica: se introduce el líquido a estudiar en el tubo mayor de vidrio, disponiendo el tubo menor con el hilo de platino en el tapón de corcho que lo cubre. Una diferencia de potencial entre los dos tubos hará que el líquido emita una luz que, situada en la rendija del espectroscopio, nos dará información sobre la substancia.



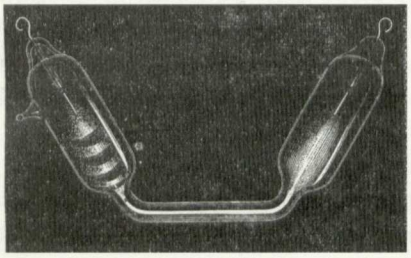


Fig. 358.- Análisis espectral

Fig. 359

256. CAJA CON SULFUROS FOSFORESCENTES

Nº inv.:95/31/397
1896-1901
39,5x14,3x4 cm
Sulfuros fosforescentes, vidrio, corcho, madera

Los materiales fosforescentes son aquellos que al ser excitados por la luz o cualquier otro tipo de radiación resplandecen en la oscuridad durante un cierto tiempo. En concreto la fluorescencia de los sulfuros alcalinos expuestos largo tiempo a la luz solar puede durar varios días.

Estos sulfuros fosforescentes proceden de elementos alcalinotérreos como el bario, estroncio o calcio que tienen propiedades químicas semejantes a las de los

metales alcalinos.

La caja va acompañada de un papel escrito a mano en el que se especifica el sulfuro y la materia activante que se ha empleado para elaborar cada uno de ellos, así como la fecha de su obtención, entre 1896 y 1901.

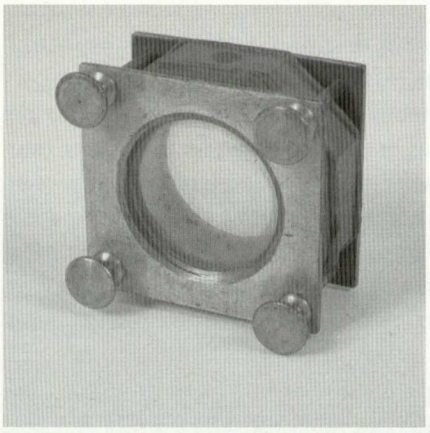


Fig. 360

257. RECIPIENTE DE VIDRIO DE CARAS PARALELAS

Nº inv.: 95/31/21
1870-1890
4,2x3x4,2 cm
Latón, vidrio

Este instrumento se emplea para obtener, y de ese modo poder estudiar, el espectro de absorción del líquido en él contenido. Para ello se sitúa entre una fuente de luz y un espectroscopio. Este último recogerá la radiación procedente del recipiente que no ha sido absorbida, lo cual permitirá determinar el espectro de absorción de dicha substancia. Este tipo de recipientes fue empleado por Melloni para realizar experiencias de absorción en el banco que lleva su nombre, destinado a investigaciones sobre el calor radiante.

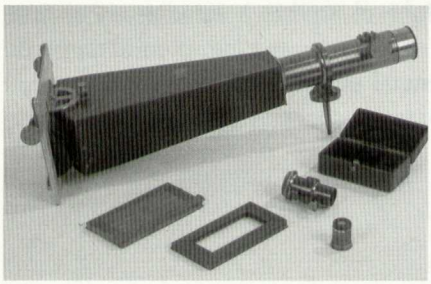


Fig. 361

258. RENDIJA Y ACCESORIO DE ESPECTRÓGRAFO DE PAULSEN

Nº inv.: 95/31/75
1883-1886
53,5x22,2x15,9 cm
Latón, tela, madera, acero, metal, vidrio
«Mon J.DUBOSCQ / Ph. PELLIN / PARIS»

El espectrógrafo es un tipo de espectroscopio provisto de un sistema que permite fotografiar el espectro obtenido y de este modo estudiarlo con mayor facilidad. El instrumento que observamos en la fotografía constituye la rendija de un espectrógrafo de tipo Paulsen, destinada a adaptar la placa fotográfica donde se impresionará la imagen del espectro obtenida en el resto del instrumento, la cual se recoge a través del objetivo. La parte menor de la rendija se une a la parte del espectrógrafo en que se aloja el prisma, y en la parte mayor se observa el espectro o se adapta el chasis con la placa fotográfica. Va acompañada de otros accesorios.

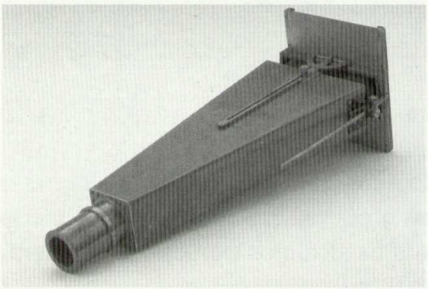


Fig. 362

259. RENDIJA DE ESPECTRÓGRAFO

Nº inv.: 95/31/767
1890-1920
33x85x28 cm
Madera, cuero, aluminio, latón, metal

Esta rendija, similar a la anterior, también constituye un accesorio de un espectrógrafo, estando destinada a alojar la placa fotográfica en que se impresionará el espectro obtenido por la dispersión de la luz tras atravesar el prisma. La posición de las líneas espectrales obtenidas nos permitirá obtener información

acerca de la luz que estemos estudiando. Dichas líneas son debidas a transiciones electrónicas, más o menos energéticas dependiendo de la substancia y el método empleado para producirlas.

Es curioso señalar que la escala que lleva es un transportador del s. XVIII, firmado: *«Butterfield» / «Paris»*, añadida, evidentemente, con posterioridad; esto es una muestra de la reutilización en la Facultad de elementos útiles.

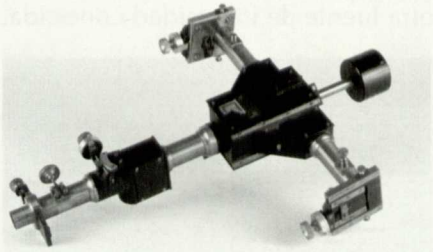


Fig. 363

260. ESPECTROFOTÓMETRO

Nº inv.: 95/31/54
1900-1930
38x54x27 cm
Latón, metal, vidrio
«A. KRÜSS» / «OPTISCHES INSTITUT» / «HAMBURG»

Fig. 364

Este instrumento no se ha podido identificar exactamente, pues, aunque se ha encontrado uno parecido que se emplea para medir y fotografiar el espectro en la zona de los rayos ultravioletas, este modelo posee además un fotómetro de tipo Lummer y Brodhun, razón por la cual se le ha dado el nombre de espectrofotómetro, que es un instrumento destinado a medir la intensidad luminosa de las radiaciones simples que constituyen el espectro de una substancia. El instituto óptico de A. Krüss fabricó este tipo de instrumentos a partir de 1909, apareciendo descritos en su obra *Kolorimetrie und Quantitative Spektralanalyse*.

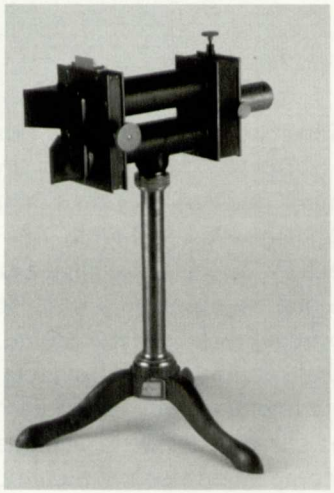


Fig. 365

261. FOTÓMETRO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE D´ARSONVAL

Nº inv.: 95/31/66
1890-1910
27x21,5x40,2 cm
Metal, vidrio, latón
«Partie Spectrophotometrique» / «de Mr D'Arsonval» / «Ph. Pellin» / «Paris»

El fotómetro que observamos en la fotografía forma parte, junto con un espectrómetro, del espectrofotómetro sin polarización diseñado por D'Arsonval en el s. XIX. Funciona con uno de los anteojos del espectrómetro, el provisto de la rendija colimadora, adaptado al tubo de este aparato. El conjunto se emplea para medir la intensidad de las distintas radiaciones que constituyen el espectro observado. El fotómetro permite medir la intensidad luminosa mediante la comparación de dos haces de luz, variando la luminancia de uno de ellos.

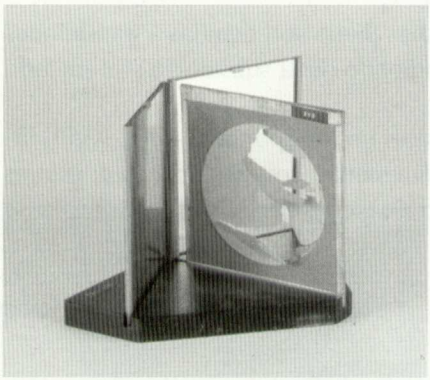


Fig. 366

262. FOTÓMETRO DE RÜDORFF

Nº inv.: 95/31/408
1930-1950
24,1x17,2x16,7 cm
Madera, papel, hojalata, cartón, metal, vidrio
«LEYBOLD»

Los fotómetros son instrumentos destinados a medir la intensidad luminosa o cantidad de luz por unidad de superficie de una fuente de luz, basándose generalmente en comparaciones con otra fuente de intensidad conocida. Éste es un modelo didáctico sencillo de fotómetro. Va provisto de una pantalla con mancha de aceite, dispuesta en el surco central, y dos espejos, unidos mediante una bisagra, en los surcos laterales. Puede observarse la mancha simultáneamente, tanto directamente como por ambos lados, reflejada en los espejos laterales. Esto permite comparar mediante el ojo humano (razón por la que recibe el nombre de fotómetro subjetivo) la intensidad luminosa recibida en la superficie por ambos lados, estando a uno la fuente conocida y al otro la desconocida. En el momento en que la mancha se vea con igual intensidad desde ambos, podremos determinar la luminancia desconocida a partir de la de la otra fuente y la distancia a que se halle cada una.

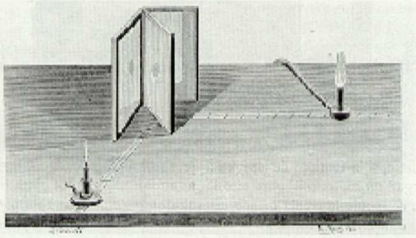


Fig. 367.- Fotómetro Bunsen

Fig. 368

263. FOTÓMETRO DE CONROY

Nº inv.: 95/31/765
1930-1950
7,3x10,6x23,1 cm
Madera, plástico, metal
«EVERETT EDGCUMBE» / «LONDON» / «Nº 727143»

Este modelo, resultado de la modificación introducida en 1883 por Conroy sobre el modelo ideado por William Ritchie (1790-1837) en 1826, es un modelo sencillo que depende de la ley de los cuadrados inversos para determinar la iluminación. Consta de dos placas blancas mate dispuestas en ángulo, que reflejan, una de ellas la luz que llega a la ventana derecha y la otra la que llega a la izquierda. De este modo, al mirar por la ventana central se observan a un mismo tiempo ambas placas, cada una en una mitad del círculo de la ventana. Como la intensidad luminosa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del foco a la pantalla, la distancia a la que se halle la fuente de intensidad desconocida cuando observemos igual iluminancia en las dos mitades de la ventana frontal, nos permitirá obtener dicha intensidad, por comparación con la fuente conocida y la distancia a que se halle.

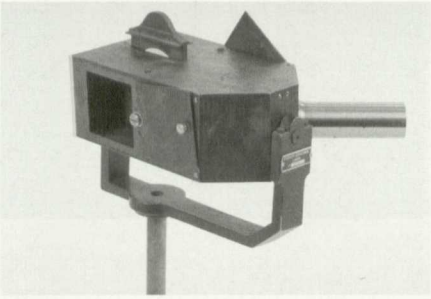


Fig. 369

Fig. 370

264. FOTÓMETRO DE LUMMER-BRODHUN

Nº inv.: 95/31/766
1930-1950
14x23,4x27,5 cm
Metal, latón, vidrio
«ALEX.R WRIGHT & Cº LTD» / «WESTMINSTER» / «ENGLAND»
«EVERETT EDGCUMBE» / «LONDON» / «Nº 727147»

Modelo de fotómetro, concebido en su forma inicial en 1889 por Lummer y Eugen Brodhun, que se emplea especialmente para trabajar con la mayor precisión (hasta un 0,1 %) con luces del mismo color.

Esta provisto: de una pantalla central de color blanco mate, cuyas caras son iluminadas respectivamente por las dos fuentes cuya intensidad se quiere comparar (a través de las pequeñas puertas); de dos prismas de reflexión total; y de un sistema de prismas, alineado con la pantalla, que recibe la luz de las fuentes a través de los anteriores. El sistema está constituido por dos prismas de ángulo recto unidos por sus hipotenusas, habiendo sido una de ellas chorreada con arena formando un dibujo, de forma que en la zona lisa, la luz se transmite tal cual, y en la zona chorreada sufre reflexión total. Esto se traduce en que la luminosidad observada en una parte del dibujo procede de una de las fuentes y la observada en la otra zona, de la otra fuente. Cuando ambas fuentes tengan la misma luminosidad, el dibujo desaparecerá. Para que el ojo pueda apreciar esta condición con mayor precisión, el sistema de prismas va provisto de espejos que reducen la luz y que permiten comparar el contraste entre el dibujo y el fondo en las dos mitades del campo de visión. La pantalla puede retirarse para alinear perfectamente las fuentes de luz, pues puede adaptarse a un banco óptico.

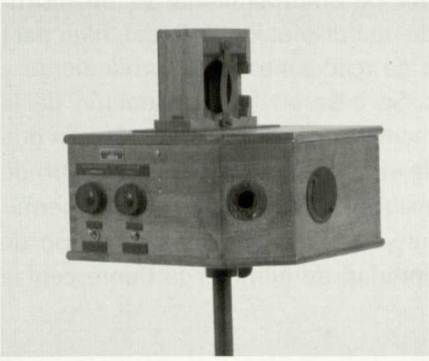


Fig. 371

265. FOTÓMETRO DE GUILD

Nº inv.: 95/31/764
1930-1950
27,9x27,5x52 cm
Madera, vidrio, metal, plástico
«EVERETT EDGCUMBE» / «LONDON» / «Nº 727148»

Aquí observamos un modelo de fotómetro heterócromo (que compara claridades entre fuentes de distinto color) para banco óptico, provisto de un mecanismo de parpadeo (el más común para este tipo de fotometría) consistente en un sector giratorio. El ojo observa alternativamente con un ángulo de 45° el difusor iluminado por la fuente patrón a través de un espejo, y el sector, también difusor, iluminado por la fuente problema. En el interior se halla también una lámpara que da luz difusa a la cavidad de observación para mantener la adaptación del ojo. Haciendo girar el disco a baja velocidad se ven alternativamente los dos colores propios de cada fuente. Al aumentar la velocidad se verá, por superposición de imágenes en la retina, el color suma de los dos, aunque con un parpadeo claro oscuro. Variando sucesivamente la distancia del fotómetro respecto a las fuentes y la velocidad de giro del sector hasta obtener el parpadeo mínimo con la mínima frecuencia de giro, obtendremos la intensidad de la fuente problema aplicando la ley del cuadrado de la distancia.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, POLÍTICA SOCIAL Y DEPORTE - BIBLIOTECA -

Fig. 372

266. LUXÓMETRO FOTOELÉCTRICO WESTON

Nº inv.: 95/31/33
1934
22,4x26,5x11,9 cm
Madera, metal, plástico, vidrio, tela, papel
«MODEL 603 Nº 1119» / «WESTON ELECTRICAL INSTRUMENT CORP. « / «NEWARK, N.J., U.S.A.»

Los luxómetros fotoeléctricos son fotómetros físicos destinados a medir la intensidad de iluminación en una superficie determinada empleando una célula fotoeléctrica. Este sistema está basado en el hecho, probado por Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920) y F. K. Hans Geitel (1855-1923) en 1889 (descubierto un año antes por Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (1859-1922) con luz ultravioleta) de que substancias como el sodio o el potasio perdían parte de su carga al ser expuestos a la luz visible. Esta transformación de la luz en corriente eléctrica se aprovecha en este instrumento para obtener una lectura inmediata en lux de la intensidad de iluminación de la superficie paralela a las placas sensibles. Las instrucciones de uso figuran en la tapa de la caja del instrumento.

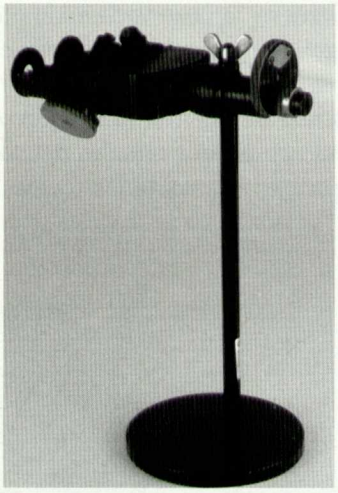


Fig. 373

267. NEFELÓMETRO O MEDIDOR DE ENTURBIAMIENTO

Nº inv.: 95/31/82
1920-1940
33,5x24,5x47,5 cm
Baquelita, hierro, vidrio, metal
«CARL ZEISS / JENA» / «Nr.34076»

El nefelómetro, nefelectómetro o medidor de enturbiamiento es un instrumento que sirve para medir la transparencia de una disolución coloidal, bien para análisis microscópico, bien para observación de reacciones de enturbiamiento y precipitación de compuestos o disoluciones. Se basa en la comparación de la intensidad de un rayo luminoso visto directamente y a través de la disolución que se desea medir. Ésta se puede realizar a simple vista o adaptando un fotómetro de Pulfricht para conseguir mayor precisión y sensibilidad. Tiene la ventaja de permitir obtener valores absolutos de enturbiamiento, medición directa en el caso de enturbiamientos relativamente fuertes, y posibilidad de eliminar la fluorescencia mediante filtros.

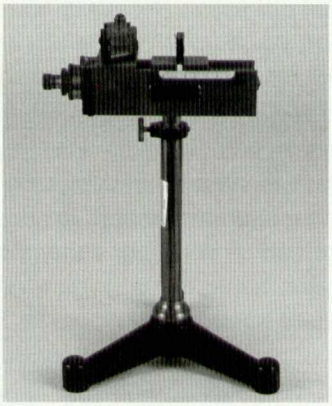


Fig. 374

268. INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

Nº inv.: 95/31/16
1930-1950
22,2x20x36,1 cm
Hierro, metal, vidrio, pasta
«WM. GAERTNER & CO.» / «- MAKERS -» / «CHICAGO».

El interferómetro fue diseñado en torno a 1881 por Michelson para comprobar el movimiento relativo de la Tierra con respecto al supuesto éter luminífero que la rodeaba, éter que formaba parte de la teoría ondulatoria de la luz y se con-

Fig. 375

sideraba necesario para explicar su propagación. Este experimento lo repitió en 1887 con Morley y, obteniendo en ambas ocasiones resultados negativos (resultados que sin embargo se vieron confirmados en 1905 por las teorías de Einstein), pensaron en otras aplicaciones para el instrumento, dada su gran precisión, como por ejemplo la medida en 1892 de la longitud de onda que Michelson propuso como patrón fundamental de longitud (su múltiplo no se establecería como patrón hasta 1960).

Los interferómetros por tanto nos permiten medir longitudes de onda muy pequeñas (del orden de la luz incidente), empleando las interferencias sufridas por un haz de luz, siendo otras aplicaciones la medida de espesores de láminas delgadas, el estudio de la velocidad de crecimiento de las plantas, de la magnetostricción, medida de coeficientes de dilatación, etc. Funciona haciendo incidir un haz de luz sobre una serie de láminas reflectantes (normalmente dos) que lo dividen en dos o más rayos, transmitido y reflejado. Cuando éstos se reúnen tras haber recorrido caminos diferentes, interaccionan sumándose unas veces y anulándose otras. Estas interacciones dan lugar a franjas de interferencia que proporcionan información sobre la luz incidente.

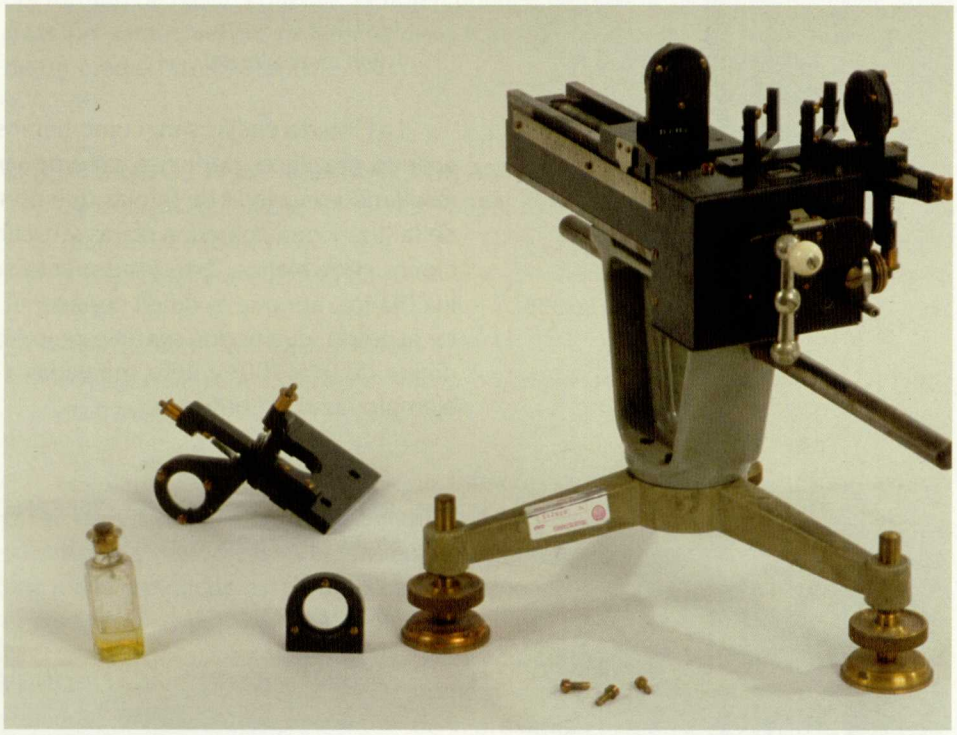


Fig. 376

269. INTERFERÓMETRO DE MICHELSON Y FABRY-PÉROT

Nº inv.: 95/31/55
1920-1940
46,5x27,5x36,2 cm
Hierro, metal, vidrio, marfil
«Sir WGA W & Co Ltd» / «Manchester»
«ADAM HILGER LTD» / «LONDON, ENGLAND»
"Nº N.3.302/25220»

Fig. 377

El modelo de interferómetro que aparece en la fotografía es muy interesante porque, cambiando una serie de accesorios, nos permite obtener dos tipos diferentes de interferómetros: bien el modelo de Michelson, bien el de Fabry-Pérot. La disposición con que aparece en la fotografía es la de Michelson.

El primero de ellos fue el primer interferómetro que se ideó, y fue diseñado, como acabamos de ver, por Michelson a finales del s. XIX.

El interferómetro diseñado por Charles Fabry (1867-1945) y Jean-Baptiste Gaspard Gustav Alfred Pérot (1863-1925) emplea, a diferencia del de Michelson, un haz múltiple, resultante de la superposición de las ondas transmitidas tras sucesivas reflexiones y transmisiones a través de dos superficies reflectantes. Esto da como resultado frentes de onda con retardos sucesivos que, focalizados en un punto, se traducen en una interferencia visible de forma circular.

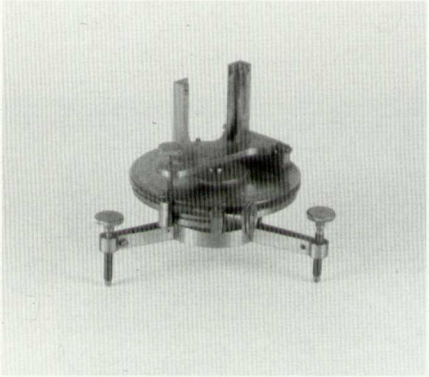


Fig. 378

270. DISPOSITIVO INTERFERENCIAL

Nº inv.: 95/31/72
1880-1910
17x18,2x15,7 cm
Latón, acero, metal

Las interferencias son, como hemos visto, fenómenos ópticos que tienen lugar cuando dos haces de luz se superponen, sumándose (o anulándose) sus efectos y resultando una serie de franjas que ponen de manifiesto la naturaleza ondulatoria de la luz, y que aparecen claras y oscuras si la luz es monocromática, o con irisaciones si es blanca. Este instrumento se emplea para producir interferencias con luz blanca, aunque es difícil conocer el modelo concreto de interferómetro por faltar el vidrio, que podría ser un espejo, varios, una lámina delgada, etc. Se halla graduado de 0º a 100º y lleva señaladas a mano determinadas posiciones, como por ejemplo: azul, 3º orden.

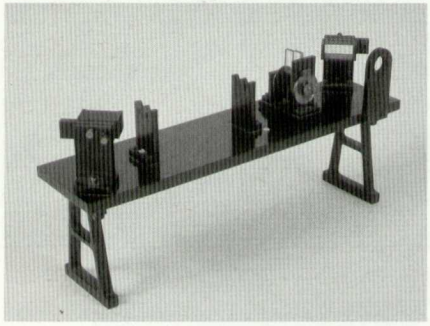


Fig. 379

271. REFRACTÓMETRO INTERFERENCIAL DE JAMIN

Nº inv.: 95/31/2
1920-1940
60,5x16x29,5 cm
Vidrio, metal
«ADAM HILGER LTD.» / «LONDON ENGLAND»

Este instrumento, ideado a mediados del s. XIX por el físico francés Jules Celestin Jamin (1818-86), pionero en las investigaciones experimentales sobre la reflexión metálica, permite la realización de numerosas experiencias ópticas, y fundamentalmente la determinación del índice de refracción por medio de interferencias. Estas se producen cuando, por reflexión, un rayo de luz se divide en dos, recorriendo cada uno un camino diferente, bien a través de distintos líquidos en la cubeta, bien a través del condensador de placas de Jamin. El número de anillos de interferencia que se obtengan cuando se reúnan los rayos nos permitirá deducir el índice de refracción.

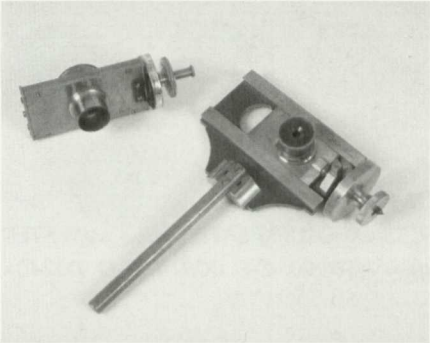


Fig. 380

272. MICRÓMETROS OCULARES DE FRESNEL

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/48; 95/31/60
1845-1855; 1890-1910
12x4,1x4,1 cm; 14x4,8x19,9 cm
Latón, metal, vidrio
«Lerebours, et Secretan» / «à Paris» (95/31/48)
«Ph. Pellin. Paris» (95/31/60)

El micrómetro ocular es un instrumento que fue ideado por el físico francés Fresnel a principios del s. XIX para medir distancias muy pequeñas, del orden de la micra (en estos modelos en concreto la precisión es de 5 micras o milésimas de milímetro), con el objeto de conocer la separación entre las franjas de interferencia generadas con sus espejos interferenciales o con el biprisma que lleva su nombre. Este valor, junto con el del número de franjas, nos puede permitir medir con gran precisión longitudes de onda muy pequeñas.

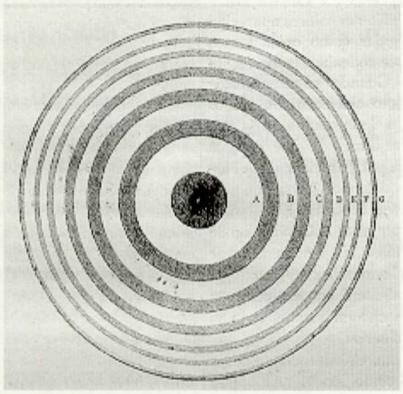
Constan de un hilo fino que desliza gracias al tornillo micrométrico y que se sitúa sucesivamente en las dos líneas cuya distancia de separación queramos medir. En la escala obtendremos valores hasta de medio milímetro y con la rosca del tornillo de hasta 5 micras. También pueden emplearse en experiencias de polarización para observar y medir la desviación de un haz de luz refractado a través de un medio birrefringente.

Fig. 381

273. APARATOS PARA MOSTRAR LOS ANILLOS DE NEWTON

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/339; 95/31/470
1880-1910; 1950-1965
9,9x10,3x3,5 cm; dm. 7,7x9,8 cm
Metal, vidrio
«OFFICINE» / «GALILEO» / «L994»
«Delegación para España» / «Marq. Valdeiglesias 8» / «MADRID-Tel. 214498» (95/31/470)

Los llamados anillos de Newton (aunque descritos por Hooke, fue Newton quien dio una explicación más completa del fenómeno) son franjas de interferencia coloreadas y periódicas formadas entre dos láminas delgadas en estrecho contacto, una plana y otra curva, que se observan como anillos centrados en el punto en que el contacto es más estrecho. Son debidos a las interferencias entre las ondas reflejadas y transmitidas en una y otra superficie. El número y distribución de estas franjas depende de la proximidad entre las láminas, la cual puede modificarse al variar la presión entre las láminas mediante los tornillos de presión.



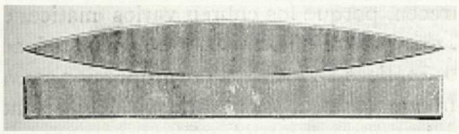


Fig. 382.- Anillos de Newton

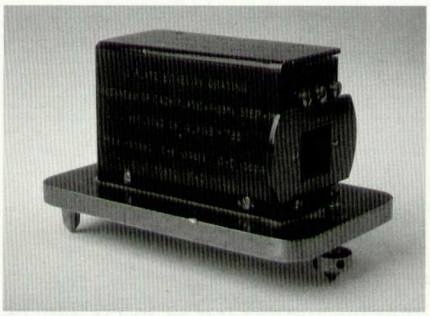


Fig. 383

274. RED DE DIFRACCIÓN DE ESCALONES

Nº inv.: 95/31/28
1920-1940
9,6x5,4x6 cm
Metal, vidrio
«MADE BY» / «ADAM HIGER LTD.» / «LONDON, ENGLAND»
«12 PLATE ECHELON GRATING» / «THICKNESS OF EACH PLATE = 4.63 M/M STEP = 1 M/M» / «MELTING OF GLASS = 783» / «μ_D= 1.50990. C-F .00814. C-D 00240» / «D-F .00570. F-G 00465»

La difracción tiene lugar cuando la luz incide sobre los bordes de un objeto, generalmente un orificio o rendija, debido a que, al no ser obstaculizada por ellos, interacciona generando una serie de focos secundarios que interfieren entre sí dando origen a franjas claras y oscuras. Este fenómeno, descubierto por Grimaldi en el s. XVII, se emplea para descomponer la luz con el objeto de estudiarla en espectroscopía y análisis espectral, aunque con la ventaja sobre los prismas de que el espectro es proporcional a las longitudes de onda, razón por la que permite una mayor precisión. Las redes de difracción de escalones, ideadas por Michelson en 1898, constan de una serie de láminas de vidrio de diferente longitud, en este caso serían doce, de las que sólo se conservan dos, cuyo grosor es igual que la altura en que difieren unas de otras. Cuando la luz incide perpendicularmente sobre la lámina mayor, parte de ella emergerá difractada con un pequeño ángulo, con una diferencia de fase constante con respecto a la anterior, lo cual da origen a un espectro. Debido a su gran poder de resolución, este tipo de redes son de gran utilidad en espectroscopía.

Fig. 384

275. RED DE DIFRACCIÓN DOBLE EN MONTURA DE LATÓN

Nº inv.: 95/31/22
1880-1900
2,8x1,5x2,8 cm
Latón, vidrio

Este pequeño instrumento está constituido por dos redes de difracción de líneas paralelas que pueden girar una en torno a otra. Las redes de difracción, ideadas por Fraunhofer a principios del s. XIX, están destinadas a descomponer la luz, como lo haría un prisma, para su estudio en espectroscopía y análisis espectral; si se trata de una composición de dos redes es posible un análisis más complejo. Cuando las dos redes son atravesadas por un rayo de luz estando orientadas en la misma dirección se producen fenómenos de interferencia y difracción que se manifiestan en forma de una serie de espectros dispuestos a lo largo de una recta del plano perpendicular a la dirección del haz. Si se gira uno de los cristales hasta situarlos ortogonalmente se obtienen espectros que cubren todo el plano perpendicular al haz de luz, extendiéndose radialmente a partir del punto que corresponde a la dirección del haz incidente.

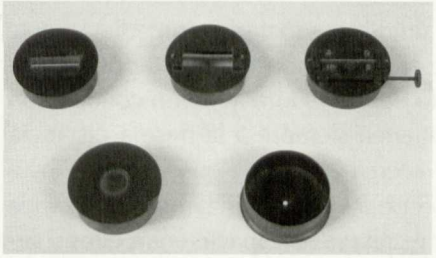


Fig. 385

276. ACCESORIOS DE BANCO ÓPTICO

Nº inv.: 95/31/648
1880-1900
Dm. 4,5x1,5 cm
Latón, vidrio

El banco óptico fue un instrumento muy utilizado en los gabinetes científicos durante todo el s. XIX y aun el XX para llevar a cabo multitud de experiencias, siendo una de las más destacadas la relacionada con los fenómenos de difracción e interferencia de ondas luminosas. Las placas que observamos, provistas de varillas, orificios o finas rendijas, constituyen accesorios destinados a realizar este tipo de experiencias, adaptadas a un banco óptico. Interpuestas entre la fuente de luz y la lente de aumento, permiten obtener un haz paralelo lo suficientemente fino como para que se produzca difracción en sus bordes. En la pantalla se observarán estas figuras, de forma tanto más acentuada cuanto menor sea el tamaño del hilo u orificio.

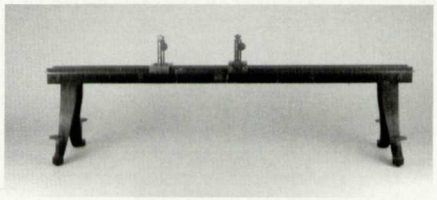


Fig. 386

277. BANCO ÓPTICO DE PAALZOW

Nº inv.: 95/31/68
1880-1910
120x31,5x41,2 cm
Acero, metal
«Max Kohl A. G., Chemnitz»

Este banco óptico se emplea para realizar variadas experiencias en óptica: doble refracción, polarización con luces paralelas y convergentes, interferencias, difracción, análisis espectral y fenómenos microscópicos (estos últimos también con luz polarizada), empleando tanto luz solar como eléctrica. Para ello se disponen diversos elementos sobre los soportes, dependiendo de la experiencia: lentes, diafragmas, prismas, micrómetros, rendijas, polarizadores, etc. Se halla provisto además de una escala milimetrada, de modo que se pueden desplazar los soportes por el banco y situarlos con precisión en la posición deseada, así como realizar medidas.

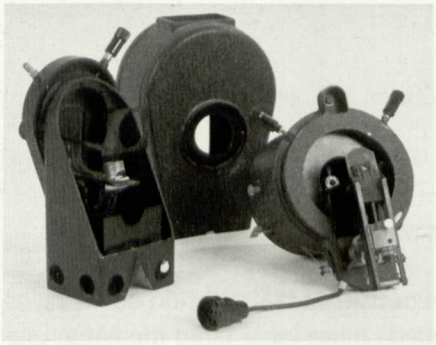


Fig. 387

278. LÁMPARAS DE ARCO Y DE INCANDESCENCIA PARA BANCO ÓPTICO

Nº inv.: 95/31/754
1925-1935
23,5x21x31 cm
Acero, plástico, metal, cerámica, vidrio, cuerda, carbón

Un elemento fundamental para llevar a cabo la casi totalidad de las experiencias en bancos ópticos es disponer de una fuente de luz lo suficientemente intensa. Este es el objeto de estas lámparas, fabricadas por una de las casas más importantes de la época en producción de material óptico, Carl Zeiss. Proporcionan una potente fuente de luz bien mediante un arco voltaico, bien mediante una lámpara incandescente. El arco voltaico consiste en dos carbones, electrodos, entre los que se aplica una descarga de gran intensidad y poco voltaje en corriente continua. Para

encender la lámpara es preciso mantenerlos unidos y separarlos inmediatamente después. Al ser la corriente continua, uno de los carbones (electrodo positivo) se desgasta formando un cráter y el otro (electrodo negativo) formando un cono, razón por la cual es más fino. Los carbones se mantienen siempre a la misma distancia debido a un mecanismo de relojería que los acerca a medida que se van consumiendo. La intensa luz es debida a que los electrodos se volatilizan por la elevada temperatura que alcanzan, ocupando el vapor resultante el espacio entre ellos y sirviendo así como medio conductor para el paso de la corriente. Un mecanismo de relojería acerca los carbones a medida que se van consumiendo.

En el caso de la lámpara incandescente disponemos de una bombilla tubular de 110 voltios, para corriente continua y alterna, o una de 6 voltios y 100 vatios, en el caso de corriente alterna transformada.

El arco voltaico se adapta en el soporte, provisto de aberturas de ventilación, el cual a su vez se introduce en el banco óptico (por uno de sus extremos, ya que está provisto de una pieza que impide que salga verticalmente) y se fija mediante un tornillo. Para impedir la dispersión de la luz, el conjunto se cubre con una carcasa provista de una chimenea en la parte superior. La fuente de luz puede alinearse con el eje del banco gracias a los dos tornillos que presenta la armadura del arco en la parte superior.

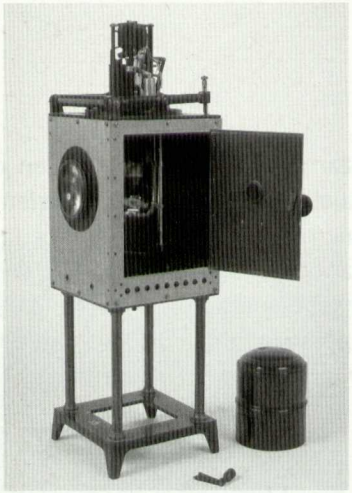


Fig. 388

279. PROYECTOR

Nº inv.: 95/31/87
1880-1910
27,5x24,5x87 cm
Metal, hierro, acero, vidrio
«MAX KOHL/werkstaff für/Präc-Mechanik/CHEMNITZ I.Sa.»

Este tipo de linternas de proyección se emplean en los laboratorios de física como fuentes de iluminación potente para multitud de aplicaciones: proyección de objetos, espectros, preparaciones microscópicas, muestras, vistas fotográficas, experiencias de doble refracción, de polarización en luz paralela y convergente, etc. Para ello consta de una lente condensadora, de un objetivo de proyección y de un arco voltaico como fuente de luz. Las muestras se disponen en un banco óptico que se adapta en la parte frontal.

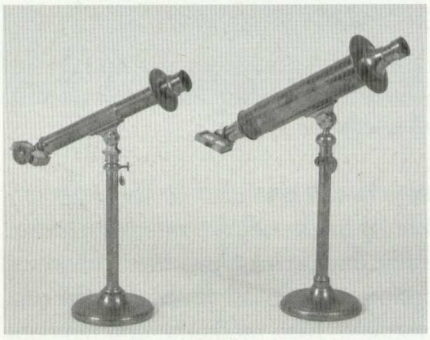


Fig. 389

280. POLARISCOPIOS DE REFRACCIÓN

De izquierda a derecha, nº inv. 95/31/25; 95/31/26
1840-1860; 1840-1850
33,5x13,2x36 cm; 41,5x13,3x41 cm
Latón, vidrio, metal
"Soleil" / "Rue de l'Odéon" / "à Paris" (95/31/26)

El fenómeno de la polarización de la luz consiste en la limitación de los rayos de luz a vibrar en un plano determinado, y puede tener lugar tanto mediante una reflexión en una superficie como al atravesar determinadas substancias. Aunque este fenómeno fue descubierto en 1690 por Huygens, no fue hasta principios del s. XIX cuando se fabricaron los primeros instrumentos destinados a su estudio. Este

modelo dispone de dos mecanismos diferentes para obtener luz polarizada. El primero de los mecanismos es una serie de láminas planoparalelas que, cuando forman un ángulo de unos 54º (ángulo llamado de Brewster) con la luz incidente, polarizan la luz por sucesivas reflexiones y transmisiones. La luz polarizada, al atravesar el segundo mecanismo, un cristal birrefringente, se descompondrá en dos haces: ordinario y extraordinario (éstos se forman en el interior de un cristal anisótropo debido a la variación de la velocidad del rayo de luz con la dirección de propagación), ambos polarizados, cuyo color y posición varía al girar el cristal, debido a que gira su eje de polarización con respecto al de la luz polarizada que le llega.

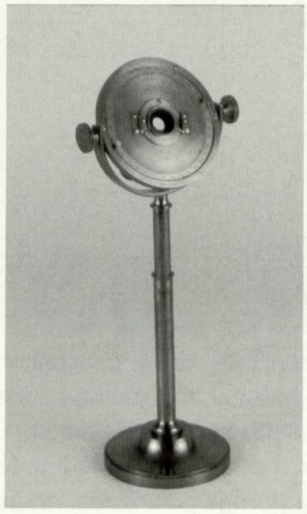


Fig. 390

281. APARATO PARA MOSTRAR FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN

Nº inv.: 95/31/47
1825-1845
15,5x12x39,8 cm
Latón
«Lerebours à Paris»

Este instrumento está diseñado para mostrar fenómenos de polarización, probablemente para medir, con una precisión de 1/2 grado, el ángulo que determinados cristales desvían el plano de polarización de un haz de luz, aunque no se puede determinar con exactitud debido a que está incompleto. Para ello debería disponer de un polarizador (que falta), situado en el disco exterior graduado, y de un analizador, situado en el disco provisto del vernier. El ángulo que un cristal interpuesto entre ellos pueda desviar el plano de polarización puede medirse, con ayuda del vernier, midiendo el ángulo que es necesario girar el analizador para obtener ausencia de luz entre ellos, tomando como cero o ángulo inicial aquel en el que, en ausencia de muestra, ambos polarizadores están cruzados y no permiten el paso de la luz.

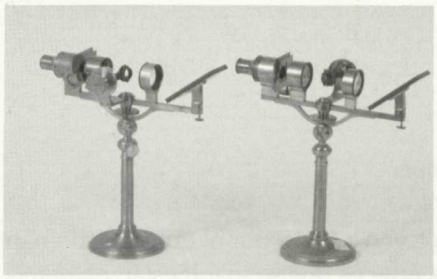


Fig. 391

282. APARATOS DE SOLEIL PARA OBSERVAR CRISTALES CON LUZ POLARIZADA

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/78; 95/31/79
1845-1855; 1840-1850
17,5x22,5x38,5 cm; 15x21x39,4 cm
Latón, vidrio, metal
«Lerebours et Secretan à Paris» (95/31/78)
«Soleil» / «Rue de l'Odéon» / «à Paris» (95/31/79)

Estos instrumentos fueron diseñados, y el segundo de ellos también fabricado, por el físico constructor francés Soleil en torno a 1839, fecha en que lo presentó ante la Academia de Ciencias de París. Están destinados a observar las propiedades y fenómenos ópticos que se manifiestan en determinados cristales cuando son atravesados por un haz convergente de luz polarizada. La luz,

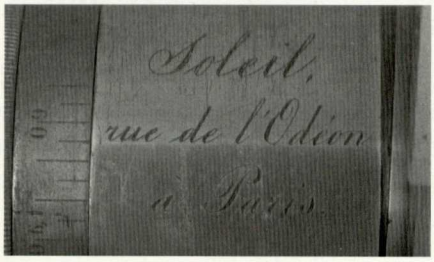


Fig. 392

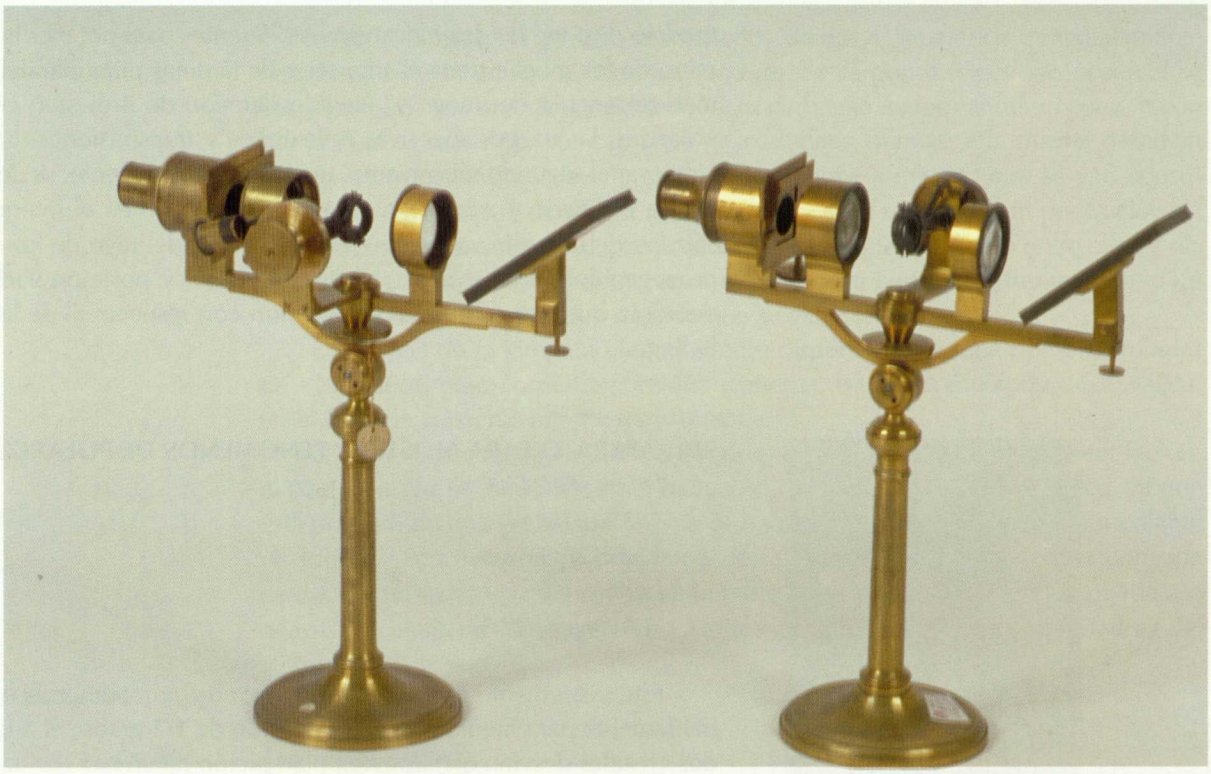


Fig. 391

polarizada por reflexión en el vidrio negro, orientable, incide concentrada mediante la lente, sobre la muestra y, tras atravesarla, pasa al analizador, concentrada por la segunda, donde se observan los fenómenos producidos. Delante de él se halla una retícula que permite determinar el diámetro de los anillos de interferencia formados en la lámina cristalina al ser atravesada por luz polarizada. Además, el portaobjetos orientable permite determinar el ángulo formado por los ejes ópticos en los cristales biáxicos.

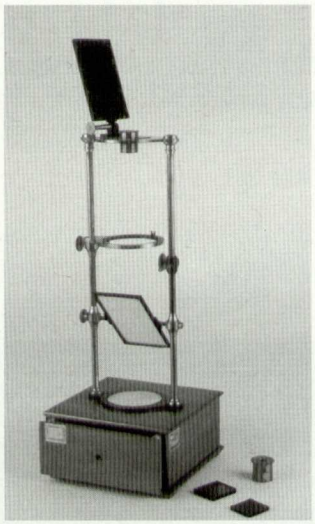


Fig. 393

283. POLARISCOPIO DE NÖRRENBERG

Nº inv.: 95/31/401
1860-1880
18,5x18,5x58 cm
Madera, latón, vidrio
«Grasselli y Zambra/Opticos de S.M./en Madrid»

Este tipo de polariscopio fue diseñado en torno a 1830 por el químico alemán Ch. Nörremberg, para observar los fenómenos ópticos que se manifiestan en determinados cristales cuando son atravesados por un haz convergente de luz polarizada. Para ello está provisto de dos espejos polarizadores: uno azogado en la parte inferior y otro ennegrecido en la superior. Aprovechando el hecho de que la luz transmitida a través de dos polarizadores cuyos ejes ópticos son perpendiculares es nula, se puede estudiar el comportamiento de un cristal situándolo entre ellos y observando si se produce o no rotación en el plano de polarización (que se traduce en variación en la transmisión) y en qué sentido tiene lugar. Es posible así mismo medir esta variación empleando las graduaciones que contienen los dos soportes circulares.

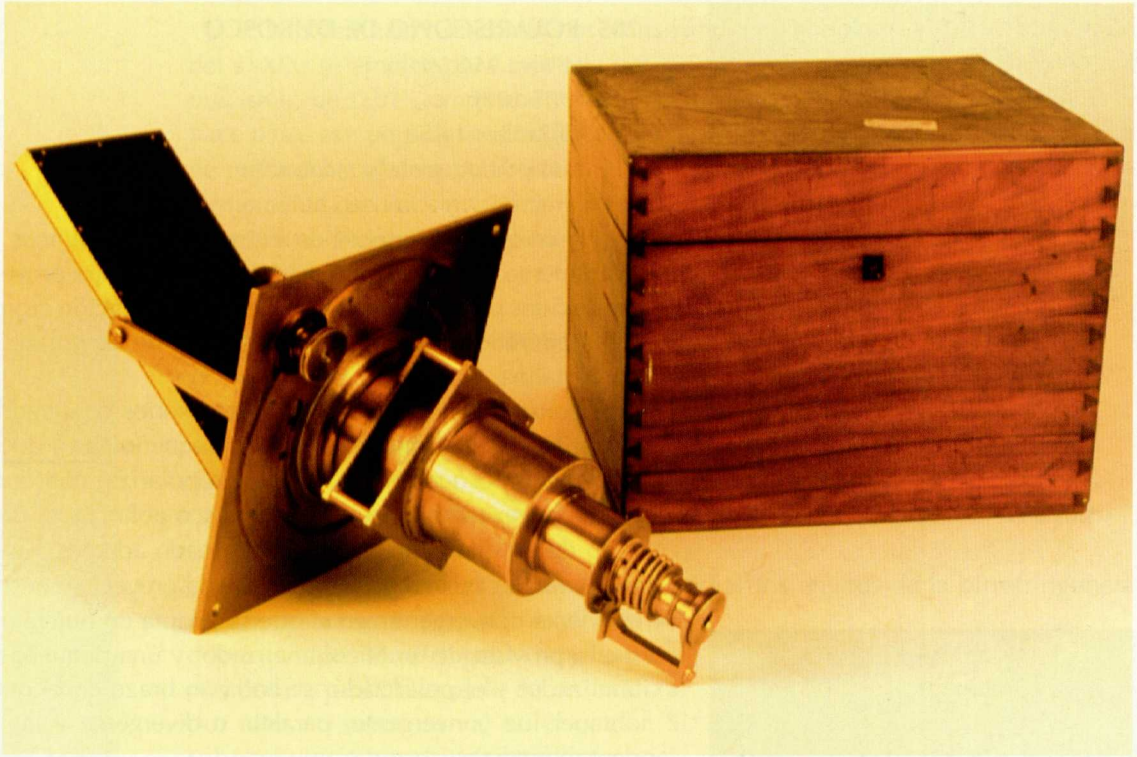


Fig. 394

284. POLARISCOPIO DE PROYECCIÓN

Nº inv.: 95/31/10
1845-1855
59x24,5x24,5 cm
Latón, vidrio, madera, corcho
«Lerebours et Secretan à Paris»

Este modelo es una combinación de microscopio solar y polariscopio. Está diseñado para estudiar la luz polarizada o las propiedades polarizantes de una muestra, mediante la proyección de sus efectos sobre una pantalla, para lo cual es necesaria una potente fuente de luz, como por ejemplo el Sol. Para ello se adapta el instrumento en una ventana, de modo los rayos solares incidan y se reflejen en la superficie oscurecida, que actúa por tanto de polarizador, y cuyo ángulo es variable para seguir el movimiento del Sol. A continuación se sitúa la muestra, y en el extremo opuesto el analizador, otro polarizador que hace visibles los cambios sufridos por la luz polarizada tras atravesar la muestra. Una vez ajustada adecuadamente la fuente luminosa, se consiguen espectaculares efectos de cambios cromáticos.

Fig. 395

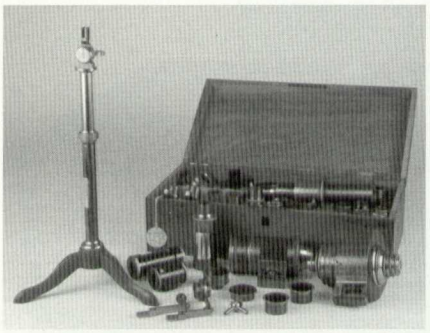


Fig. 396

285. POLARISCOPIO DE DUBOSCQ

Nº inv.: 95/31/41
1875-1895
46,2x23,5x14,5 cm
Latón, vidrio, metal y madera

El constructor francés de instrumentos científicos Jules Duboscq diseñó este instrumento didáctico a mediados del s. XIX para proyectar los fenómenos ópticos producidos por la doble refracción, la polarización cromática y rotatoria y los efectos interferenciales producidos en un haz de luz polarizada que atraviesa una lámina cristalina.

Consta, además de múltiples accesorios contenidos en una caja, de dos piezas principales dispuestas sobre un pequeño carril que permite su deslizamiento: el mecanismo que recoge la luz y la polariza, constituido por un tubo con lente planoconvexa donde se inserta un disco polarizador de espato birrefringente, provisto de un diafragma variable (destinado además a eliminar el rayo extraordinario); y el mecanismo que la analiza y la proyecta, constituido por otro tubo similar con lente convergente, en el que se adapta un objetivo telescópico de menor diámetro provisto de un Nicol analizador y una pequeña lente convergente. Entre el analizador y el polarizador se halla un brazo en el que se adapta una lente para obtener luz convergente, paralela o divergente y las láminas cristalinas que se desean analizar.

Fig. 397

286. CUATRO TUBOS DE POLARÍMETRO

Nº inv.: 95/31/19
1880-1900
Dm. 4,3x41,3 cm
Latón, vidrio

El polarímetro es un instrumento que se emplea para medir el poder rotatorio de las substancias ópticamente activas (como por ejemplo la glucosa, en cuyo caso reciben el nombre de sacarímetro), permitiendo determinar mediante éste, tal y como probó Biot en torno a 1835, la concentración de dicha substancia en una solución. Dicha concentración es proporcional al ángulo que ésta desvía el plano de polarización de la luz que la atraviesa, teniendo en cuenta también la influencia de la longitud del recipiente en que está contenida la muestra. Estos tubos constituyen el recipiente de un pequeño polarímetro, que no se conserva, en el que se introduce el líquido que quiere estudiarse. Cada uno lleva inscrita su capacidad en un lateral, para permitir la realización de medidas precisas.

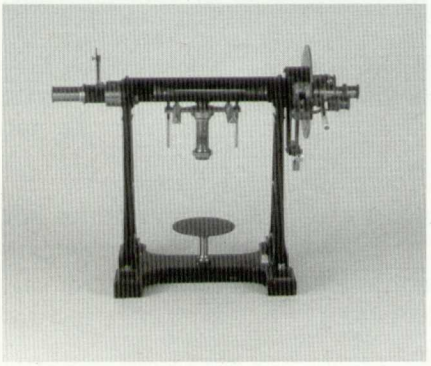


Fig. 398

287. POLARÍMETRO DE LANDOLT DE DIVISIÓN CIRCULAR

Nº inv.: 95/31/49
1900-1920
57x24,1x44,7 cm
Hierro, latón, vidrio, metal
«Nº 6857»/»D. R. PAT» / «Nº 82523»

Este polarímetro, diseñado por Hans Heinrich Landoldt (1831-1910) a finales del s. XIX, se emplea para medir la posición del plano de polarización con gran precisión, de 0,01º, empleando para ello una fuente de luz muy intensa que se hace pasar por un polarizador de campo triple de Lippich. Éste consiste en un par de prismas Nicol de gran abertura que hacen que el campo de visión no sea uniformemente oscuro, sino únicamente cruzado por una estrecha banda negra. Permite el uso de recipientes de observación de múltiples formas.

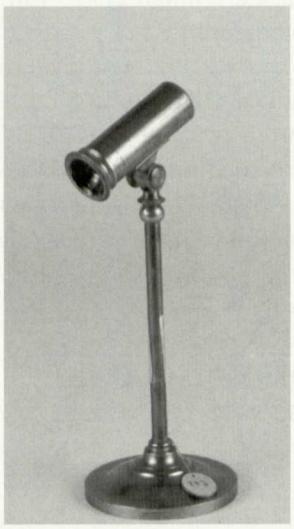


Fig. 399

288. APARATO PARA EFECTOS DE BIRREFRINGENCIA

Nº inv.: 95/31/50
1830-1850
Dm. 10,5x28 cm
Latón y vidrio
«Vincent Chevalier ainé» / «Ingr, Opt^en Bre.^te» / «Quai de l´horloge No 69 à Paris»

Este instrumento está destinado a estudiar los efectos de la birrefringencia en luz polarizada. Para ello está provisto de un vidrio birrefringente en la parte posterior y probablemente de un analizador (que no se conserva) en el ocular. Si sobre el vidrio birrefringente se hace incidir un haz de luz polarizada observaremos variaciones en la luz resultante a medida que rotamos el analizador. Si el analizador está dispuesto con el eje óptico perpendicular al plano de polarización de la luz incidente, se eliminará la componente amarilla, quedando una coloración violácea. Una ligera rotación del analizador en una dirección u otra producirá una coloración verdeazulada o rojiza.

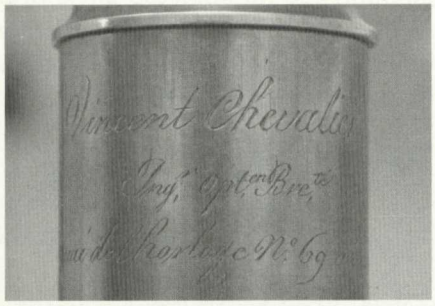


Fig. 400

Fig. 401

289. CRISTAL BIRREFRINGENTE MONTADO

Nº inv.: 95/31/70
1860-1880
16x13,5x49,5 cm
Latón y vidrio
«DELEUIL» / «À PARIS»

Mediante este instrumento didáctico se pueden mostrar los fenómenos debidos a la polarización por refracción, que tiene lugar cuando la luz atraviesa un medio birrefringente. Para ello está provisto de un cristal birrefringente en el ocular, en el que se recibe la luz procedente de un polarizador (ausente). Al observar la luz que emerge del cristal mediante un analizador, aparecerá descompuesta en dos haces diversamente coloreados: ordinario y extraordinario, ambos polarizados. Estos haces variarán dependiendo de la posición relativa del cristal y el polarizador, la cual podremos medir gracias a la escala graduada.

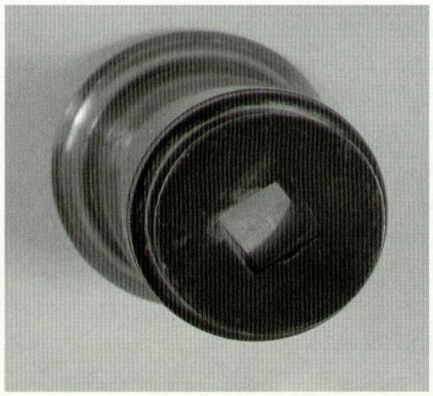


Fig. 402

290. BICUARZO DE DOBLE ROTACIÓN

Nº inv.: 95/31/616
1875-1895
Dm. 4,6x6 cm
Latón, cuarzo y corcho

El bicuarzo de doble rotación consiste en dos paralelepípedos de cuarzo del mismo espesor, superpuestos y montados en un anillo de corcho. Esta disposición, ideada por el constructor Soleil en la primera mitad del s. XIX, fue adoptada en numerosos aparatos de polarización para determinar con precisión la desviación del plano de polarización de un haz de luz. Los cuarzos han sido tallados perpendicularmente al eje cristalográfico y están dispuestos de modo que uno gira la luz hacia la derecha y el otro a la izquierda. Si lo disponemos entre un polarizador y un analizador cruzados se elimina del haz de luz la componente amarilla, quedando una coloración violeta. Una ligera rotación del analizador o del polarizador produce una coloración rojiza o verdeazulada, respectivamente.

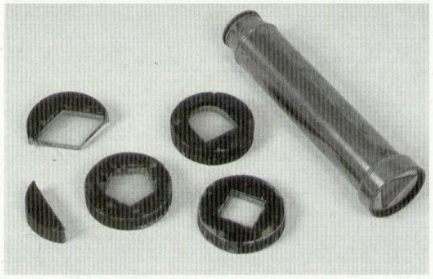


Fig. 403

291. TUBO POLARIZADOR Y CUATRO VIDRIOS TEMPLADOS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/730; 95/31/76
1860-1880
Dm. 7x2 cm; dm.5,3x22,6 cm
Latón, vidrio, corcho

Los vidrios templados (en francés «verre trempé») son vidrios que presentan fenómenos de polarización cromática cuando, mediante un analizador, se observa a su través luz polarizada. El templado consiste en calentar el vidrio y enfriarlo rápidamente, lo cual genera modificaciones estructurales en el vidrio dependiendo de su geometría, de modo que se modifica su elasticidad con diferente intensidad en distintas direcciones. Estas tensiones internas crean fenómenos de doble refracción accidental, que son visibles con luz polarizada.

Pueden observarse, por ejemplo, gracias al instrumento que observamos en la fotografía. Consiste en un tubo de latón en uno de cuyos extremos se ha montado un vidrio templado triangular; y en el otro un cristal birrefringente. Cuando observamos a su través luz polarizada observaremos irisaciones cerca de los vértices del triángulo, cuyos colores varían al girar el tubo. Probablemente fuera acompañado de otros vidrios templados de diversas formas que se intercambiasen con el triangular que se conserva, similares al conjunto que aparece con él en la fotografía. Otra forma de observar las manifestaciones cromáticas resultantes de este fenómeno es adaptar los vidrios templados en el aparato de J. Duboscq (95/31/41), de modo que puedan verse proyectadas en una pantalla.

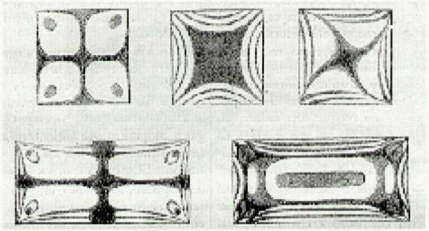


Fig. 404.- Luz polarizada en vidrios templados

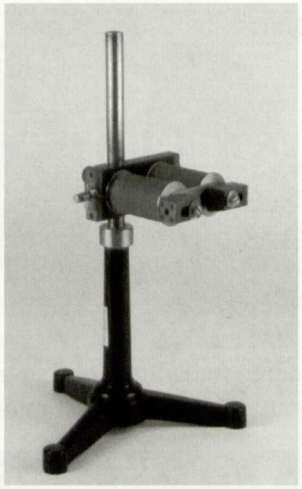


Fig. 405

292. ELECTROIMÁN PARA EFECTO FARADAY

Nº inv.: 95/31/53
1920-1940
28x28x50,5 cm
Acero, cable, latón, metal
«ADAM HILGER LTD.» / «LONDON, ENGLAND» / «Nº B. 68. 301 / 35207»

Mediante los electroimanes de que consta este instrumento podemos concentrar un intenso campo magnético uniforme entre los dos núcleos. Este campo magnético está destinado en óptica a provocar una rotación en el plano de polarización de la luz que lo atraviesa, fenómeno descubierto por Faraday en 1845, y que recibe el nombre de efecto Faraday. Si esa luz se observa mediante un espectroscopio se puede observar un desdoblamiento de las rayas espectrales conocido como efecto Zeeman. Para observarlo, se sitúa un vidrio polarizador entre los polos del electroimán y se hace pasar un haz de luz polarizada a través del vidrio. Mientras esté pasando corriente por el electroimán se podrá observar, situando un analizador a la salida del haz de luz, que el plano de polarización de la luz polarizada por el vidrio se ha desviado un determinado ángulo, el cual será proporcional a la intensidad de la fuerza magnética. El desdoblamiento de las rayas espectrales correspondientes a esta luz bajo el efecto del campo magnético también puede dar información sobre la intensidad de éste.

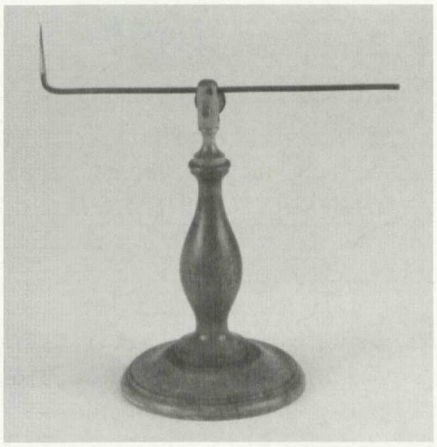


Fig. 406

293. ILUSTRACIÓN DE LOS EJES DE UN CRISTAL

Nº inv.: 95/31/718
1880-1900
22x11,6x20 cm
Madera, plata

Este sencillo instrumento didáctico permite mostrar la existencia en los cristales birrefringentes de dos ejes ópticos (ejes en los cuales no se produce doble refracción), mediante la diversa conductibilidad que presenta el medio en dichas direcciones. Si se calienta el extremo plano, evitando que el calor irradie a la punta situando entre medias una pantalla, que falta, y se sitúa en el extremo afilado una lámina de cristal recubierta de una capa de cera, se comprobará que, si el cristal ha sido tallado perpendicularmente al eje la cera se funde en un círculo con centro en la punta (porque en esta dirección el medio se comporta como isótropo), y si ha sido tallado paralelamente funde en forma de elipse (porque en esta dirección el medio se comporta como anisótropo y se produce variación en la velocidad de propagación de la luz).

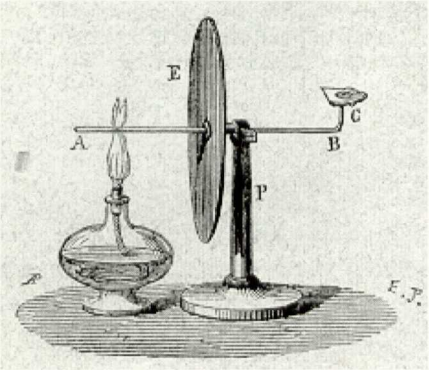


Fig. 407.- Ilustración de los ejes de un cristal

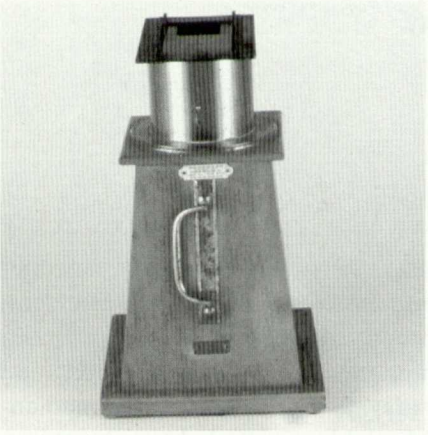


Fig. 408

294. CONO DE AUMENTO PARA VERASCOPIO

Nº inv.: 95/31/37
1890-1920
19x20x32,6 cm
Madera, latón, vidrio, metal, pasta, cuero
«CÔNE D'AGRANDISSEMENT» / «POUR VERASCOPE»
«J. RICHARD» / «10, RUE HALEVY (près l'Opéra)» / «USINE; 25, RUE MELINGUE. PARIS»
«``THE CASTLE´´» / «Elias Sangil» / «Cádiz, 7. Madrid.»

El verascopio, o veráscopo, es un instrumento fotográfico que se emplea para tomar vistas estereoscópicas de reducido tamaño. Este cono se emplea para, una vez obtenidos los negativos de las vistas con el verascopio, ampliarlas, siendo fijo el aumento que permiten al serlo su distancia focal. En la parte más estrecha se coloca el negativo y en la más ancha la placa impresionable, se dirige el instrumento a la luz, no al sol, y se descubre el objetivo durante el tiempo necesario mediante la palanca, obteniéndose así un nuevo negativo de mayor tamaño.

Fig. 409

Fig. 410

295. ESTEREOSCOPIO CLASIFICADOR

Nº inv.: 95/31/410
1890-1920
26x26,5x42 cm
Madera, vidrio, metal
«Société des Etablissments» / «Gaumont» / «CONSTRUCTEUR BTE. S.G.D.G.» / «Nº 2470» ; «PARIS».
«STEREOSCOPE CLASSEUR» / «BTE. S.G.D.G.» / «L. Gaumont & Cie.»

Los estereoscopios son aparatos ópticos de uso corriente en el s. XIX que permiten ilustrar los efectos ópticos responsables de la apreciación del relieve. Este modelo clasificador fue ideado y construido por la casa Gaumont, que empezó a trabajar en París en el año 1883 fabricando equipamiento fotográfico de precisión. Las vistas fotográficas destinadas a ser observadas con este tipo de aparatos se han realizado tomando dos visiones diferentes del objeto, una con perspectiva izquierda y otra derecha. Al superponerse ambas imágenes sobre la retina se forma una imagen con apariencia de profundidad. Este estereoscopio, a veces llamado estereodromo, tiene la ventaja sobre los sencillos (únicamente permiten observar sucesivamente un determinado número de pruebas) de que además puede clasificarlas y seleccionar cualquiera de ellas.

Fig. 411

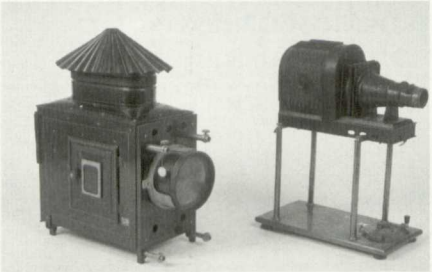


Fig. 412

296. DOS LINTERNAS MÁGICAS

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/85; 95/31/415
1910-1925; 1895-1915
45x23x59 cm; 41x21,5x55 cm
Madera, latón, hojalata, vidrio, carbón, acero
«BREVETE/S.G.D.G PATENT» (95/31/415)

La linterna mágica, destinada a proyectar en una pantalla las imágenes pintadas o impresas en una placa de vidrio, fue ideada por Kircher en 1675, alcanzando su mayor popularidad a lo largo del s. XIX con aplicaciones científicas, artísticas, educativas y de entretenimiento. Consta este modelo de un cuerpo metálico, un arco voltaico como fuente potente de luz (ausente), de una lente condensadora y de otra de proyección (ausente).

Fig. 413

297. PROYECTOR DE CUERPOS OPACOS

Nº inv.: 95/31/86
1930-1950
56,5x23x54,5 cm
Hojalata y vidrio
«ZEISS / IKON / MADE IN GERMANY»

Un episcopio o proyector de cuerpos opacos es un instrumento que permite, como su nombre indica, proyectar por reflexión sobre una pantalla la imagen de un objeto no transparente. Consta de un sistema de espejos que refleja la imagen del objeto iluminado por un potente foco, imagen que se observa finalmente en una pantalla, aunque más débil que la obtenida mediante otro sistema de proyección.

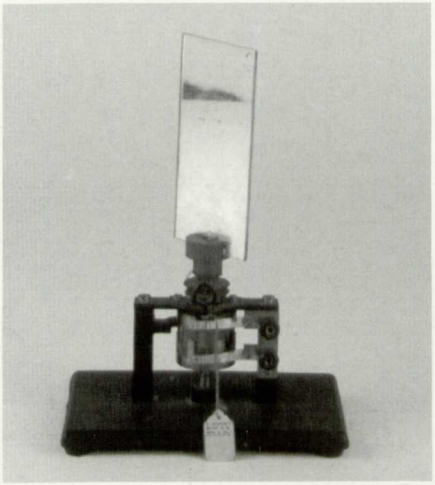


Fig. 414

298. ESPEJO GIRATORIO

Nº inv.: 95/31/514
1930-1960
19x13x18,5 cm
Acero, plástico, vidrio, goma, metal
«E. Leybold's» / «Nachf. A.-G.» / «Köln a. Rh.» / «Berlín»

Este instrumento se emplea para producir un giro continuo del espejo plano situado en la parte superior, destinado a experiencias ópticas. Para ello consta de un pequeño motor que puede funcionar tanto con corriente alterna como continua.

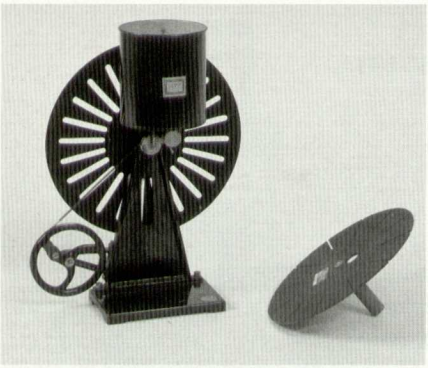
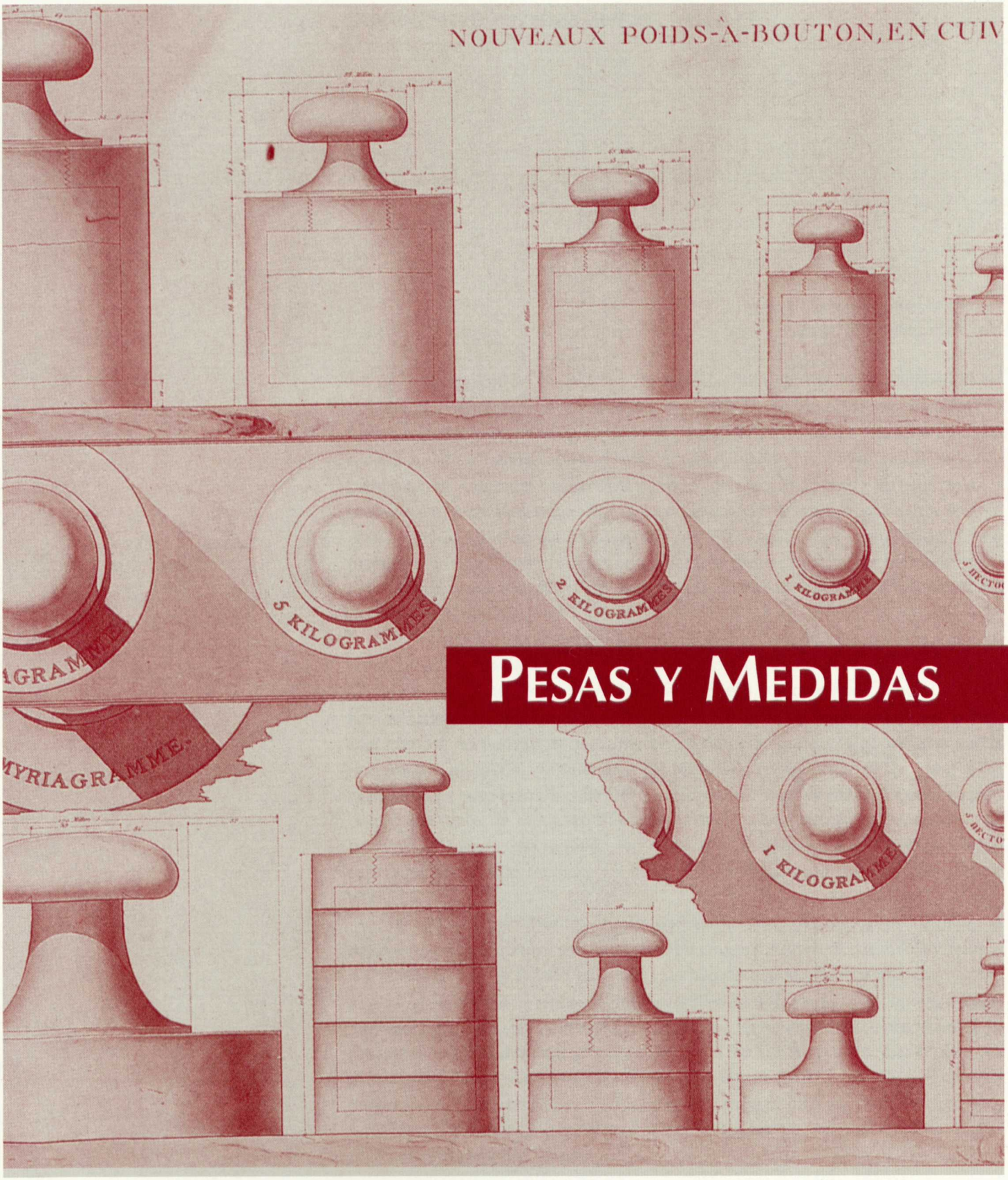


Fig. 415

299. APARATOS PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS

Nº inv.: 95/31/411; 95/31/412
1900-1920; 1940-1970
33x14x42,8 cm; dm. 25,5x9,6 cm
Cartón, madera, hierro, metal, pasta
«MACALASTER» / «SCIENTIFIC» / «CORPORATION»
«Manufacturer - Distributor» / «Cambridge, Mass.» (95/31/412)

Los efectos estroboscópicos se basan en el fenómeno de la persistencia de la imagen en la retina y se pueden producir, por ejemplo, gracias a los instrumentos que observamos en la fotografía. El primero de ellos se emplea para observar la descomposición en gotas de un chorro de agua. Si observamos como cae el líquido contenido en el depósito a través de la rueda con rendijas girando a una velocidad mayor que la del descenso del agua, lo que observaremos será únicamente un instante de la caída. Esto nos permite apreciar las gotas que, cuando se desplazan a gran velocidad dan la impresión de caída continua. De forma similar funciona el segundo instrumento, que nos permite observar estos fenómenos en general. Si observamos a través de él un cuerpo en movimiento nos permitirá captar cada una de las instantáneas que lo componen, que al sucederse a gran velocidad nos dan la sensación de continuidad.



Pesas y Medidas

NUEVOS PATRONES. PESAS, METROS Y RELOJES

Leonor González de la Lastra
Rosa Mª Martín Latorre

La adopción de un sistema de medidas ha sido desde la antigüedad (se conocen balanzas romanas del año 5000 a.C.) una necesidad impuesta por las actividades mercantiles y comerciales, especialmente en los casos de medidas de capacidad, longitud y peso. Cada centuria y cada país, incluso cada región o cada pueblo, ha tenido sus propios patrones de medida, estando algunos de ellos basados en partes del cuerpo humano: pulgada, pie, braza,... Contra esta diversidad intentaban luchar los estados con un fuerte gobierno centralizado, como Inglaterra o Francia, con el objeto de crear una cierta uniformidad entre los diversos sistemas; pero esta tarea era complicada en países con numerosas entidades políticas o administrativas.

Se hicieron varios intentos a lo largo de la historia de imponer una estandarización, al menos dentro de un mismo estado: el imperio Romano, Guillermo el Conquistador a fines del s. XI, en Inglaterra en el s. XV o en Francia en el s. XVIII. Fue en este último siglo cuando el estudio de la metrología empezó a cobrar importancia en Europa, especialmente en Francia, donde se plantearon varias propuestas con tal fin, aunque, para dar idea de la complejidad del proceso mencionaremos como ejemplo que, sólo en Francia a fines de ese siglo existían 700 denominaciones de medidas diferentes y que las medidas no sólo variaban de una región a otra, sino también, en ocasiones, dependiendo del tipo de objeto que estuviera siendo medido: no es lo mismo una arroba de vino que una de aceite.

Las razones para buscar una unidad en las medidas eran muy variadas. A pesar de que en algunos casos se intentaba conservar las medidas patrón en lugares públicos para que todo el mundo pudiera consultarlas, reproducirlas y confrontarlas, la existencia de tantas medidas diferentes dificultaba el comercio internacional, que empezaba a ser cada vez más frecuente, tendiendo a permanecer un sistema de autoridad feudal y favoreciéndose el fraude. Así pues, se hacía cada vez más urgente la necesidad de una unificación de medidas, y no sólo por razones comerciales o sociopolíticas, a éstas también se unían otras de carácter científico, pues para las observaciones físicas y geodésicas cada vez era más importante disponer de instrumentos fiables.

Francia fue el país pionero en la proposición de reformar completamente el sistema de pesas y medidas, encargándose a una comisión de científicos el estudio del problema[1]. El nuevo sistema incluiría múltiplos y submúltiplos decimales y buscaría ser estable, homogéneo y universal.

Como medida de longitud se propuso en principio la del péndulo batiendo un segundo en el Ecuador, pero se descartó esta posibilidad, primero, por las variaciones de la gravedad con la latitud, que influían en la oscilación, y segundo, porque de este modo se veía sometida a otra medida en cierto modo arbitraria: el segundo. Así, en 1791, se definirá el metro como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, una unidad referida a una magnitud natural precisa e inmutable. La determinación de esta magnitud se llevó a cabo, no sin dificultades, mediante la triangulación de un arco de meridiano de Dunquerque a Barcelona[2], proceso que finalizaría en 1798. Una vez que tales mediciones fueron llevadas a cabo, se invitó a las naciones neutras y aliadas, entre ellas a España, a participar en la determinación de los patrones definitivos, que se aprobaron en 1799.

A partir de esta medida se definieron los patrones de volumen y de peso: el litro será la medida de capacidad, tanto para líquidos como para sólidos, definida por el cubo cuyo lado es la décima parte del metro; la unidad de masa, el gramo, será el peso de un centímetro cúbico de agua a la temperatura del hielo fundente.

Uno de los primeros problemas con que se enfrentó el nuevo sistema fue el de la nomenclatura. Se propusieron dos tipos, uno metódico y el otro compuesto de nombres simples y monosílabos. Con el apoyo de la Real Academia de Ciencias de París, será la nomenclatura metódica la que se impondrá, además de por su sencillez, por razones de carácter ideológico y por su significado como inicio de una lengua universal. Esta nomenclatura se aplicó de forma sistemática a múltiplos y submúltiplos el 7 de abril de 1795.

Otro de los problemas era disponer de los artesanos adecuados para llevar a cabo la fabricación de los patrones, de los cuales se pudo disponer a partir de 1799.

El proceso de elaboración de este sistema fue, por tanto, lento y difícil. Su creación, iniciada en 1790, llevará 10 años, en los que poco a poco se irán cubriendo las diferentes etapas: la imposición de la idea de la adopción de un sistema métrico, el establecimiento de una nomenclatura, la fabricación de los patrones y la difusión de este sistema por el país.

Por otro lado, más lenta será aún la implantación definitiva y uso generalizado de este sistema, que llevará, en Francia, unos 40 años, considerándose culminado en torno a 1837, año en que se decreta la prohibición de utilizar otras medidas diferentes de las del sistema métrico a partir del 1 de enero de 1840. En otros países este proceso será aún más lento[3].

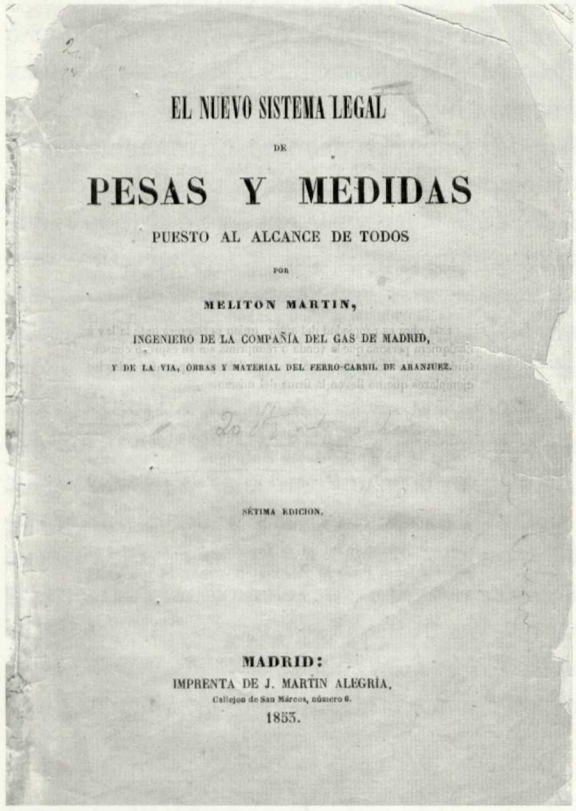
Una vez entrado en vigor el decreto antes mencionado, el gobierno francés comienza a difundir el nuevo sistema a otros países con el objeto de generalizar su uso. Así, en 1841, se propone intercambiar colecciones de patrones de medida de longitud, peso y capacidad con otros países con los que mantenían relaciones comerciales, Inglaterra, Rusia, Holanda, y los estados de Alemania e Italia. 18 estados enviaron sus muestras en los años siguientes, algunos de ellos tras reci-

[1] Para un estudio general del problema, véase por ejemplo Debarbat, S. y Ten, A.E. (eds.), *Métre et systeme Métrique*, París: Observatorio; Valencia: Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia, 1993 (especialmente Payen, J., «Une vocation essentielle du Conservatoire National des Arts et Métiers: La Métrologie et la diffusion du système Métrique», pp. 34-35), o el catálogo de la exposición organizada por el Musée National des Techniques, CNAM, *L'Aventure du Mètre*, celebrada en París, 4 abril - 30 octubre 1989.

[2] Un estudio detallado del proceso y la realización de la medición del arco de meridiano puede verse en Ten, A., *Medir el Metro*, París: Observatorio; Valencia: Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia, 1996.

[3] Para el caso de España véase, por ejemplo, Gutiérrez Cuadrado, J. y Peset, J. L., *Metro y Kilo: el sistema métrico decimal en España. Akal historia de la ciencia y de la técnica*, nº 35, Madrid: Akal, 1997 y Vicente Aznar, J. & Bertomeu, J.R., «La polemique sur l'adoption du Système Metrique Decimal en Espagne», en Debarbat, *op. cit.*, pp. 98-99.

bir el ejemplar francés, proceso que se dio por finalizado en octubre de 1847. El envío francés consistía en tres patrones de latón acompañados de un certificado. Algo más tarde, el Conservatoire des Arts et Métiers, institución que se encargará a partir de 1848 de este tipo de operaciones, enviará otras colecciones similares a otros países, como Inglaterra, Austria, España, Estados Unidos, Japón, Portugal, México, Nueva Granada (Colombia) y Venezuela. De estos últimos, sólo España, Inglaterra y Estados Unidos enviaron sus patrones a Francia, entre los años 1850 y 1855. En España se impone el uso de este nuevo sistema en 1849, fecha en que se aprobó la *Ley de pesas y medidas*[4] que obligaba a la adopción del sistema métrico decimal; no obstante, su uso no se generalizaría en nuestro país hasta 1875, fecha en que, como veremos, dicho sistema se adopta internacionalmente. En efecto, en 1875 los representantes de 17 estados firmaron la "Convention du Mètre", conocido como Convenio de París, aceptando definitivamente el Sistema Internacional de Pesas y Medidas, que será adoptado en las ciencias, artes, la industria y el comercio.



EL NUEVO SISTEMA LEGAL

DE

PESAS Y MEDIDAS

PUESTO AL ALCANCE DE TODOS

POR

MELITON MARTIN,

INGENIERO DE LA COMPAÑÍA DEL GAS DE MADRID,

Y DE LA VIA, OBRAS Y MATERIAL DEL FERRO-CARRIL DE ARANJUEZ.

SÉTIMA EDICION.

MADRID:

IMPRENTA DE J. MARTIN ALEGRÍA,

Callejon de San Márcos, número 6.

1853.

Fig. 416.- *El nuevo sistema legal de pesas y medidas*, (portada)

Este Convenio creó un organismo encargado de asegurar la uniformidad de las medidas físicas en el mundo: el Bureau International des Poids et Mesures (Oficina Internacional de Pesos y Medidas), instalado en Sèvres, que estudia los prototipos nacionales e internacionales. Tiene como objeto proporcionar los patrones y calibrar las medidas obtenidas por otros países con el objeto de que la unificación de medidas sea efectiva. Cada país envía sus patrones a esta oficina para que sean calibrados y poder obtener a partir de ellos otros nuevos.

[4] Véase la obra, Martin, M., *El nuevo sistema legal de pesas y medidas puesto al alcance de todos*, Madrid: Imprenta de J. Martín Alegría, 1853 (7ª ed.).

La medida patrón para la longitud

El primer patrón universal de longitud, como hemos visto, se definió como la longitud de la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. La determinación de este arco de meridiano fue llevada a cabo por los científicos franceses J. B. J. Delambre (1749-1822) y P. F. A. Mechain (1744-1804) entre 1792 y 1798, empleando el círculo diseñado por Jean Charles de Borda (1733-1799) y fabricado por Etienne Lenoir.

Con los resultados de esta medición, se fabricaron en platino los patrones que sirvieron de modelo universal. El metro fue inicialmente una regla plana de sección rectangular, que en 1889 se sustituyó por una barra en forma de X, para evitar la influencia en el volumen de los cambios de temperatura, fabricada en una aleación de platino - iridio.

Este patrón no obstante, se ha ido modificando a lo largo del tiempo con el objeto de llegar a un modelo cada vez más preciso. En 1960, debido a que la precisión de esta muestra no era suficiente para las nuevas necesidades, se sustituyó por el definido por la longitud de onda de una radiación emitida por el Kriptón 86, y en 1983 por el espacio recorrido por la luz durante 1/299792458 de segundo, definición que empleamos actualmente.

La principal condición que han de cumplir los patrones físicos construidos a partir de estas definiciones, que se emplearán para comparar y construir otros a partir de ellos, ha de ser la invariabilidad, razón por la que han de elegirse adecuadamente los materiales, la forma y el sistema de suspensión, teniendo en cuenta la influencia de la temperatura y otros factores[5].

Los primeros metros patrón se hicieron de forma rectangular o cuadrada, y luego fueron cambiando hasta adoptar otras formas que los hicieran más insensibles a las variaciones, como por ejemplo la adoptada en 1889 u otros modelos, con sección en H o en escalera. A principios del s. XX cada institución disponía de sus propios modelos patrón, a partir de los cuales construían otros destinados a su vez al uso. Para que estos patrones tuviesen validez, eran enviados a la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, que comparaba la muestra con los patrones oficiales y certificaba su validez y peso exacto, lo cual garantizaba su exactitud.

Medidas de masa

Habitualmente la masa de un cuerpo suele confundirse, en el lenguaje menos científico o más popular, con el término "peso" con el que distinguimos la fuerza con la que todos los cuerpos son atraídos por la fuerza de la gravedad, y que resulta ser proporcional, en cada punto de la superficie terrestre, a la masa del propio cuerpo, siendo la aceleración debida a la gravedad en dicho punto la constante de proporcionalidad. El peso es por tanto una fuerza, y la masa una "cantidad de materia", término éste introducido por los filósofos escolásticos, y que Newton ya en el s. XVII había manifestado la necesidad de distinguir explícitamente del peso de los cuerpos.

[5] Para detalles de la influencia de estos factores, así como los métodos de fabricación de patrones de longitud a principios del s. XX, véase Glazebrook, Sir R., (ed.), *A dicionary of applied physics*, Nueva York: Peter Smith, 1950 (1ª ed. 1922), vol. 3, pp. 465-477.

Ambos valores pueden ser sin embargo comparados con el mismo instrumento de medida, la balanza, aparato con el que es posible encontrar el valor de una masa desconocida a partir de los valores de masas conocidas con tan sólo buscar el equilibrio en la pesada.

A lo largo de la historia se han diseñado diferentes tipos de aparatos para la medida de las masas, desde las primeras balanzas romanas hasta los más modernos sistemas digitales en los que la medida se realiza de forma automatizada, la evolución de este tipo de instrumental nos ofrece, en una primera clasificación, cuatro grupos bien diferenciados: balanzas de brazos iguales, balanzas con brazos desiguales, balanzas de muelle y finalmente, todos aquellos aparatos que nos ofrecen medidas instantáneas. Existen no obstante, varios tipos de balanzas cuyo diseño bien definido atiende fundamentalmente al fin para el que son creadas, tal es el caso de la balanzas de farmacia, las balanzas de monedas, las balanzas postales o las balanzas químicas[6].

La medida de la masa de un cuerpo ha sido tradicionalmente una de las preocupaciones de la humanidad. La necesidad de disponer de un sistema de media único e internacional es evidente en los usos mercantiles e industriales, y no menos evidente en las farmacias y laboratorios, fundamentalmente químicos, en donde las balanzas de precisión, cuyo uso fue generalizado por Lavoisier hacia finales del s. XVIII, se convirtieron en piezas claves del desarrollo de la química.

En España, la *Ley de pesas y medidas*, dictaminada por Isabel II en 1849, establecía que el sistema métrico y decimal habría de ser el sistema legal y único de medidas en todo el reino. En ella se toma el gramo como unidad de masa, y se establece que el kilogramo, que es el peso en el vacío de un decímetro cúbico de agua destilada y a la temperatura de cuatro grados centígrados, será la *unidad usual*[7], siendo sus múltiplos: el quintal métrico (100.000 gramos) y la tonelada métrica (1.000.000 gramos) también de uso frecuente.

De la preocupación internacional por la uniformidad de las medidas surge hacia finales del s. XIX el Bureau International des Poids et Mesures, organismo cuyo cometido principal, como se ha señalado, no era otro que el de crear los patrones con los que todos los países debían calibrar sus medidas para que la unificación de éstas fuera un hecho. En la Facultad de Ciencias Físicas se conserva un certificado sellado por este centro y fechado en 1912, de tres pesas patrón de masas: 100 gramos, 10 gramos y 1 gramo, construidas en cuarzo por el fabricante Alb. Rueprecht, y destinadas al Laboratorio de Física de la Universidad de Madrid.

La medida del tiempo

El tiempo, junto con la masa y la longitud, es una de las tres medidas fundamentales. La determinación del tiempo ha estado siempre muy directamente relacionada con la astronomía, pues durante muchos años ha estado determinado por la rotación de la Tierra en torno a su eje y en torno al Sol.

Hay diferentes tipos de "tiempo", pues no es el mismo el que miden los reguladores astronómicos que los relojes domésticos: el tiempo sidéreo está definido

[6] Puede verse una representación de cada tipo de balanzas en la obra, Turner, G. L'E, *Nineteenth - Century Scientific Instruments*, Londres: Sotheby Publications, 1983, cap. 3.

[7] Martin, *opus cit.*, p. 167.

por la rotación aparente de la cúpula celeste, la cual define un día sidéreo, dividido a su vez en 24 horas; el tiempo solar, estando el día solar definido por el paso del Sol por el meridiano, varía dependiendo de la latitud y el día del año. Actualmente, se utiliza un tiempo estándar universal. Uno de los primeros intentos de estandarización del tiempo en Inglaterra tuvo lugar en 1880, fecha en que el Parlamento estableció que la hora oficial estaría dada por la hora media en Greenwich. Cuatro años después se celebró en Washington la *International Meridian Conference*, en la cual veinticinco países decidieron que Greenwich sería adoptado como el primer meridiano de longitud terrestre, y que por tanto indicaría la hora universal, actualmente en uso.

Además de diversos tipos de tiempos, existen diversos tipos de relojes, dependiendo de a qué esté destinada su medida: cronómetros marinos, metrónomos, relojes de sol, eléctricos, reguladores astronómicos, etc. Nosotros trataremos sólo estos últimos[8], pues son los que encontramos presentes en la Colección de la Facultad de Ciencias Físicas.

A lo largo de los tiempos, se han ido produciendo sucesivos avances en los sistemas de predicción del tiempo, todos orientados a conseguir una mayor precisión. Los primeros relojes mecánicos que se conocen datan del s. XIV. En la segunda mitad del s. XVII, Huygens diseñó el primer reloj de péndulo efectivo; los posteriores avances en este tipo de relojes hicieron posible el perfeccionamiento de modelos portátiles. No obstante, como hemos visto, la estandarización de la hora no se produjo hasta finales del s. XIX y, hasta ese momento, cada zona tenía su hora local, empleándose incluso a veces relojes de sol para comprobar la precisión de los otros modelos. Se fabricaban relojes domésticos de considerable precisión, que la perdían gradualmente cuando el aceite del mecanismo se volvía viscoso. También había modelos de gran precisión para fines específicos, especialmente para navegación y astronomía.

En navegación, el cronómetro marino, ideado por John Harrison (1693-1776) supuso uno de los mayores logros tecnológicos de la época, pues permitió la determinación exacta de la longitud en el mar, imprescindible para conocer la posición del barco.

En astronomía, la precisión era un factor muy importante, pues, para la exactitud de las observaciones era preciso que los telescopios pudieran seguir perfectamente el movimiento de los astros. Además era imprescindible el conocimiento exacto del tiempo para determinar la hora sidérea, con ayuda de telescopios zenitales, que podía ser comprobada por el paso de una estrella por un punto determinado.

Los relojes eléctricos empezaron a fabricarse a mediados del s. XIX. En ellos es la corriente eléctrica la que provoca los impulsos que mueven el mecanismo, y puede incluso transmitir impulsos periódicos al péndulo. La primera dificultad que tuvieron que superar fue construir un contacto eléctrico completamente fiable, siendo fundamental este aspecto para la precisión del reloj. Ésta no se superó completamente hasta finales del siglo.

En esta sección hemos reunido, a modo de miscelánea, pues son pocas las piezas dedicadas a este tema, casi todos los aparatos destinados a la medida de la

[8] El resto de los sistemas pueden consultarse de forma general, por ejemplo, en Turner, *opus cit.*, cap. 2.

masa, la longitud y el tiempo que se conservan en la colección de instrumentos científicos de la Facultad de Ciencias Físicas. Constituye por tanto una buena representación de este tipo de instrumental, donde cabe destacar la colección de balanzas analíticas para usos fundamentalmente químicos, el regulador astronómico, poco frecuente en los laboratorios y gabinetes de física, el metro y las pesas patrón para el calibrado de las medidas de longitud y masa, y el péndulo eléctrico que probablemente fuera utilizado para regular la hora de todos los relojes de la propia Facultad.

PESAS Y MEDIDAS

Leonor González de la Lastra
Rosa Mª Martín Latorre
Encarnación Hidalgo Cámara

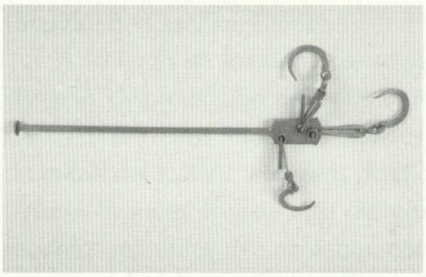


Fig. 417

300. BALANZA ROMANA

Nº inv.: 95/31/329
1850-1880
33,5x2x16,5 cm
Acero, latón

La balanza romana es una balanza de brazos desiguales que permite hacer cómodamente pesadas con poca precisión cuando ésta no es necesaria. Este tipo de balanza, basada en el principio de la palanca, es de origen muy antiguo. El cuerpo que desea pesarse se cuelga de uno de los ganchos, sosteniéndola por otro de ellos; a continuación se desplaza el peso por la barra hasta que se igualan los momentos de ambas fuerzas (peso y cuerpo), momento en que puede leerse directamente la pesada en la escala. Dicha escala está graduada de 1 a 8 y de 8 a 26, seguramente en libras, pues una libra está dividida en dieciséis onzas y son dieciséis las divisiones de cada unidad de la escala.

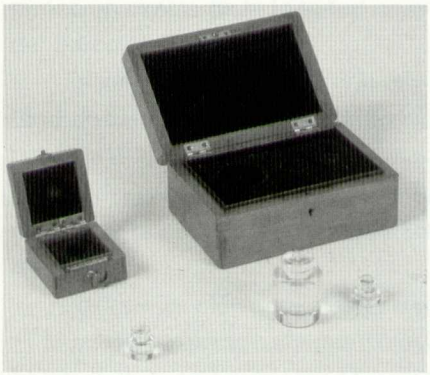


Fig. 418

301. PESAS PATRÓN EN ESTUCHE

De izquierda a derecha, nº inv.: 95/31/624; 95/31/625
1910-1920; 1912
6,3x5,8x3,2 cm; 10x15x6,7 cm
Madera, terciopelo, metal, cuarzo
«Alb. Rueprecht & Sohn» / «Wien. IV/2»

En la fotografía observamos dos juegos de pesas patrón fabricadas en cuarzo para asegurar la invariabilidad del material. Estas pesas eran copia de las pesas patrón que se hallaban en el *Bureau International des Poids et Mesures*, en Sèvres, institución que se encargaba de entregar modelos como este a centros de diversos países con el objeto de que éstos fabricaran sus propios patrones a partir de ellas. El juego constitui-

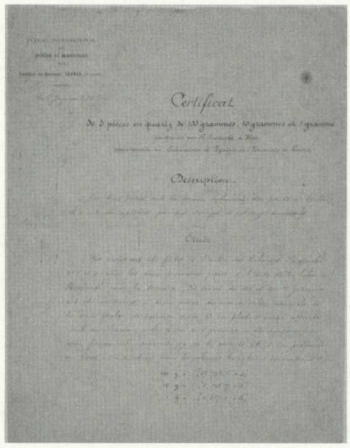


Fig. 419

Fig. 418

do por las tres pesas va acompañado de un certificado, en el que se indica que van dirigidas al Laboratorio de Física de la Universidad de Madrid y se certifica el peso exacto de cada una de ellas: 100g., 10g.,1g.

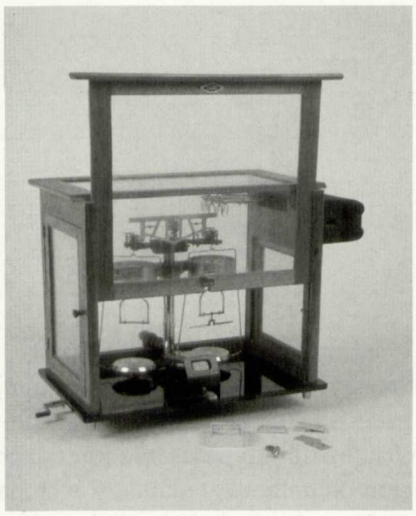


Fig. 420

302. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/311
1940-1965
55x34x48,5 cm
Madera, vidrio, plástico, metal
«MALAGA 11/ MADRID / CEDAC / Nº 4086 286». «CEDAC»

En esta balanza el constructor ha reunido cuatro dispositivos ya introducidos por otros constructores con anterioridad a la II Guerra Mundial, como son la escala micrométrica en el interior de una pequeña montura rectangular dispuesta en el fiel (obra de A. Collot), el sistema de proyección óptica para la lectura de la escala (introducido también por A. Collot), el mecanismo de amortiguación pneumática de los platillos mediante cilindros situados encima de estos (practicado con anterioridad por fabricantes tan conocidos como Sartorius) y, por último, un dispositivo para la colocación desde el exterior de la caja de diminutas pesas anulares del estilo de las utilizadas, por ejemplo, por A. Rueprecht, que utilizó varillas individuales en vez del sistema tradicional de una única varilla para los jinetillos. Por lo tanto, el interés de esta pieza no radica en su originalidad sino en la reunión de características bien conocidas con anterioridad a su construcción, aunque han sido modernizadas. *E. H. C.*

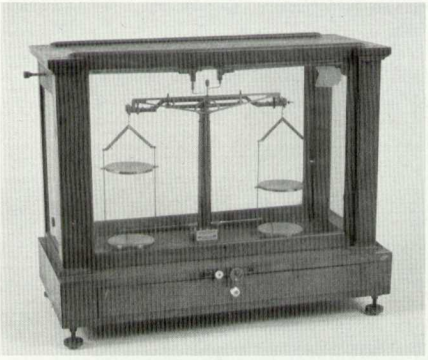


Fig. 421

303. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/312
1860-1890
68x32x52 cm
Madera, vidrio, metal, marfil
«BECKER'S SONS / ROTTERDAM».

Esta balanza, si bien cumple las funciones clásicas de las balanzas analíticas de su época, presenta una serie de peculiaridades que son consecuencia de la práctica de cada fabricante de introducir modificaciones sobre las características básicas. Así, la longitud de la palanca es superior a las palancas de brazo corto de Bunge, el sistema de detención de los platillos es independiente del de la palanca y los estribos, y los platillos son dobles, es decir, de cada extremo de la palanca cuelgan dos platillos idénticos dispuestos en columna y unidos por un mismo estribo.

Este sistema de platillos dobles era el utilizado por este mismo fabricante en tareas de calibrado de pesas. Para ello, ciertos modelos incorporaban además un dispositivo en el interior de la caja cercano al platillo izquierdo. Este dispositivo consistía en dos pequeñas bandejas que accionadas desde el exterior colocaban la pesa que se desease calibrar en el platillo superior. Tras realizar esta primera pesada, se retiraba la pesa del platillo superior y se disponía en el inferior un conjunto de pesas, la suma de cuyos pesos, supuestamente, era igual al de la primera pesa. El resultado de esta segunda pesada debía ser idéntico al de la primera. Este procedimiento se realizaba desde el exterior sin necesidad de abrir la caja. En este modelo falta este dispositivo, pero los agujeros de los vidrios laterales corresponden a las aberturas por las que se introducían las varillas para colocar las pesas en los platillos sin abrir la caja, por lo que esta función podía realizarse igualmente.

El dispositivo de varilla para los jinetillos (doble también, una a cada lado de la caja) sí es el habitual. *E. H. C.*

Fig. 422

304. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/313
1890-1920
57x28x50 cm
Madera, metal, vidrio, pasta
«A. Collot & Cie. a Paris».

Por sus características, se trata de una balanza diseñada para trabajos químicos y operaciones técnicas, en general, de no excesiva complejidad. La palanca no está graduada, no existe la varilla para colocar los jinetillos o pesas inferiores al gr., aunque sí estaba dotada de sistema de detención de palanca y platillos, accionado mediante una palanca en el exterior de la caja, y de nivel al pie de la columna. *E. H. C.*

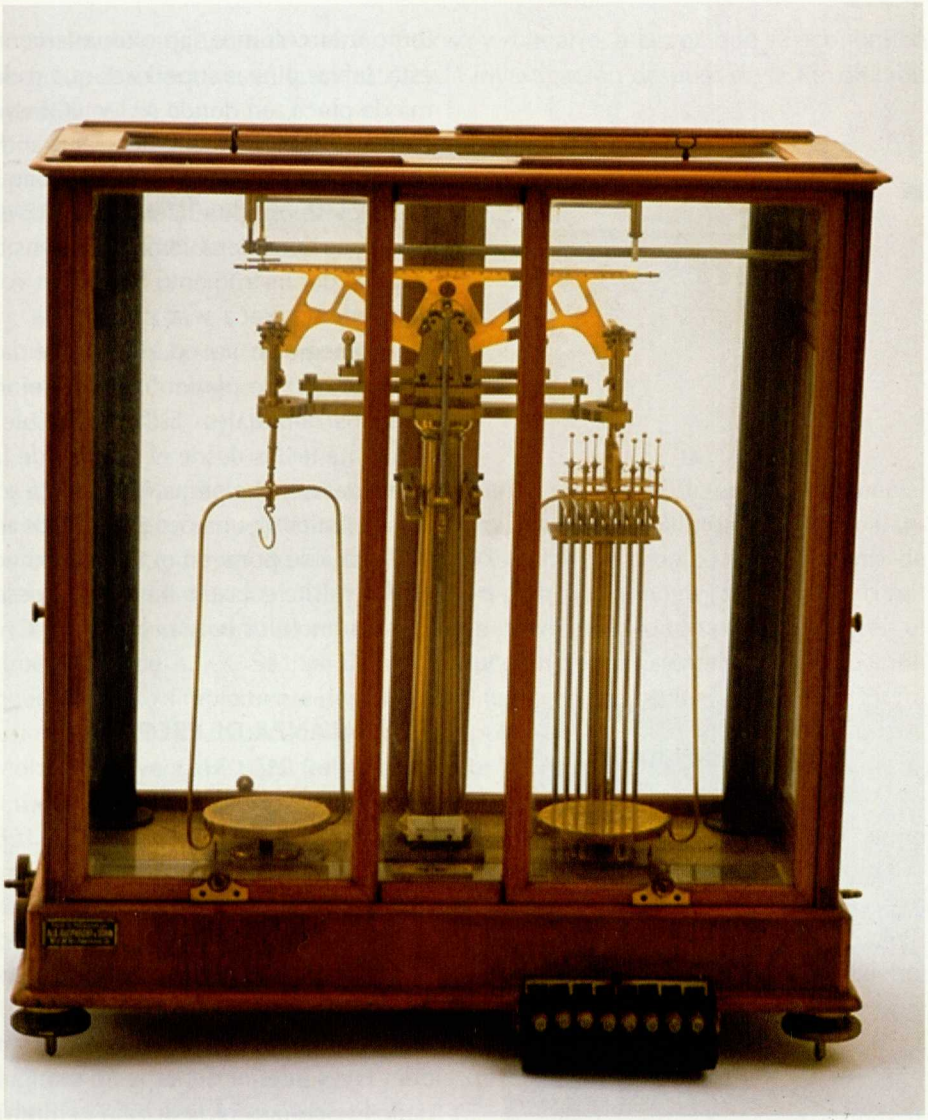


Fig. 423

305. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/314
1895-1920
66x35x69 cm
Madera, vidrio, metal, marfil
«ALB. RUEPRECHT & SOHN»

Esta es una balanza analítica de muy alta precisión diseñada para ser utilizada en establecimientos industriales en los que se requerían numerosas pesadas, exactas y rápidas. Junto a las características habituales de las balanzas analíticas de su época, esta pieza presenta un sistema de manipulación de pesas anulares y un dispositivo para reducir la sensibilidad de la balanza, innovaciones ambas de su constructor.

El dispositivo de reducción de la sensibilidad permite efectuar una primera pesada muy rápida, cuya exactitud se ajusta después utilizando las pesas anulares de miligramos. Para esa primera pesada se ha dispuesto un sistema de soportes en

torno a la columna, aproximadamente a algo más de los dos tercios de altura de esta. En las pinzas superiores que rodean la columna se sitúa la pesa mayor en forma de placa, en donde se lee «Oben», y en las pinzas inferiores, la pesa en forma de placa menor. Al accionar el mando posterior del lateral, las pinzas descienden dejando caer las placas sobre un pequeño soporte situado a esa misma altura en el fiel. De este modo el centro de gravedad de la balanza se desplaza hacia abajo y se reduce considerablemente la sensibilidad. Si se desea restablecer la sensibilidad original del instrumento basta con volver a accionar el mismo mando, y las pesas en forma de placa se alzarán.

La segunda novedad introducida en este modelo es el sistema de pesas anulares en hilo de platino o de aluminio, más fáciles y rápidas de manejar que los jinetillos habituales. Esto es posible gracias al sistema de palancas accionado mediante teclas desde el exterior de la caja. Cada tecla va conectada a una varilla que atraviesa una pequeña bandeja sobre el platillo izquierdo. Insertada en la varilla se encuentra una pesa anular, de manera que al pulsar la tecla desde el exterior de la caja se pone en marcha un mecanismo que hace descender la varilla y que esta deposite sobre la bandeja la pesa correspondiente. El efecto es el mismo que con los jinetillos habituales. *E. H. C.*

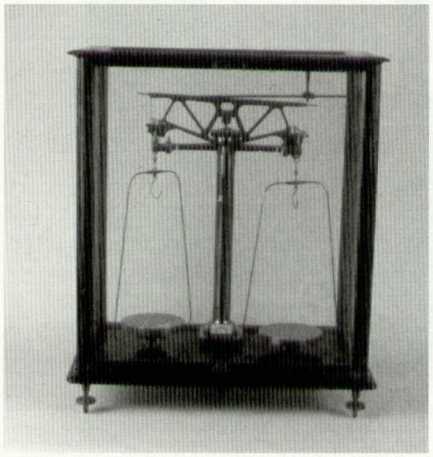


Fig. 424

Fig. 425

306. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/316
1885-1915
52x28x60 cm
Madera, vidrio, metal, pasta
«Alb. Rueprecht & Sohn WIEN IV/ 2 / Fabrik für Präzisionswagen»

La serie a la que pertenece este ejemplar de balanza analítica de Rueprecht se distingue fácilmente a la vista por la forma de su palanca en M, coronada por la regla graduada. Esta última es una sola pieza de metal y forma de triángulo invertido. En el interior del espacio triangular que queda entre la regla y los trazos inclinados se dispone la cuchilla central inserta en un bloque metálico. Los extremos de las patas de la M, ligeramente prolongados, sirven de apoyo para las cuchillas laterales. La aguja del fiel parte del vértice inferior de la palanca. A diferencia de muchas de estas balanzas, las cuchillas prismáticas de este ejemplar no son de ágata sino metálicas, lo que en este caso puede deberse a que sus dimensiones son mayores de lo habitual. En los extremos de la regla faltan las tuercas de ajuste de la palanca, pero se conservan las dos tuercas de ajuste para el centro de gravedad del fiel en la parte superior de éste.

Este modelo contaba con un dispositivo para la colocación de los jinetillos, o pesas inferiores a 1 gramo, en forma de una barra deslizante accionada desde el exterior de la caja. Dispone, además, de triple sistema de detención (para la palanca, los platillos y los estribos), instalado a lo largo del interior de la columna.

En este modelo encontramos reunidas las características que identifican a las balanzas analíticas modernas (brazo corto, cuchillas de ágata aunque en este caso son de metal, dispositivo para jinetillos, triple sistema de detención) y las distinguen de las clásicas (brazo largo, oscilaciones lentas y amplias, pesadas largas). La característica más llamativa de este ejemplar son sus dimensiones, superiores a otras balanzas del mismo tipo. Gracias a su introducción el trabajo de los químí-

cos analíticos empezó a ser menos tedioso y rutinario, a la vez que se economizó tiempo, factor decisivo en la industria y la investigación después de la Revolución Industrial. *E. H. C.*

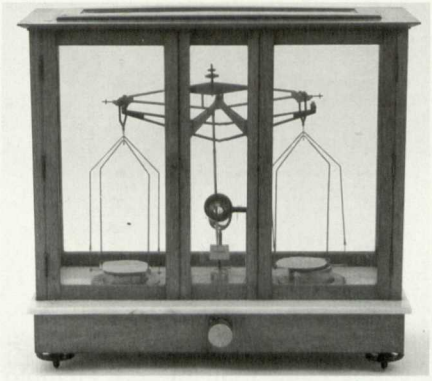


Fig. 426

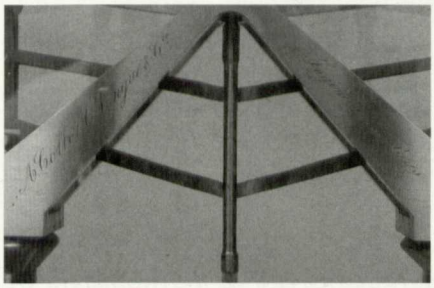


Fig. 427

307. BALANZA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/318
1890-1920
63x29,5x59,5 cm
Madera, vidrio, opalina, metal
«A. Collot C. Longue & Cie / Ingenieurs à Paris»

Este ejemplar de balanza analítica de gran precisión reviste un interés especial por tratarse de un modelo en el que, a las características habituales de las balanzas químicas modernas de finales del s. XIX (palanca de brazo corto, sistema de detención de palanca y platillos, dispositivo para pesas inferiores al gramo o reiter), se añaden una serie de novedades que conocerían fortuna desigual ya en el primer tercio del s. XX. Se trata de la introducción de un sistema de amortiguación pneumática (no simplemente de detención), cuyo diseño orginal fue obra de Pierre Curie en 1889, y la aplicación de un dispositivo óptico de lectura de la escala mediante proyección característico de este fabricante (A. Collot), cuyos fundamentos fueron presentados por Friedel ante la Academia de Ciencias de París en 1891. Este dispositivo de proyección se caracteriza por no utilizar anteojo alguno para la lectura de la escala, y en su lugar introducir una diminuta microescala trazada sobre un vidrio y dispuesta en una montura metálica en el mismo fiel. Aproximadamente a la altura de esta montura y detrás de ella se encuentra una lente de aumento. La mirada del observador se dirigía sobre esta microescala oscilante a través través de un tubo metálico en cuyo interior, presumiblemente, se disponía un filamento tenso que permitía la lectura de la microescala. Este modelo carece de dispositivo para los jinetillos o reiters, si bien otros modelos del mismo fabricante sí estaban equipados con él. *E. H. C.*

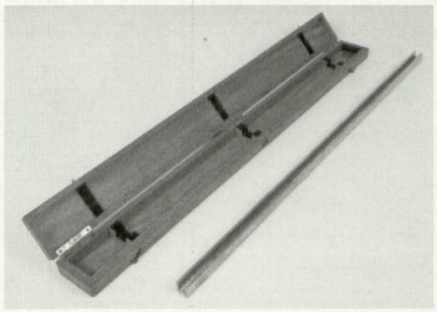


Fig. 428

308. METRO PATRÓN

Nº inv.: 95/31/327
1920-1940
106,2x10,5x5,4 cm
Madera, acero, metal
«S.I.P. GENEVE»
«INVAR « / «104»

Este metro es un instrumento de medida de longitud que sirve de patrón práctico, es decir, como modelo para fabricar otros a partir de él. La principal condición que ha de cumplir es la de ser inalterable, lo cual ha de tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el material (para evitar al máximo las variaciones de volumen con los cambios de temperatura) y la forma de la sección. Los primeros metros se hicieron de forma rectangular y luego fueron cambiando hasta adoptar otras formas, como la que presenta este modelo, con sección en H.

El metro se viene utilizando como medida de longitud estándar, en Francia (donde se impone el primer patrón) desde 1840 y en España desde 1849, fecha en que se aprobó la ley de Pesas y Medidas que obligaba a la adopción del Sistema Métrico decimal, aunque no se generalizó su uso hasta 1875, cuando dicho sistema se adoptó internacionalmente.

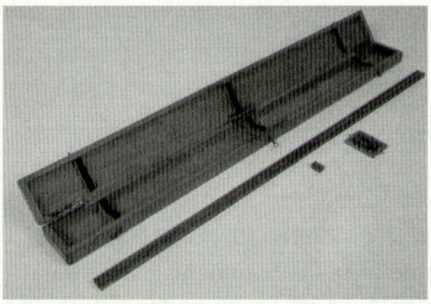


Fig. 429

309. ESCALA GRADUADA DE PRECISIÓN

Nº inv.: 95/31/626
1920-1940
106,3x10,5x5,4 cm
Madera, acero, metal, latón
«S.I.P. GENEVE»

Este instrumento, aunque no se ha podido documentar, probablemente constituya una escala destinada a realizar medidas verticales de longitud, por ejemplo con un catetómetro. Para tal fin está provisto de una precisa escala y de un sistema de cardan en el cual se encaja, de modo que pueda situarse completamente vertical y conseguir la máxima precisión posible en la medida

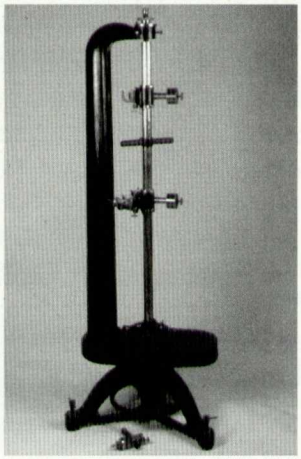


Fig. 430

310. CATETÓMETRO

Nº inv.: 95/31/640
1890-1920
62x63x167 cm
Hierro, acero, latón, vidrio
«SOCIETE GENEVOISE,» / «POUR LA CONSTRUCTION» / «D'INSTRUMENTS DE PHYSIQUE» / «GENEVE»

Un catetómetro es un instrumento destinado a medir diferencias entre alturas, a una distancia determinada.

En este caso, consta de dos anteojos horizontales, y no tiene escala vertical, por lo que la medida se realiza por comparación de la obtenida en cada anteojo. Así, conocida la distancia del instrumento al objeto, y la que media entre los anteojos, obtendremos mediante un sencillo cálculo trigonométrico la altura del objeto que se desea medir.

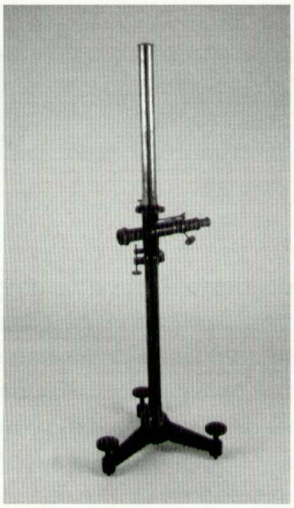


Fig. 431

311. CATETÓMETRO

Nº inv.: 95/31/733
1890-1910
31x34,5x106 cm
Hierro, acero, latón y vidrio
«Ph. Pellin» / «Paris»

Al igual que el anterior, este instrumento está destinado a medir la distancia entre dos puntos situados en la misma vertical, que vendrá dada por la diferencia entre los valores señalados en la escala cuando el anteojo está centrado en uno y otro punto. Este tipo de instrumento se diseñó en Francia a principios del s. XIX,

debido a la necesidad para el desarrollo de la física de llevar a cabo medidas precisas. Se utiliza para medir la altura de la columna de mercurio en barómetros, para medir la elasticidad de hilos, la acción capilar, etc. Para ello el anteojo ha de estar completamente horizontal en ambas medidas, lo que se consigue gracias al nivel. Este instrumento en concreto permite medir distancias de hasta 75 centímetros.

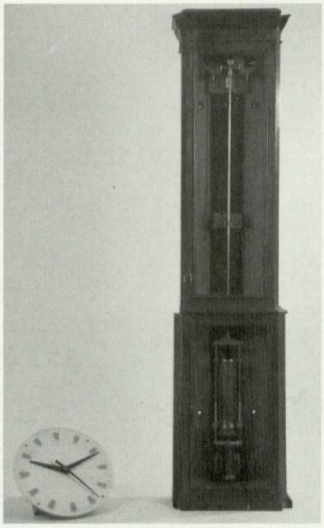


Fig. 432

312. PÉNDULO ELÉCTRICO

Nº inv.: 95/31/565
1910-1930
27,5x13x176 cm
Madera, latón, plástico, cobre
En el mecanismo del reloj: «PEYER-FAVARGER & Cº/SUCCESSrs de M.HIP.P./ NEUCHATEL, SUISSE./20025»

La particularidad de este reloj de péndulo es el mecanismo eléctrico que emplea para provocar el movimiento de los engranajes de las agujas de la esfera. En este caso el electroimán de la parte inferior (alimentado con una batería) produce el movimiento del péndulo, cuyas oscilaciones isócronas se transforman en impulsos eléctricos uniformes, que finalmente mueven la rueda dentada conectada con los engranajes de las agujas.

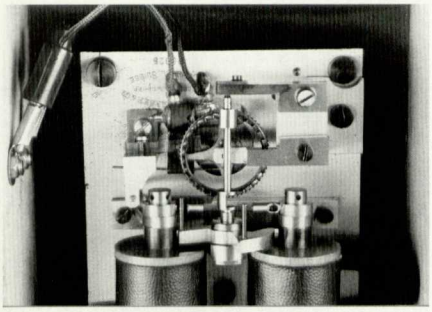


Fig. 433.- Detalle del mecanismo eléctrico

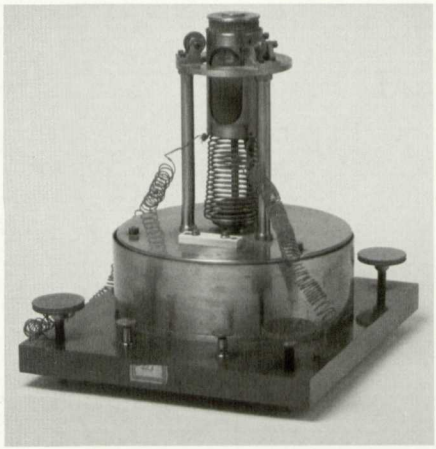


Fig. 434

313. REGULADOR DE CONTACTOS PARA PÉNDULO ASTRONÓMICO

Nº inv.: 95/31/517
1845-1865
27x24x28 cm
Madera, latón, marfil, cable, acero
«Froment à Paris»

El regulador de contacto eléctrico para péndulo astronómico es, en esencia, un aparato que permite mantener el movimiento regular de un péndulo gracias a la imanación que una corriente eléctrica produce en una barra de hierro. Es por lo tanto, básicamente, un electroimán, que acoplado a un mecanismo de relojería aprovecha las imanaciones y desimanaciones producidas por una corriente intermitente, no para mover el péndulo como sucedía en el reloj eléctrico anteriormente descrito, sino para mantener la regularidad de su movimiento.

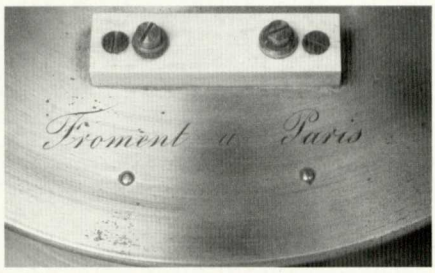


Fig. 436

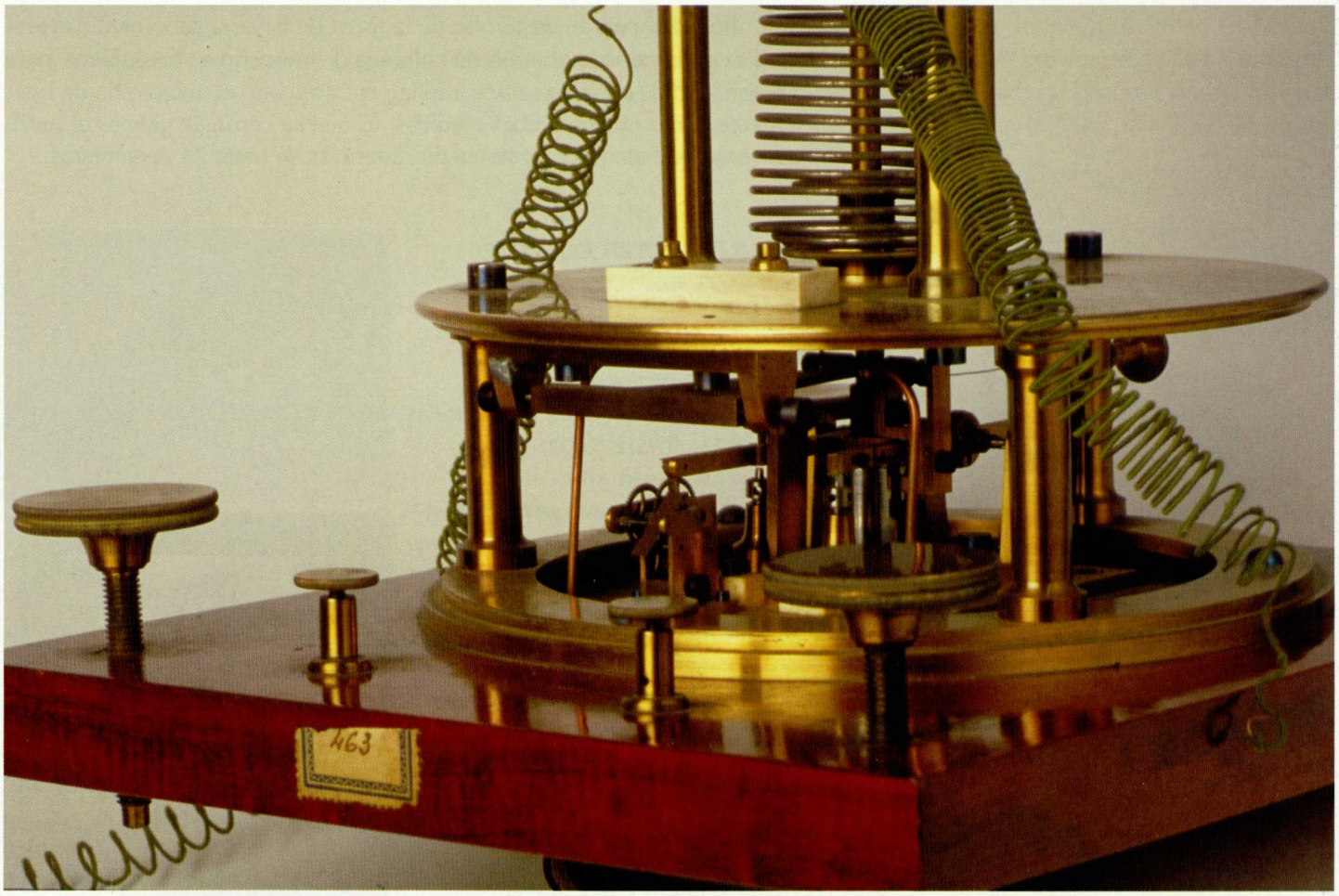


Fig. 435.- Detalle del mecanismo de relojería

APÉNDICES

APÉNDICE I

En este apéndice reproducimos la lista de instrumentos que la Dirección General de Instrucción Pública recomienda adquirir en 1846 para los gabinetes de física y química de las facultades de filosofía, medicina y farmacia en las universidades del reino[1], incluyendo los precios con que figuran en los catálogos de los fabricantes seleccionados (Lerebours y Pixii). Transcribimos únicamente los pertenecientes al gabinete de física, pues es la parte de la colección que estudiamos.

Catálogo modelo de las máquinas e instrumentos necesarios en una cátedra de Física experimental

	CATÁLOGO de Lerebours. Francos.
Aparato para el choque de los cuerpos	*70*
Id. para demostrar el movimiento reflejo	*80*
Plano vertical para demostrar la composición de fuerzas	*36*
Aparato para la resistencia de los medios	*40*
Máquina de Attwood[2]	*250*
Aparato para demostrar el movimiento parabólico de un cuerpo sólido	*30*
Id. de fuerzas centrífugas	*250*
Id. para demostrar el aplanamiento de la tierra en sus polos	*30*
Un cilindro con su plano inclinado para la demostración del centro de gravedad	*12*
Balanza de Roberval	*50*
Aparato para la teoría de la balanza	*50*
Palanca compuesta	*90*
Dinamómetro ordinario	*15*
Sistema de poleas simples y polipastro	*120*
Plano inclinado zenital	*100*
Aparato para demostrar el desarrollo del tornillo y su relación con el plano inclinado	*6*
Modelo de gato	*60*
Id. de tornillo sin fin	*50*
Id. de cabria	*15*
Id. de cabrestante	*15*
Id. de máquina de vapor	*300*
Id. de grúa	*36*
Tribómetro de Coulomb	*36*
Aparato de Haldat	*90*
Id. para demostrar el equilibrio de los líquidos	*50*
Id. para demostrar que la altura de los líquidos heterogéneos está en razón inversa de su densidad	*18*

[1] Este inventario aparece en la Circular del 15 de octubre de 1846, publicada en el *Boletín Oficial de Instrucción Pública*, Año 6, nº 19, Tomo IX, segunda serie, pp. 545-557, pp. 548-552. Si bien este inventario figura como catálogo modelo de los instrumentos que deben contener los gabinetes de física de los Institutos, en una Real Orden posterior, publicada en el *Boletín Oficial de Instrucción Pública* del 15 de noviembre de 1846, Año 6, nº 21, pp. 605-607, se indica que la adquisición de los instrumentos y aparatos necesarios para completar los gabinetes de las facultades de filosofía se hará con arreglo a los catálogos y presupuestos formados por la comisión nombrada al efecto, que son los que acabamos de mencionar.

[2] Se ha transcrito el texto literalmente, razón por la cual se han conservado los errores gramaticales, que en ningún caso llevan a confusión.

Ludion	*5*
Balanza hidrostática con el doble cilindro y su contrapeso	*262*
Aerómetro de Nicholson	*25*
Alcohómetro centesimal	*3*
Areómetros de Baumé para sales y ácidos	*5*
Flotador de Proni	*150 (Pixii)*
Aparato para demostrar la causa de la detención del agua en los encañados	*25*
Fuente de Heron	*90*
Espiral de Arquímedes	*60*
Vaso de Mariotte	*5*
Molinete hidráulico	*25 (Pixii)*
Modelo de bomba aspirante	*150*
Bomba impelente y aspirante	*160*
Ariete hidráulico	*180*
Modelo de prensa hidráulica	*450*
Sifones de diferentes formas, núm. 6	*6*
Aparato de tubos capilares	*16*
Cristales unidos con una charnela	*25*
Máquina pneumática	*480*
Láminas inclinadas	*15*
Platina secundaria	*40*
Cuatro campanas de diferentes tamaños para la máquina pneumática (2 de 5 fr. y 2 de 12)	*34*
Rompe-vejigas	*4*
Recipiente con dos barómetros	*40*
Aparato para la congelación del agua en el vacío	*15*
Globo de cristal para pesar el aire	*10*
Hemisferio de Magdeburgo	*24*
Bomba aspirante para demostrar que no produce efecto en el vacío	*25*
Dos planos de cristal para adhesion	*35*
Aparato para demostrar la porosidad	*30*
Tubo para descenso de los graves	*30*
Baróscopo	*35*
Campana de reloj para el sonido	*36*
Martillo de agua	*4*
Tubo de Mariotte	*18*
Fuente de compresión	*90*
Eslabón pneumático	*22*
Aparato de Oersted	*65*
Barómetro de Torricelli	*60*
Id. de Gay-Lussac	*60*
Modelo de péndulo compensador	*25*
Termómetro de mercurio	*40*
Termometrógrafo	*80*
Higrómetro de Saussure	*32*
Id. de Daniel	*40*
Pirómetro de Gravesand	*25*
Aparato de Gay-Lussac para la dilatación de los gases	*80*
Pirómetro de Wedgwood	*30*

Aparato para el máximo de densidad del agua	*20*
Eolípila	*40*
Barómetro para la teoría de los vapores	*15*
Marmita de Papin	*120*
Calorímetro de Rumfort	*70*
Id. de Lavoisier	*60*
Dos espejos parabólicos	*160*
Otro id.	*50*
Aparato de Gay-Lussac y Thenard para la mezcla de vapores y gases	*90*
Cubo de Leslie	*15*
Manómetro para aire comprimido	*30*
Termómetro diferencial de Leslie	*12*
Manómetro de aire libre	*14*
Máquina eléctrica	*900*
Botella electrométrica	*15*
Banquillo aislador	*18*
Dos botellas de Leyden (una de 4 francos y otra de 5 francos)	*9*
Aparato para la descomposición de la botella de Leyden	*12*
Cilindro de vidrio sin pulimento en un extremo	*3*
Cilindro de lacre	*5*
Cuadro mágico de Franklin	*6*
Botella de Leyden con péndulos para la electricidad disimulada	*8*
Batería eléctrica de cuatro botellas	*50*
Electrómetro de cuadrante	*10*
Electroscopio de panes de oro, con condensador	*25*
Excitador simple	*5*
Id. con mango de cristal	*18*
Excitador universal	*25*
Campanario eléctrico	*9*
Pirámide para demostrar el peligro de la interrupción de los conductores	*8*
Dos pistoletes de Volta	*4*
Pistolete de cristal	*15*
Termómetro eléctrico de Kinerstley	*18*
Una prensa para fundir el oro	*10*
Balanza de Coulomb	*75*
Esfera hueca de id.	*25*
Dos cilindros aislados	*50*
Un electróforo con su pie	*32*
Conductores para la máquina eléctrica	*19*
Cuadro centelleante	*15*
Aguja imanada	*8*
Dos barras magnéticas	*25*
Imán artificial	*30*
Id. natural	*50*
Aguja de inclinación simple	*40*
Brújula	*25*
Pila de Vota vertical	*35*
Id.de Wollaston	*110*

Id. de corriente constante	*40 (Pixii)*
Id. de artesa	*30*
Aparato para la descomposición del agua	*15*
Dos discos, uno de zinc y otro de cobre	*10*
Multiplicador electro-magnético	*40*
Electro-imán de Pouillet	*45*
Aparato para demostrar el magnetismo de rotacion	*70*
Un sonómetro	*90*
Tres láminas vibrantes montadas	*40 (Pixii)*
Un arco de bajo y otro de contra-bajo	*16 (Pixii)*
Un porta-luz	*150*
Dos espejos, uno cónico y otro cilíndrico con figuras	*60*
Aparato para mostrar la reflexion de la luz	*120*
Aparato compuesto de siete espejos	*90*
Un espejo plano, otro cóncavo y otro convexo	*120*
Telescopio gregoriano	*50*
Una cuba de cristal para la refracción de la luz	*130*
Cono de Fin-glass	*25*
Tres prismas de cristal de diferentes ángulos	*75*
Prisma para los líquidos	*36*
Un prisma para el acromatismo	*50*
Polariscopio de Arago	*70*
Una lente cóncava y otra convexa	*50*
Dos turmalinas	*20*
Un ojo artificial	*50*
Cámara oscura	*36*
Cámara lúcida	*25*
Microscopio compuesto	*160*
Microscopio solar	*180*
Anteojo micrométrico de Rouchou	*120*
Un anteojo acromático	*45*
SUMA TOTAL	*9,531*

APÉNDICE II

A continuación reproducimos el único inventario antiguo de la colección perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Universidad Central que hemos encontrado en Archivo[3], llevado a cabo en el año de 1856. Omitimos la parte que se refiere al instrumental de química porque no es objeto de estudio en este catálogo.

En él se indican entre corchetes, en negrita, los números de inventario de los objetos similares que se conservan en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (algunos de los cuales no aparecen en la selección de este catálogo) sin que podamos asegurar que se trate del mismo objeto.

Gabinete de física Experimental de la Universidad Central destinado a la enseñanza de las clases de física de Ampliación de la facultad de Filosofia y de física y nociones de Química propia del Instituto del Noviciado.

Catálogo
de los aparatos de física del gavinete[4] de la universidad central

Nada mas adecuado a los adelantos de la juventud que se dedica al estudio de la física, que la inspección continuada de los aparatos destinados a su enseñanza. Nada mas cierto que aquel célebre axioma del filósofo de Stagira tomado en su verdadera accepcion y como un medio de reminiscencia.

La ordenacion metódica q.^{e} se ha observado en la colocacion de todos los objetos del presente gavinete de física; la vista de los catálogos expresivos de todos los aparatos q^{e} comprende y de su uso en cada una de las secciones de la ciencia, no solo son de un poderoso auxiliar p.^{a} el profesor encargado de la aplicación, sino q^{e} envuelven el doble objeto de familiarizar al discipulo en sus detallles y facilitarle el retenimiento de la teoria a que se refieren.

Otro prestamento no menos beneficioso lo consigue tambien al ofrecer continuamente à la vista del joven las colecciones de estos gavinetes a saber el proporcionarle en todos los casos en que su saluz le haya hecho perder algunas lecciones, un medio facil de ilustrarse en ellas.

Desde el momento en q.^{e} un joven pisa en una universidad ò en cualquier establecimiento literario, es todo de la ciencia y no deberia ofrecersele p.^{r} todas partes sino objetos dijesen algo ¡Es tanto lo que en todos los ramos se puede aprender p.^{r} este medio indirecto de enseñanza! que muchas veces no nos admiran en el estrangero los resultados en comparacion del tiempo invertido.

[3] Archivo General de la Universidad Complutense, caja D/1553.

[4] Se ha transcrito el texto literalmente, razón por la cual se han conservado los errores gramaticales. En los casos en que conservar el texto literal puede añadir confusión se añade el término actual entre corchetes.

Catálogo de Aparatos

Mecanica - Propiedades generales y particulares de los cuerpos en sus diversos estados

Mecánica de Sólidos

Aparatos - Existentes

Modelo de nónius o vernier
Aparato para la lluvia de Diana
Eslabon neumático [95/31/362]
Dos ensambladuras de pinabete
Aparato de Boille y Mariotte [95/31/381]
Piezometro de OErsthez [95/31/355]
Sistema de palancas de varios géneros [95/31/498]
Aparato de Coulomb p.ª el rozamiento [95/31/481 y 333]
Una prensa p.ª la porosidad de los metales
Balanza comun e hydrostática
Aparato p.ª demostrar el equilibrio de la balanza
Balanza de Roberbal
Dinamometro de resorte
Balanza pequeña de resorte espiral llamada comunmente romana de aguacil
Modelo de Rosca sin-fin
Dos baleros con diversas pesas y un cilindro p.ª demostrar el principio hydrostático de Arquímedes
Modelo de grua giratoria
Modelo de cabria
Modelo de labestante
Modelo de Cric ó gato
Aparato p.ª manifestar el momento estático de las palancas y poleas
Máquina de Atoowd [95/31/353]
Aparato de las fuerzas centrales
Dos tubos de cristal para el descenso de los cuerpos en el vacio
Tubo escalonado de gradilla p.ª el mismo objeto
Un martillo de agua [95/31/319]
Un nivel de aire
Un modelo de pasimitro ó pedometro con caja de oro
Aparato p.ª el choque de los cuerpos con un plano movible de marmol negro
Aparato p.ª demostrar la comunicacion del movimiento con un arco graduado dos masas y un timbre metálico
Otro idem compuesto de sus masas p.ª el mismo objeto [95/31/493]
Aparato con tres pendulos de plomo p.ª manifestar la influencia de la longitud en el isocronismo
Aparato compuesto de dos pendulos para minifestar la resistencia que ofrecen los intermedios a los cuerpos oscilantes [95/31/331]
Maquina de los anillos p.ª manifestar el movimiento parabólico de los proyectiles
Plano inclinado de cristal movil sobre marco graduado [95/31/332]

Cilindro ascendente sobre un plano inclinado p.^{a} manifestar la influencia de gravedad en el movimiento de los cuerpos
Un reloj de arena
Esferoide con los círculos maximos q^{e} manifiesta el achatamiento polar de la tierra
Un cilindro de madera p.^{a} demostrar la generación de la rosca
Aparato p.^{a} demostrar la resultante de las fuerzas en angulo sobre un plano
Aparato de láminas de acero p.^{a} demostrar el achatamiento de los polos p.^{r} la acción de la fuerza centrífuga [95/31/321]

<u>*Aparatos que faltan en la Mecanica de Solidos*</u>

Un cubo de piezas, esfera y cono con secciones [95/31/639]
Un modelo de campana de buzo
Un piezometro de Oerestd perfeccionado p.^{or} Desprez
Láminas elasticas y alambres p.^{a} estudiar la elasticidad p.^{r} torsion
Láminas de vidrio p.^{a} el estudio de la cohesion [95/31/337]
Laminas de marmol para el mismo objeto
Aparato de varillas y cordones p.^{a} demostrar la teoria de las fuerzas concurrentes y paraleas
Modelo de la misma clase p.^{a} demostrar la resultante de las fuerzas concurrentes en el espacio
Pirámide con diversas secciones para la demostracion del centro de gravedad
Aparato p.^{a} demostrar las diversas clases de equilibrio
Id. p.^{a} demostrar un equilibrio estable aparentemente inestable
Balanza comun de brazos divididos
Balanza de precision con un buen juego de pesas
Balanza de Roberbal ordinaria
Un juego de pesas del sistema métrico
Modelo pequeño de romana
Otro id de romana de tablero ó bascula
Un modelo de torno chino
Un Aparato de ruedas dentadas de diversos engranages
Un modelo de la espiral de Arquimedes p.^{a} la elevacion de un solido
Aparato para demostrar las condiciones de equilibrio de la cuña [95/31/336]
Aparato para demostrar la generacion de la rosca
Aparato para demostrar el equilibrio de las cuerdas con su aplicación a los puentes colgantes
Aparato p.^{a} demostrar las fricciones en las maquinas, con láminas de laton
Modelo de máquina de Morín p.^{a} el estudio del descenso de los cuerpos
Aparato p.^{a} demostrar que los cuerpos en su descenso recorren en igual tiempo la cuerda q.^{e} el diámetro
Cycloide de Gravesand ó sea manifestacion de la linea del mas corto descenso p.^{a} los cuerpos
Maquina de Desaguliers ó Gravesad
Pendulo de compensacion montado en un pie
Un cuenta segundos
Un modelo del péndulo de Carter [Kater] [95/31/737]

Metrónomo de Maebril [Maelzel] [95/31/480]
Aparato completo de Gravesand p.^{a} el estudio del choque

Mecanica de fluidos

Aparatos existentes

Un aparato p.^{a} manifestar la paradoja hydrostatica con el fondo de bascula y los tres vasos de Pascal
Aparato de Haldat p.^{a} el mismo objeto con tres vasos tambien del expresado autor
Aparato p.^{a} demostrar la teoria de los tubos comunicantes
Redoma pequeña de los cuatro elementos
Fuente de circulacion sobre una peana de madera
Aparato p.^{a} demostrar la influencia del aire en el curso del agua p.^{r} las cañerias
Tubo de cristal con su obturador p.^{a} manifestar la presion de abajo arriba de los líquidos
Turbina hydraulica
Aparato p.^{a} demostrar la fuerza de los surtidores y de los tubos de comunicación
Un exaedro de cobre p.^{a} demostrar las presiones que sufre todo solido sumergido en un líquido
Aparato p.^{a} demostrar el principio hydrostatico de Arquimedes en los cuerpos flotantes
Dos gravimetros de Nicholson uno con regilla y el otro de tornillo
Un areometro de Farhenheit, de cristal
Un alcohometro de Gay-Lussac [95/31/366 y 367]
Varios pesa licores y sales
Cinco vasos de laton con sus pies en madera p.^{a} manifestar que el gasto de la salida depende de la altura del nivel
Tres platinas suplementarias con glovos de cristal p.^{a} el peso del aire
Otro balon p.^{a} la estracion del aire
Una maquina neumatica con el doble agotamiento de Babinet
Otras tres id. antiguas fuera de uso
Dos rompe vegigas, y una campana con el ludion [95/31/303]
Sus barometros de diversas formas a saber de cubeta, sifon cuadrante & [95/31/385]
Un tubo barométrico sin cargar con la modificacion de Bianchin
Un barómetro aneroideo
Una campana con dos barometros p.^{a} manifestar la falta de presion en el vacio
Dos juegos de hemisferios de Magdeburg
Un ariete hydráulico [95/31/356]
Balanza aerostatica o sea Baróscopo con su campana [95/31/358]
Una campana con un bomba aspirante p.^{a} manifestar la falta de presion en el vacio
Un aparato con los dos sistemas de bombas aspirante y mista
Fuente intermitente artificial
Fuente de Heront en laton con recipientes de cristal
Fuente de compresion con un cuerpo de bomba
Un modelo de soplete de Neuman
Fuente pequeña de compresion
Hucha de cristal en forma de botella
Una pipeta de cristal pequeña

Un aparato de Venturi p.ª el estudio de la vena liquida
Un modelo de rosca de Arquimedes [95/31/310]
Un Flotador de Prony
Un modelo de prensa hydráulica
Un frasco de Mariotte [95/31/361]
Un soplete comun de laton

Aparatos que faltan en la mecánica de fluidos

Un modelo de nivel de agua
Un aparato p.ª manifestar las diversas presiones que puede egercer un líquido sobre las paredes de un tubo de conduccion
Un aparato con su tubo de vidrio p.ª manifestar la presion negativa en la salida de los liquidos
Barómetro de Fortin ó sea de fondo movible
Barómetro segun Bourdon
Manometro de aire libre
Manometro de Bourdon [95/31/328]
Baston hydraulico
Modelo de bomba de incendios con deposito de aire
Sifon de satador
Dos vasos con sifones en el fondo
Maquina de Vera ó cuerda sin fin
Modelo de gasometro
Maquina neumatica de compresion
Escopeta de viento

Acciones moleculares y Acústica

Aparatos existentes

Un sonómetro con su area [95/31/296]
Aparato de placas vibrantes de metal [95/31/281]
Un tono de barillas de acero
Un tubo de cuero p.ª las figuras acusticas qᵉ imita la laringe
Dos juegos de laminas de cristal con su capsula p.ª el estudio de las acciones moleculares
Aparato de tubos capilares
Aparato p.ª demostrar la influencia qᵉ la presion ejerce en el menisco de los líquidos
Aparato compuesto de dos ampolletas de cristal p.ª manifestar las corrientes p.ʳ endosmese entre dos líquidos
Aparato de coesion compuesto de dos placas de cristal [95/31/337]
Electro-tipo de Boquillon
Dos aparatos de relogeria p.ª demostrar qᵉ el aire es el vehiculo ordinario del sonido
Una sirena acustica

Aparatos que faltan en la Acustica y en las acciones moleculares

Un endosmómetro
Un juego de placas vibrantes de cristal
Aparato de ruedas dentadas de Savart
Barillas metálicas vibrantes formando escala p.r su longitud
Campana y cilindro p.a reforzar el sonido
Un modelo de bocina
Un modelo de fuelle armonico
Un juego de timbres formando escala [95/31/301]

Física Particulas
Fluidos imponderables - Calórico

Aparatos existentes

Aparato de Melloni p.a el estudio del paso del calor radiante p.r los cuerpos [95/31/11]
Dos termómetros uno de ellos con escala de cristal y el otro de madera
Un termómetro-grafo de Belloni
Dos cubos de Leslie p.a el estudio de la radiacion del calorico
Dos cilindros metálicos p.a el mismo objeto
Un termóscopo de Mr. Rumfor [95/31/344]
Un termometro diferencial de Delisle [de Leslie] [95/31/345]
Un reflector esferico de metal [95/31/351]
Un pirómetro de arcilla [95/31/711]
Dos espejos ustorios p.a estudiar la reflexion del calorico radiante
Un barómetro de vapor con la cubeta prolonga p.a variar la presion
Aparato de Gay-Lussac p.a medir la tension de los vapores mezclados con los gases [95/31/359]
Calorímetro de Lavoissier y Laplace
Calorímetro de Rumfrot p.a los gases
Aparato de Gay-Lussac p.a medir la dilatacion aparente de los gases
Pirometro de cuadrante p.a medir la dilatacion de los metales [95/31/783]
Termómetro metálico de Breguet
Anillo de Gravesand p.a la dilatacion de solidos
Péndulo de barillas compensadoras
Una gradilla con cuatro matraces p.a la dilatación de los líquidos
Lámpara de Bercelius
Aparato p.a demostrar la temperatura de la mayor densidad del agua con dos termómetros
Marmita de Papin [95/31/341]
Hygrometro de Saussure ó cabello
Hygrometro de Daniel
Platina suplementaria de máquina neumática con un aparato p.a la congelacion del agua en el vacio
Un Pluvímetro
Cuba hydroneumática de cristal con dos puentes
Eolípila ó carro de vapor

Un modelo de máquina de vapor de doble efecto
Manómetro de compresion con escala de madera
Aparato de Bertini para estudiar el estado esferoidal en los líquidos

Aparatos del calórico qe faltan

Termometros de las tres escalas con monturas de madera, papel, vidrio, porcelana y pizarra
Termómetro de escala negativa ó Delisle
Modelo de péndulo de Graham
Modelo de compensacion de péndulos de Martin
Péndulos de parrilla
Termometro de Breguet en forma de hélice
Pirometro de Borda
Modelo de la dilatacion efectiva o real de los líquidos
Termómetro de Peso [95/31/782]
Aparato p.^{a} provar la densidad de los vapores
Crióforo de Gay-Lussac
Aparato de Ingenhousz p.^{a} la conductibilidad del calorico p.^{r} las sustancias metálicas
Aparato de Despretz p.^{a} medir los poderes conductores de los sólidos
Un modelo de maquina de vapor movido p.^{r} solo una lamparilla de alcohol
Modelo de máquina de vapor en carton para mayor facilidad en la enseñanza
Modelo de maquina de vapor de simple efecto [95/31/342]
Modelo de maquina de vapor locomotora
Modelo de maquina de vapor aplicada a un barco en helice
Modelo suelo de péndulo cónico sobre su arbol
Modelo de paralelogramo de barillas de What p.^{a} la transformacion del movimiento en las máquinas de vapor
Un higrómetro de Regnault [95/31/784]

Fluido Luminoso - Aparatos existentes

Cinco espejos de cristal de diversa superficie con su pie de madera pintada de negro [95/31/12]
Dos espejos planos formando un angulo variable [95/31/435]
Dos espejos anamorfos uno cilíndrico y otro esférico con varias figuras apropiadas a esta clase de reflexión
Dos caledoscopios
Aparato p.^{a} estudiar las leyes de la reflexion luminosa
Aparato p.^{a} las reflexiones subcesivas con varios espejitos
Una caja de cristal p.^{a} el estudio de la refraccion luminosa [95/31/635]
Microscopio Solar
Micrómetro de Rochon
Daguerrotipo
Anteojo terrestre y astronomico
Un polaríscopo [95/31/25 ó 026]
Una cámara lúcida de Wollaston [95/31/42]

Aparato polarizador de Norenberg [95/31/401]
Pinzas de polarizacion
Aparato de polarizacion de Mr. Biot
Microscopio simple de Stenot
Microscopio compuesto
Glovo ocular con dos lentes p.ª hacer ver los defectos de la vision [95/31/3]
Esteróscopo con cuatro vistas
Dos lentes convergente y divergente con sus pies de metal [95/31/6 y 8]
Cuatro prismas de cristal montados de diversas secciones [95/31/5 y 562]
Prisma compuesto [95/31/561]
Prisma hueco p.ª líquidos [95/31/409]
Prisma conico de cristal p.ª la descomposicion de la luz en for circular [95/31/27]
Un planisferio
Una optica con vistas
Una linterna magica
Una fantasmagoria
Un Fenakiticopo
Un megascopo con diversas piezas, su reflector y una lampara de Locatelli
Un telescopio Gregoriano
Un aparato que simula un eliostato p.ª dirigir los rayos luminosos
Una cámara oscura
Una cámara oscura de Chevalier
Un copiador con su cuadrícula
Un gran disco de carton blanco p.ª los experimentos de luz

Aparatos de la luz que faltan

Un fotometro de sombra de Rumfor
Un litonómetro de Draper p.ª calcular la intensidad de la luz p.r la accion química
Un eliostato [95/31/13]
Un modelo de lente de Fresnell [95/31/1]
Una lente montada con facetas
Un poliprisma [95/31/4]
Un prisma montado de angulo variable [95/31/404]
Un porta-luz [95/31/61]
Un aparato de luz à la Drumont
Espectro solar litografiado y movible sobre un eje
vidrios planos de diversos colores
Un modelo de ojo humano [95/31/45]
Dos romboides de spato de Islandia
Dos turmalinas talladas
Apatos de difraccion e interferencia [95/31/648]
Aparato de Foucall p.ª la velocidad de la luz
Un polemoscopio
Telescopio de Newton y de Heschel
Un sestan de reflexion
Un microscopio compuesto de Amici

Fluido Magnético - Aparatos existentes

Una brújula de inclinacion [95/31/207]
Una estuche grande con cuatro barras de imán, dos largos y las otras dos muy cortas [95/31/206]
Un iman natural armado [95/31/205]
Un iman artificial en forma de herradura [95/31/743]
Un triple iman artificial de la misma forma [95/31/743]
Dos estuches con brújulas de declinacion
Una cagita con cuatro esferillas magneticas
Un estuche en forma de alfiletero con barritas magnetizadas
Una cagita de carton verde con una aguja de forma romboidal con su pie p.ª equilibrarla
Aparato o balanza electro-magnetica de Coulomb
Dos telegrafos electricos del sistema Weastone antiguo
Dos id. del sistema Breguet con el cuadrante receptor y manipuladoren cada estacion [95/31/271]

Aparatos del magnetismo que faltan

Modelo de brújula de la navegacion
Una aguja completa de inclinacion
Un telégrafo de signos del sistema Breguet y Fog
Otro id. del sistema de Mr. Morse, llamado telégrafo escribiente [95/31/270]
Telégrafo de teclado de Mr. Froment

Electricidad y electro-magnetismo- Aparatos existentes

Una maquina electrica grande de dos conductores y un pistolete en elmontante del disco
Otra máquina eléctrica de dos conductores algo mas pequeña con su banquillo aislador
Otra máquina pequeñita de un solo conductor colocada sobre una mesilla
Máquina hydro-eléctrica de Alstrou con su banquillo aislador
Un electróscopo con pendulos de medula de sauco
Otro electroscopo mas pequeño sin condensador
Electroscopo de hojuela de oro con una capsula de laton
Electroscopo provisto de una punta p.ª estudiar la electricidad atmosférica
Termometro eléctrico de Kinherley
Aparato p.ª la comocion de los gases compuesto de un tubo de cristal
Aparato p.ª la electrizacion del agua compuesto de un vasito de laton con tres sutidores finos
Obalo filosofico p.ª la difusion de la electricidad en el vacio
Esfera fulminante con varios pedacitos de papel de talco p.ª el paso del fluido
Dos electroforos de Wilkre
Dos compases eléctricos uno de ellos provisto de mangos aisladores
Una caja con varios cuadros fulminantes [95/31/115]
Aparato de bastones electricos

Varios tubos de cristal y barillas de laton p.^{a} las esperiencias de electricidad [95/31/255-57, 460-62]
Una pila de columna de Bolta [95/31/202]
Dos pilas electricas en forma de artesa
Pila de Growe de cuatro vasos
Pila de Bunsin de dos vasos
Una gran pila de Wollaston de veinte cuatro pares
Un par suelto de dicha pila de Wollaston provisto de mango [95/31/672]
Una Pila de Bequerell
Un par solo de la pila de Clidtrin
Una pila de Smhit
Un pistolete de Bolta
Una bateria de pistoletes
Una barra de lacre y otra de cristal de un pie de longitud
Un gran cuadro fulminante con su armadura
Un aparato de Charlisle y Nicholson p.^{a} descomponer el agua p.^{r} la pila
Varios elementos sueltos de zinc y cobre p.^{a} la teoria de la pila
Cuadro condensador
Condensador de mangos de cristal con dos discos de zinc y cobre
Electroscopo de Ahüegs
Electrometro de Henly
Aparato p.^{a} el granizo electrico [95/31/100]
Aparato p.^{a} la danza electrica [95/31/101]
Grua electrica p.^{a} probar q^{e} el fluido electrico camina p.^{r} la superficie de los cuerpos
Mortero electrico [95/31/518]
Prensa para hacer la volatilizacion de los metales con la botella [95/31/131]
Piramide p.^{a} demostrar la teoria de los para-rayos
Caseta del rayo con su pistolete
Juguete de cazadores fundado en la teoria del pistolete
Repique electrico [95/31/103]
Repique electrico fundado en la teoria de la botella de leyden
Aparato p.^{a} la combustion del eter y alcohol
Apro aparato p.^{a} la electrizacion del agua con una capsula de goma elastica
Arbol eléctrico con varias piezas [95/31/102]
Dos aparatos de luneus [probablemente Lané] *p.^{a} apreciar la distancia esplosiva de la chispa electrica* [95/31/111]
Una botella de Leyden grande [95/31/120]
Una doble botella de leyden p.^{a} la teoria de la carga p.^{r}cascada
Dos bocales electricos
Dos conductores suplementarios
Dos cilindros cubiertos de papel de estaño p.^{a} la teoria de la electricidad p.^{r}influencia
Una esferilla de metal hueca con pie aislador y dos esferillas metalicas p.^{a} probar la carga eléctrica [95/31/94]
Un aparato perfora-cartas [95/31/275, 276]
Un aparato de Phixi p.^{a} el electro - magnetismo
Un aparato de Clarke [95/31/237]
Aparato de Arago p.^{a} la electricidad dinamica
Aparato electro - dinamico de Jacobi
Aparato de las corrientes de la Rive

Aparato de solemnoides influenciados p.r un iman
Cilindro de madera p.a el estudio de las corrientes p.r inducción [95/31/235]
Dos lamparas filosoficas de chispa electrica
Lampara minera de Devy

Aparatos de electricidad y electro magnetismo que faltan

Máquina electrica de Nerny
Máquina electrica de Van - Muram
Botella electrica con pendulos p.a la electricidad latente
Una punta de para-rayos
Un condensador - comun
Pila electrica de Munch
Pila eléctrica de Faraday
Aparato completo de Ampere p.a la corrientes [95/31/680]
Motor electrico aplicado a bombas
Aparato electrico de Mr. Rumkorff con sus accesorios [95/31/688]
Una pila termo - eléctrica
Aparato foto - electrico de Foucal
Aparato elelctro - magnetico de Duchesme
Cadena eléctrica de Pulvermacher
Rheostato [95/31/195]
Un aparato de induccion de Matteuci

V0. B0.

Mariano de Rementeria

Manuel Rico
Sinobas

APÉNDICE III

En este apéndice incluimos dos tablas de datos para una fácil localización de los instrumentos en el catálogo. En la primera se muestra el conjunto de piezas por orden a aparición en el mismo, con los números de inventario correspondientes al MNCT, las fechas de datación, sección a la que pertenecen y, finalmente, el número de figura correspondiente. En la segunda se ha volcado el inventario completo de la colección depositada en el MNCT, ordenado según el número de inventario.

TABLA 1

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
1	95/31/301	TIMBRE SONORO	1880-1900	ACÚSTICA	7
2	95/31/296	SONÓMETRO	1850-1870	ACÚSTICA	9
3	95/31/720	CAJA PARA ARENA DE PLACAS VIBRANTES	1870-1890	ACÚSTICA	11
	95/31/721	CAJA PARA COLOFONÍA	1870-1890	ACÚSTICA	11
	95/31/281	BANCO CON TRES PLACAS VIBRANTES	1840-1860	ACÚSTICA	11-12
4	95/31/279	CALEIDÓFONO	1870-1890	ACÚSTICA	13
5	95/31/740	DIAPASÓN PARA PIANO	1827-1852	ACÚSTICA	14-15
6	95/31/657	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880	ACÚSTICA	16
	95/31/662	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880	ACÚSTICA	16
	95/31/661	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880	ACÚSTICA	16
	95/31/719	MARTILLO PARA DIAPASÓN	1870-1890	ACÚSTICA	16
	95/31/658	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880	ACÚSTICA	16
	95/31/660	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880	ACÚSTICA	16
7	95/31/670	CAJA CON TRECE DIAPASONES	1850-1870	ACÚSTICA	17-18
8	95/31/665	CAJA CON CINCO DIAPASONES	1875-1890	ACÚSTICA	19
9	95/31/305	DIAPASÓN EXCITADO ELÉCTRICAMENTE	1850-1870	ACÚSTICA	20
10	95/31/282	ESPEJO PARABÓLICO	1870-1890	ACÚSTICA	21
11	95/31/668	DIAPASÓN CRONOGRÁFICO	1940-1960	ACÚSTICA	23
	95/31/669	DIAPASÓN CRONOGRÁFICO	1910-1930	ACÚSTICA	23
12	95/31/666	DIAPASÓN PARA EXPERIENCIA DE LISSAJOUS	1880-1910	ACÚSTICA	25
	95/31/299	APARATO PARA EXPERIENCIA DE LISSAJOUS	1880-1910	ACÚSTICA	25
13	95/31/298	DOBLE SIRENA DE HELMHOLTZ	1880-1910	ACÚSTICA	27
14	95/31/297	SIRENA DE HELMHOLTZ	1880-1910	ACÚSTICA	28-29
15	95/31/529	TUBO CON FILAMENTO INCANDESCENTE	1930-1950	ACÚSTICA	30
	95/31/671	SILBATO DE GALTON	1930-1950	ACÚSTICA	30
16	95/31/302	APARATO DE LLAMAS CANTANTES	1890-1910	ACÚSTICA	31
17	95/31/295	TUBO DE LENGÜETA LIBRE	1870-1890	ACÚSTICA	32
	95/31/294	TUBO DE LENGÜETA BATIENTE	1870-1890	ACÚSTICA	32-33
18	95/31/292	ESPEJO GIRATORIO PARA ANÁLISIS DE SONIDOS	1870-1890	ACÚSTICA	34
	95/31/293	TUBO MANOMÉTRICO	1870-1890	ACÚSTICA	34
19	95/31/458	DISCO DE CROVA PARA PROYECCIÓN DE ONDAS	1950-1965	ACÚSTICA	35-36
20	95/31/284	RESONADOR DE HELMHOLTZ	1865-1885	ACÚSTICA	37
	95/31/283	RESONADOR DE HELMHOLTZ	1865-1885	ACÚSTICA	37
21	95/31/285	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
	95/31/287	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
	95/31/289	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
	95/31/288	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
	95/31/290	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
	95/31/291	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885	ACÚSTICA	38
22	95/31/781	APARATO DE KOENIG PARA INTERFERENCIAS DE SONIDO	1875-1900	ACÚSTICA	39
23	95/31/384	TERMÓMETRO DE AIRE DE JOLLY	1880-1910	CALOR	43
24	95/31/712	ESTUCHE CON DOS TERMÓMETROS	1910-1930	CALOR	44

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
25	95/31/716	TERMÓMETRO DE PRECISIÓN	1900-1920	CALOR	45-46
26	95/31/714	TERMÓMETRO DIFERENCIAL NORMAL DE BECKMANN	1940-1960	CALOR	47
27	95/31/783	PIRÓMETRO DE CUADRANTE	1855-1865	CALOR	48
28	95/31/474	APARATO DE DULONG Y PETIT	1850-1870	CALOR	49
29	95/31/782	DILATÓMETRO O TERMÓMETRO DE PESO	1860-1880	CALOR	51
30	95/31/346	CALORÍMETRO DE BLACK	1910-1930	CALOR	52
31	95/31/354	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CALOR ESPECÍFICO EN LOS METALES	1890-1910	CALOR	53
32	95/31/603	CALORÍMETRO DE MERCURIO DE FAVRE Y SILBERMANN	1860-1880	CALOR	54
33	95/31/341	MARMITA DE PAPIN	1840-1860	CALOR	56
34	95/31/342	MODELO DE MÁQUINA DE WATT	1840-1860	CALOR	57
35	95/31/349	SECCIÓN DE UN CILINDRO DE MÁQUINA DE VAPOR	1880-1910	CALOR	58
36	95/31/472	TERMÓMETRO PARA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN EL VACÍO	1909	CALOR	59
	95/31/471	TERMÓMETRO PARA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN EL VACÍO	1909	CALOR	59
37	95/31/344	TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE RUMFORD	1850-1870	CALOR	60
38	95/31/345	TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE LESLIE	1850-1870	CALOR	61
39	95/31/552	TERMOSCOPIO DOBLE DE LOOSER	1920-1940	CALOR	62
40	95/31/711	PIRÓMETRO DE WEDGOOD	1835-1855	CALOR	63-64
41	95/31/320	APARATO DE TYNDALL	1880-1900	CALOR	65
42	95/31/36	PILA TERMOELÉCTRICA SUPERFICIAL DE MOLL	1930-1960	CALOR	66
43	95/31/343	MUESTRAS PARA BANCO DE MELLONI	1840-1860	CALOR	67
	95/31/11	BANCO DE MELLONI	1840-1860	CALOR	67
44	95/31/127	MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE UN CONDUCTOR	1840-1870	ELECTRICIDAD	70
45	95/31/95	ELECTRÓFORO	1880-1900	ELECTRICIDAD	71
	95/31/97	ELECTRÓFORO	1880-1900	ELECTRICIDAD	71
	95/31/96	ELECTRÓFORO	1880-1900	ELECTRICIDAD	71
46	95/31/124	MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE CARRÉ	1880-1900	ELECTRICIDAD	73
47	95/31/126	MÁQUINA DE WIMSHURST	1890-1910	ELECTRICIDAD	74
48	95/31/128	MÁQUINA DE WIMSHURST DE OCHO DISCOS	1901	ELECTRICIDAD	76-77
49	95/31/129	GENERADOR ELECTROSTÁTICO DE VAN DER GRAAFF	1930-1960	ELECTRICIDAD	78
50	95/31/119	BOTELLA DE LEYDEN	1850-1880	ELECTRICIDAD	79
	95/31/120	BOTELLA DE LEYDEN	1850-1880	ELECTRICIDAD	79
51	95/31/121	BOTELLA DE LEYDEN DE ARMADURAS MÓVILES	1860-1890	ELECTRICIDAD	80
52	95/31/689	CONDENSADOR DE AEPINUS	1870-1890	ELECTRICIDAD	82
53	95/31/459	CONDENSADOR	1890-1910	ELECTRICIDAD	83
54	95/31/171	CONDENSADOR DE 2 MICROFARADIOS	1890-1910	ELECTRICIDAD	84
55	95/31/89	CILINDRO CONDUCTOR	1890-1910	ELECTRICIDAD	85
	95/31/90	CILINDRO CONDUCTOR	1880-1900	ELECTRICIDAD	85
56	95/31/255	VARILLA AISLANTE	1890-1910	ELECTRICIDAD	86
	95/31/94	ESFERA HUECA	1870-1890	ELECTRICIDAD	86
	95/31/256	VARILLA AISLANTE	1890-1910	ELECTRICIDAD	86
	95/31/91	ESFERA CONDUCTORA	1880-1900	ELECTRICIDAD	86
	95/31/257	VARILLA AISLANTE	1890-1910	ELECTRICIDAD	86
57	95/31/102	EFECTO ELÉCTRICO EN PUNTAS	1870-1900	ELECTRICIDAD	89
58	95/31/103	CAMPANARIO ELÉCTRICO	1870-1890	ELECTRICIDAD	90
59	95/31/266	CILINDRO DE FARADAY	1870-1890	ELECTRICIDAD	91
60	95/31/101	TEMPLETE PARA DANZA ELÉCTRICA	1860-1880	ELECTRICIDAD	92
61	95/31/100	GRANIZO ELÉCTRICO	1850-1870	ELECTRICIDAD	93
62	95/31/104	EXCITADOR UNIVERSAL	1860-1880	ELECTRICIDAD	94
63	95/31/108	EXCITADOR SENCILLO	1870-1890	ELECTRICIDAD	96
	95/31/110	EXCITADOR CON MANGO DE MADERA	1870-1890	ELECTRICIDAD	96
	95/31/106	EXCITADOR CON MANGO DE VIDRIO	1870-1890	ELECTRICIDAD	96
	95/31/105	EXCITADOR CON MANGOS DE VIDRIO	1870-1890	ELECTRICIDAD	96
64	95/31/113	EXCITADOR MICROMÉTRICO	1880-1900	ELECTRICIDAD	97
65	95/31/114	TUBOS CENTELLEANTES	1860-1890	ELECTRICIDAD	98
66	95/31/115	CUADROS MÁGICOS	1880-1900	ELECTRICIDAD	99
67	95/31/533	TUBO PARA FUSIÓN DE HILOS METÁLICOS	1860-1890	ELECTRICIDAD	100

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
68	95/31/131	PRENSA PARA EFECTOS CALORÍFICOS EN CONDUCTORES	1840-1870	ELECTRICIDAD	101
69	95/31/275	TALADRATARJETAS	1850-1880	ELECTRICIDAD	102
	95/31/276	TALADRATARJETAS	1850-1880	ELECTRICIDAD	102
70	95/31/277	APARATO PARA DESCARGAS	1870-1890	ELECTRICIDAD	103
71	95/31/633	EUDIÓMETRO DE DESCARGA	1860-1890	ELECTRICIDAD	104
	95/31/746	EUDIÓMETRO DE DESCARGA	1860-1890	ELECTRICIDAD	104
72	95/31/118	BARRA DE EBONITA	1880-1900	ELECTRICIDAD	105
	95/31/703	BARRA DE VIDRIO	1900-1910	ELECTRICIDAD	105
	95/31/742	PÉNDULO ELÉCTRICO	1870-1890	ELECTRICIDAD	105
73	95/31/111	BOTELLA DE LANE	1850-1880	ELECTRICIDAD	106
74	95/31/142	ELECTRÓMETRO DE BRANLY	1890-1910	ELECTRICIDAD	107
75	95/31/112	ESPINTERÓMETRO	1880-1900	ELECTRICIDAD	108
76	95/31/607	PINZAS PARA EXPERIENCIA DE GALVANI	1860-1880	ELECTRICIDAD	109
77	95/31/202	PILA DE VOLTA	1890-1910	ELECTRICIDAD	111
78	95/31/672	PILA DE WOLLASTON	1860-1890	ELECTRICIDAD	112
79	95/31/203	PILA REYNIER	1890-1910	ELECTRICIDAD	113
80	95/31/220	APARATO PARA EXPERIENCIAS DE ELECTRÓLISIS	1880-1900	ELECTRICIDAD	114
81	95/31/528	VOLTÁMETRO	1870-1890	ELECTRICIDAD	115
82	95/31/211	VOLTÁMETRO	1890-1910	ELECTRICIDAD	116
83	95/31/152	PUENTE DE WHEATSTONE	1890-1910	ELECTRICIDAD	117
84	95/31/155	PUENTE DOBLE DE THOMSON	1880-1900	ELECTRICIDAD	118
85	95/31/157	PUENTE DE MEDIDA UNIVERSAL DE KOHLRAUSCH	1890-1910	ELECTRICIDAD	119-120
86	95/31/701	SOPORTE CON BORNAS PARA MÚLTIPLES CONEXIONES	1890-1910	ELECTRICIDAD	121
	95/31/586	SOPORTE CON BORNAS PARA MÚLTIPLES CONEXIONES	1880-1900	ELECTRICIDAD	121
87	95/31/151	REOCORDIO DE POGGENDORFF	1880-1900	ELECTRICIDAD	122
88	95/31/135	CAJA DE RESISTENCIAS	1880-1900	ELECTRICIDAD	123
89	95/31/136	CAJA DE RESISTENCIAS	1870-1890	ELECTRICIDAD	124-125
90	95/31/188	SHUNT PARA GALVANÓMETRO	1899	ELECTRICIDAD	126-127
91	95/31/195	REÓSTATO	1890-1910	ELECTRICIDAD	128
92	95/31/138	CAJA PUENTE	1890-1910	ELECTRICIDAD	129
93	95/31/634	TUBO DE VACÍO	1890-1910	ELECTRICIDAD	130
94	95/31/249	ESCALA DE VACÍO	1920-1940	ELECTRICIDAD	131
95	95/31/254	TUBO DE GEISSLER	1910-1930	ELECTRICIDAD	132
	95/31/251	TUBO DE GEISSLER	1910-1930	ELECTRICIDAD	132
	95/31/252	TUBO DE GEISSLER	1910-1930	ELECTRICIDAD	132
	95/31/253	TUBO DE GEISSLER	1910-1930	ELECTRICIDAD	132
	95/31/250	TUBO DE GEISSLER	1910-1930	ELECTRICIDAD	132
96	95/31/544	TUBO DE RODEO	1910-1930	ELECTRICIDAD	133
97	95/31/247	TUBO DE CROOKES	1925-1950	ELECTRICIDAD	134
	95/31/244	TUBO DE CROOKES	1900-1920	ELECTRICIDAD	134
	95/31/246	TUBO DE CROOKES	1900-1920	ELECTRICIDAD	134
	95/31/245	TUBO DE CROOKES	1900-1920	ELECTRICIDAD	134
98	95/31/708	TUBO DE CROOKES	1925-1935	ELECTRICIDAD	135
	95/31/707	TUBO DE CROOKES	1900-1920	ELECTRICIDAD	135
	95/31/248	TUBO DE CROOKES	1900-1920	ELECTRICIDAD	135
99	95/31/706	TUBO DE RAYOS X	1900-1920	ELECTRICIDAD	136
	95/31/705	TUBO DE RAYOS X	1920-1940	ELECTRICIDAD	136
	95/31/242	TUBO DE RAYOS X	1900-1920	ELECTRICIDAD	136
	95/31/554	BANCO SOPORTE PARA 5 TUBOS DE RAYOS X	1900-1920	ELECTRICIDAD	136
100	95/31/545	TUBO DE RAYOS X	1910-1930	ELECTRICIDAD	137
101	95/31/258	FLUOROSCOPIO CON PANTALLA FLUORESCENTE	1880-1910	ELECTRICIDAD	138
102	95/31/473	APARATO PORTÁTIL DE RAYOS X SÁNCHEZ	1910-1920	ELECTRICIDAD	139-140
103	95/31/843	AUTOCONDENSADOR	1910-1920	ELECTRICIDAD	143
104	95/31/243	TUBO DE COOLIDGE	1960-1980	ELECTRICIDAD	145-146
105	95/31/541	ELECTROIMÁN TERMOELÉCTRICO	1950-1965	ELECTRICIDAD	147
106	95/31/238	APARATO TERMOELÉCTRICO	1930-1960	ELECTRICIDAD	148

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
107	95/31/539	APARATO PARA LA DEMOSTRACIÓN DEL EFECTO JOULE	1950-1960	ELECTRICIDAD	149
108	95/31/241	APARATO PARA MOSTRAR LA EXPERIENCIA DE OERSTED	1925-1940	ELECTROMAGNETISMO	152
109	95/31/744	MULTIPLICADOR DE SCHWEIGGER	1880-1910	ELECTROMAGNETISMO	153
110	95/31/680	MESA DE AMPÈRE	1880-1900	ELECTROMAGNETISMO	154
111	95/31/240	APARATO PARA MOSTRAR LAS ACCIONES ENTRE CORRIENTES E IMANES	1880-1910	ELECTROMAGNETISMO	156
112	95/31/228	APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	157
113	95/31/629	APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	158
114	95/31/527	APARATO PARA ILUSTRAR LA ATRACCIÓN ENTRE CORRIENTES PARALELAS DE IGUAL SENTIDO	1880-1900	ELECTROMAGNETISMO	159
115	95/31/235	APARATO PARA MOSTRAR LAS CORRIENTES INDUCIDAS	1890-1910	ELECTROMAGNETISMO	160
116	95/31/141	GALVANÓMETRO ASTÁTICO DE NOBILI	1830-1850	ELECTROMAGNETISMO	161
117	95/31/674	BRÚJULA DE TANGENTES	1860-1880	ELECTROMAGNETISMO	162
118	95/31/675	BRÚJULA DE TANGENTES	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	163
119	95/31/143	ELECTRODINAMÓMETRO	1890-1900	ELECTROMAGNETISMO	164
120	95/31/144	GALVANÓMETRO DE REFLEXIÓN DE THOMSON	1870-1890	ELECTROMAGNETISMO	165
121	95/31/187	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	167
122	95/31/140	GALVANÓMETRO DE BOVINA MÓVIL DE DEPREZ Y D'ARSONVAL	1882-1900	ELECTROMAGNETISMO	168-169
123	95/31/139	GALVANÓMETRO DE BOVINA MÓVIL DE DEPREZ Y D'ARSONVAL	1882-1900	ELECTROMAGNETISMO	170
124	95/31/174	GALVANÓMETRO DE ESPEJO DE AYRTON Y MATHER	1907	ELECTROMAGNETISMO	171
125	95/31/524	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1890-1910	ELECTROMAGNETISMO	172
126	95/31/741	INSTRUMENTO DE MEDIDA UNIVERSAL PARA CORRIENTE CONTINUA	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	173
127	95/31/267	PERMEÁMETRO	1880-1900	ELECTROMAGNETISMO	174
128	95/31/229	RUEDA DE BARLOW	1940-1970	ELECTROMAGNETISMO	175
129	95/31/653	MODELO DE MOTOR ELÉCTRICO	1870-1890	ELECTROMAGNETISMO	176
130	95/31/232	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930	ELECTROMAGNETISMO	177
	95/31/230	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930	ELECTROMAGNETISMO	177
	95/31/231	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930	ELECTROMAGNETISMO	177
131	95/31/604	INTERRUPTOR DE MERCURIO	1890-1910	ELECTROMAGNETISMO	178
132	95/31/236	MODELOS DE MOTOR TRIFASE Y DIFASE	1880-1910	ELECTROMAGNETISMO	179
133	95/31/234	MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA Y MAGNETOELÉCTRICA	1880-1910	ELECTROMAGNETISMO	180
134	95/31/237	MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE CLARKE	1860-1880	ELECTROMAGNETISMO	181-182
135	95/31/738	MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE GRAMME	1880-1885	ELECTROMAGNETISMO	183-184
136	95/31/739	MAQUETA PARA MOSTRAR LA ACCIÓN DEL ANILLO DE GRAMME EN UNA MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA	1980-1910	ELECTROMAGNETISMO	187
137	95/31/688	CARRETE DE RUHMKORFF	1890-1910	ELECTROMAGNETISMO	188
138	95/31/221	TRANSFORMADOR DE ALTA TENSIÓN	1880-1900	ELECTROMAGNETISMO	190
139	95/31/122	APARATO DE LODGE	1900-1930	ELECTROMAGNETISMO	191
140	95/31/591	DOS LENTES DE PARAFINA PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1930-1950	ELECTROMAGNETISMO	192
141	95/31/600	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940	ELECTROMAGNETISMO	193
	95/31/601	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940	ELECTROMAGNETISMO	193
	95/31/602	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940	ELECTROMAGNETISMO	193
	95/31/599	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940	ELECTROMAGNETISMO	193
142	95/31/278	MICRÓFONO HUGHES	1890-1910	ELECTROMAGNETISMO	194
143	95/31/271	TELÉGRAFO DE CUADRANTE	1870-1890	ELECTROMAGNETISMO	195-196
144	95/31/270	RECEPTOR DEL TELÉGRAFO IMPRESOR MORSE	1870-1890	ELECTROMAGNETISMO	197
145	95/31/272	MUESTRAS DE CABLES TELEGRÁFICOS SUBMARINOS	1900-1920	ELECTROMAGNETISMO	200-201
146	95/31/17	CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON	1954-1970	FÍSICA ATÓMICA	202-203
147	95/31/526	CÁMARA DE NIEBLA	1930-1960	FÍSICA ATÓMICA	204
148	95/31/260	INSTRUMENTAL DE DUPERIER	1956	FÍSICA ATÓMICA	205-206
149	95/31/855	CÁMARA PARA MEDIR LA PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN ALFA	1940-1960	FÍSICA ATÓMICA	207
150	95/31/504	TUBO PHILIPS PARA CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960	FÍSICA ATÓMICA	208
	95/31/505	TUBO PHILIPS PARA CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960	FÍSICA ATÓMICA	208
	95/31/543	TUBO DE CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960	FÍSICA ATÓMICA	208
151	95/31/205	PIEDRA IMÁN	1775	MAGNETISMO	212-213
152	95/31/206	CAJA DE IMANES RECTOS	1870-1890	MAGNETISMO	214
153	95/31/204	IMÁN MONTADO	1850-1870	MAGNETISMO	215

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
154	95/31/233	SOPORTE PARA EL ESTUDIO DEL MAGNETISMO TERRESTRE	1880-1900	MAGNETISMO	216
155	95/31/676	APARATO PARA MOSTRAR EL MAGNETISMO TERRESTRE	1880-1910	MAGNETISMO	217
156	95/31/207	BRÚJULA DE INCLINACIÓN	1850-1890	MAGNETISMO	218
157	95/31/208	BRÚJULA DE INCLINACIÓN	1870-1890	MAGNETISMO	219
158	95/31/673	CÍRCULO DE INCLINACIÓN	1870-1910	MAGNETISMO	220-221
159	95/31/735	MAGNETÓMETRO BIFILAR	1900-1920	MAGNETISMO	222
160	95/31/361	FRASCO DE MARIOTTE	1840-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	226
161	95/31/380	APARATO HIDRODINÁMICO DE NIVEL CONSTANTE	1860-1880	MECÁNICA DE FLUIDOS	228
162	95/31/546	FUENTE DE VACÍO	1850-1880	MECÁNICA DE FLUIDOS	229
163	95/31/628	FUENTE DE COMPRESIÓN	1900-1930	MECÁNICA DE FLUIDOS	231
164	95/31/355	LUDIÓN	1810-1840	MECÁNICA DE FLUIDOS	232
165	95/31/356	MOLINETE HIDRÁULICO	1840-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	234
166	95/31/785	BOMBA ASPIRANTE IMPELENTE	1860-1880	MECÁNICA DE FLUIDOS	236
167	95/31/556	CILINDRO DE VIDRIO CON SOPORTE Y MEMBRANA	1870-1890	MECÁNICA DE FLUIDOS	237
168	95/31/363	BOMBA DE COMPRESIÓN	1860-1880	MECÁNICA DE FLUIDOS	238
	95/31/364	BOMBA DE INYECCIÓN DE GASES	1870-1890	MECÁNICA DE FLUIDOS	238
169	95/31/619	BOMBA DE COMPRESIÓN	1870-1890	MECÁNICA DE FLUIDOS	239
170	95/31/786	BOMBA DE COMPRESIÓN DE CAILLETET	1850-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	240
171	95/31/789	VACUOSCOPIO	1910-1940	MECÁNICA DE FLUIDOS	241
172	95/31/358	BAROSCOPIO	1830-1850	MECÁNICA DE FLUIDOS	242
173	95/31/360	HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO	1880-1900	MECÁNICA DE FLUIDOS	243
174	95/31/382	MANÓMETRO METÁLICO DE BOURDON	1850-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	245
175	95/31/468	MANÓMETRO DE CUBETA PROFUNDA	1875-1900	MECÁNICA DE FLUIDOS	246
176	95/31/555	MANÓMETRO DE REGNAULT	1880-1900	MECÁNICA DE FLUIDOS	248
177	95/31/381	APARATO PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE	1825-1845	MECÁNICA DE FLUIDOS	250-251
	95/31/557	APARATO PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE	1890-1910	MECÁNICA DE FLUIDOS	249
178	95/31/362	ESLABÓN PNEUMÁTICO	1850-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	252
179	95/31/359	APARATO DE GAY-LUSSAC Y THÉNARD	1850-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	253
180	95/31/357	APARATO DE HALDAT	1860-1880	MECÁNICA DE FLUIDOS	254
181	95/31/352	APARATO PARA MOSTRAR EL MÁXIMO DE DENSIDAD DEL AGUA	1900-1915	MECÁNICA DE FLUIDOS	255
182	95/31/366	ALCOHOLÍMETRO	1850-1870	MECÁNICA DE FLUIDOS	256-257
183	95/31/368	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1890-1910	MECÁNICA DE FLUIDOS	258
	95/31/377	AREÓMETRO DE CARTIER	1890-1910	MECÁNICA DE FLUIDOS	258
184	95/31/383	BALANZA DE MOHR	1890-1910	MECÁNICA DE FLUIDOS	259
185	95/31/466	APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA CAPILARIDAD	1890-1910	MECÁNICA DE FLUIDOS	260
186	95/31/400	CAJA CON DOCE FIGURAS DE PLATEAU	1870-1890	MECÁNICA DE FLUIDOS	262
187	95/31/330	APARATO PARA MOSTRAR LA COMPOSICIÓN DEL MOVIMIENTO	1835-1855	MECÁNICA DE SÓLIDOS	264
188	95/31/491	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE ELÁSTICO	1870-1890	MECÁNICA DE SÓLIDOS	265
189	95/31/324	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE OBLÍCUO	1870-1900	MECÁNICA DE SÓLIDOS	266
190	95/31/498	PALANCA DE PRIMER GÉNERO	1860-1890	MECÁNICA DE SÓLIDOS	267
191	95/31/310	TORNILLO DE ARQUÍMEDES	1810-1830	MECÁNICA DE SÓLIDOS	268
192	95/31/499	APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS OPUESTAS	1860-1890	MECÁNICA DE SÓLIDOS	269
193	95/31/335	APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS DE IGUAL SENTIDO	1860-1890	MECÁNICA DE SÓLIDOS	270
194	95/31/336	CUÑA DE 'sGRAVESANDE	1855-1865	MECÁNICA DE SÓLIDOS	271
195	95/31/332	PLANO INCLINADO	1835-1855	MECÁNICA DE SÓLIDOS	273
196	95/31/481	TRIBÓMETRO DE COULOMB	1860-1880	MECÁNICA DE SÓLIDOS	274
	95/31/333	BLOQUE DE TRIBÓMETRO	1850-1870	MECÁNICA DE SÓLIDOS	274
197	95/31/280	TRIBÓMETRO	1890-1920	MECÁNICA DE SÓLIDOS	275-276
198	95/31/321	APLASTAMIENTO DE MERIDIANOS	1850-1870	MECÁNICA DE SÓLIDOS	277
199	95/31/632	ACCESORIO DE MÁQUINA CENTRÍFUGA	1850-1880	MECÁNICA DE SÓLIDOS	278
200	95/31/323	MÁQUINA DE FUERZA CENTRÍFUGA CON CUENTAVUELTAS	1920-1940	MECÁNICA DE SÓLIDOS	279
	95/31/490	BASE PARA ACCESORIOS DE FUERZA CENTRÍFUGA	1880-1900	MECÁNICA DE SÓLIDOS	279
201	95/31/328	PISTA PARA FUERZA CENTRÍFUGA CON CARRITO	1890-1910	MECÁNICA DE SÓLIDOS	280
202	95/31/486	PÉNDULO DE FOUCAULT	1860-1880	MECÁNICA DE SÓLIDOS	281
203	95/31/732	PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER	1950-1965	MECÁNICA DE SÓLIDOS	282

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
204	95/31/737	PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER	1870-1890	MECÁNICA DE SÓLIDOS	283
205	95/31/492	APARATO DEL PÉNDULO DE MACH	1890-1910	MECÁNICA DE SÓLIDOS	284
206	95/31/325	PÉNDULO DOBLE	1880-1900	MECÁNICA DE SÓLIDOS	285
207	95/31/331	DOBLE PÉNDULO PARA AMORTIGUACIÓN DE OSCILACIONES	1850-1880	MECÁNICA DE SÓLIDOS	287
208	95/31/494	INSTRUMENTO PARA ESTUDIAR ELASTICIDAD POR TORSIÓN	1870-1900	MECÁNICA DE SÓLIDOS	288
209	95/31/337	PLANOS DE COHESIÓN	1850-1870	MECÁNICA DE SÓLIDOS	289
210	95/31/319	MARTILLO DE AGUA	1850-1870	MECÁNICA DE SÓLIDOS	290
211	95/31/639	CUBO DESMONTABLE	1870-1900	MECÁNICA DE SÓLIDOS	292
212	95/31/334	APARATO PARA MOSTRAR LA INTERFERENCIA DE ONDAS	1920-1940	MECÁNICA DE SÓLIDOS	293
213	95/31/478	APARATO PARA REPRESENTACIÓN DE ONDAS	1930-1960	MECÁNICA DE SÓLIDOS	294-295
	95/31/477	APARATO PARA REPRESENTACIÓN DE ONDAS	1950-1965	MECÁNICA DE SÓLIDOS	294
214	95/31/385	BARÓMETRO DE SIFÓN	1820-1840	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	301
	95/31/840	FRASCO CON MERCURIO	1870-1890	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	301
215	95/31/15	BARÓMETRO REGISTRADOR O BARÓGRAFO	1880-1891	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/610	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/611	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/612	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/613	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/614	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
216	95/31/615	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	303
217	95/31/784	HIGRÓMETRO DE REGNAULT	1850-1870	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	304
218	95/31/618	HIGRÓMETRO DE CONDENSACIÓN DE ALLUARD	1880-1900	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	305
219	95/31/734	MEDIDOR DE POLVO ATMOSFÉRICO	1900-1920	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	306-307
220	95/31/386	REGISTRADOR SÍSMICO	1880-1920	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	308
221	95/31/531	BALANZA DE TORSIÓN	1920-1930	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	309
222	95/31/399	CLISÍMETRO DE PINULAS	1890-1920	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	310
223	95/31/3	OJO ARTIFICIAL	1860-1880	ÓPTICA	315
224	95/31/45	MODELO ANATÓMICO DE OJO	1862	ÓPTICA	316-317
225	95/31/1	LENTE DE FRESNEL	1850-1870	ÓPTICA	318
226	95/31/6	LENTE BICÓNCAVA MONTADA	1850-1880	ÓPTICA	320
	95/31/8	LENTE BICONVEXA MONTADA EN SOPORTE	1850-1880	ÓPTICA	320
227	95/31/12	ESPEJO PLANO	1850-1880	ÓPTICA	321
228	95/31/435	ESPEJOS DE ÁNGULO VARIABLE	1850-1870	ÓPTICA	322
229	95/31/40	APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFLEXIÓN DE LA LUZ	1930-1960	ÓPTICA	323
230	95/31/768	ESPEJO CONVEXO	1860-1880	ÓPTICA	324
231	95/31/13	HELIOSTATO DE GAMBEY	1825-1845	ÓPTICA	325
232	95/31/61	PORTALUZ O HELIOSTATO DE LABORATORIO	1850-1870	ÓPTICA	326
233	95/31/407	CONO PARA ANAMORFOSIS	1860-1880	ÓPTICA	327
	95/31/769	CONO PARA ANAMORFOSIS	1860-1880	ÓPTICA	327
234	95/31/405	APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFRACCIÓN DE LA LUZ	1930-1960	ÓPTICA	329
235	95/31/635	APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA REFRACCIÓN DE LA LUZ	1850-1880	ÓPTICA	330

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
236	95/31/409	POLIPRISMA DE LÍQUIDOS	1860-1880	ÓPTICA	331
	95/31/404	PRISMA DE ÁNGULO VARIABLE	1870-1890	ÓPTICA	331
237	95/31/64	REFRACTÓMETRO DE PULFRICHT	1890-1910	ÓPTICA	332
238	95/31/7	REFRACTÓMETRO DE FÉRY	1890-1910	ÓPTICA	333-334
239	95/31/77	PRISMA	1870-1900	ÓPTICA	335
	95/31/277	PRISMA CÓNICO	1840-1860	ÓPTICA	335
	95/31/776	PRISMA	1870-1900	ÓPTICA	335
240	95/31/42	CÁMARA LÚCIDA	1850-1870	ÓPTICA	336
241	95/31/561	PRISMA ACROMÁTICO	1840-1860	ÓPTICA	337
242	95/31/402	ESPEJOS PARA LA RECOMPOSICIÓN DE LA LUZ BLANCA	1870-1890	ÓPTICA	338
243	95/31/403	DISCO CROMÁTICO	1880-1900	ÓPTICA	340
244	95/31/9	MICROSCOPIO COMPUESTO TIPO OBERHAÜSER	1870-1890	ÓPTICA	341
	95/31/35	MICROSCOPIO COMPUESTO TIPO GOULD	1860-1880	ÓPTICA	341
245	95/31/857	CÁMARA LÚCIDA TIPO SOEMMERRING PARA MICROSCOPIO	1880-1900	ÓPTICA	342
	95/31/856	CÁMARA LÚCIDA TIPO AMICI PARA MICROSCOPIO	1920-1940	ÓPTICA	342
246	95/31/14	MICROSCOPIO POLARIZADOR	1870-1890	ÓPTICA	343-344
247	95/31/755	ARCO VOLTAICO PARA ULTRAMICROSCOPÍA	1925-1935	ÓPTICA	345
	95/31/587	CONDENSADOR CARDIODE	1925-1935	ÓPTICA	345-346
248	95/31/736	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN JEOL	1972	ÓPTICA	347
249	95/31/56	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN DE WEBSKY	1930-1950	ÓPTICA	348
	95/31/65	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN DE WEBSKY	1890-1910	ÓPTICA	348-349
250	95/31/52	GONIÓMETRO UNIVERSAL	1870-1890	ÓPTICA	350
251	95/31/34	GONIÓMETRO DE DOS CIRCULOS	1920-1930	ÓPTICA	351-352
252	95/31/84	ESPECTROSCOPIO	1860-1880	ÓPTICA	353-354
253	95/31/29	CUATRO TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1880-1910	ÓPTICA	355
	95/31/425	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940	ÓPTICA	355
	95/31/428	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1890-1920	ÓPTICA	355
	95/31/429	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940	ÓPTICA	355
	95/31/431	DOS TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1900-1920	ÓPTICA	355
	95/31/432	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DEL HIDRÓGENO	1900-1920	ÓPTICA	355
	95/31/432	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940	ÓPTICA	355
254	95/31/40	SOPORTE UNIVERSAL DE EDELMAN	1880-1900	ÓPTICA	356
	95/31/39	SOPORTE UNIVERSAL DE EDELMAN	1870-1900	ÓPTICA	356
255	95/31/434	TUBOS DE VIDRIO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE SÓLIDOS	1900-1920	ÓPTICA	357
	95/31/638	TUBOS DE VIDRIO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE LÍQUIDOS	1900-1920	ÓPTICA	357
256	95/31/397	CAJA CON SULFUROS FOSFORESCENTES	1896-1901	ÓPTICA	359
257	95/31/21	RECIPIENTE DE VIDRIO DE CARAS PARALELAS	1870-1890	ÓPTICA	360
258	95/31/75	RENDIJA Y ACCESORIO DE ESPECTRÓGRAFO DE PAULSEN	1883-1886	ÓPTICA	361
259	95/31/767	RENDIJA DE ESPECTRÓGRAFO	1890-1920	ÓPTICA	362
260	95/31/54	ESPECTROFOTÓMETRO	1900-1930	ÓPTICA	363-364
261	95/31/66	FOTÓMETRO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE D´ARSONVAL	1890-1910	ÓPTICA	365
262	95/31/408	FOTÓMETRO DE RÜDORFF	1930-1950	ÓPTICA	366
263	95/31/765	FOTÓMETRO DE CONROY	1930-1950	ÓPTICA	368
264	95/31/766	FOTÓMETRO DE LUMMER-BRODHUN	1930-1950	ÓPTICA	369-370
265	95/31/764	FOTÓMETRO DE GUILD	1930-1950	ÓPTICA	371
266	95/31/33	LUXÓMETRO FOTOELÉCTRICO WESTON	1934	ÓPTICA	372
267	95/31/82	NEFELÓMETRO O MEDIDOR DE ENTURBIAMIENTO	1920-1940	ÓPTICA	373
268	95/31/16	INTERFERÓMETRO DE MICHELSON	1930-1950	ÓPTICA	374-375
269	95/31/55	INTERFERÓMETRO DE MICHELSON Y FABRY-PEROT	1920-1940	ÓPTICA	376-377
270	95/31/72	DISPOSITIVO INTERFERENCIAL	1880-1910	ÓPTICA	378
271	95/31/2	REFRACTÓMETRO INTERFERENCIAL DE JAMIN	1920-1940	ÓPTICA	379
272	95/31/48	MICRÓMETRO OCULAR DE FRESNEL	1845-1855	ÓPTICA	380
	95/31/60	MICRÓMETRO OCULAR DE FRESNEL	1890-1910	ÓPTICA	380
273	95/31/339	APARATO PARA MOSTRAR LOS ANILLOS DE NEWTON	1880-1910	ÓPTICA	381
	95/31/470	APARATO PARA MOSTRAR LOS ANILLOS DE NEWTON	1950-1965	ÓPTICA	381
274	95/31/28	RED DE DIFRACCIÓN DE ESCALONES	1920-1940	ÓPTICA	383

Nº	Nº inv.	Nombre	Datación	Sección	Fig.
275	95/31/22	RED DE DIFRACCIÓN DOBLE EN MONTURA DE LATÓN	1880-1900	ÓPTICA	384
276	95/31/648	ACCESORIOS DE BANCO ÓPTICO	1880-1900	ÓPTICA	385
277	95/31/68	BANCO ÓPTICO DE PAALZOW	1880-1910	ÓPTICA	386
278	95/31/754	LÁMPARAS DE ARCO Y DE INCANDESCENCIA PARA BANCO ÓPTICO	1925-1935	ÓPTICA	387
279	95/31/87	PROYECTOR	1880-1910	ÓPTICA	388
280	95/31/26	POLARISCOPIO DE REFRACCIÓN	1840-1850	ÓPTICA	389
	95/31/25	POLARISCOPIO DE REFRACCIÓN	1840-1860	ÓPTICA	389
281	95/31/47	APARATO PARA MOSTRAR FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN	1825-1845	ÓPTICA	390
282	95/31/79	APARATO DE SOLEIL PARA OBSERVAR CRISTALES CON LUZ POLARIZADA	1840-1850	ÓPTICA	391-392
	95/31/78	APARATO DE SOLEIL PARA OBSERVAR CRISTALES CON LUZ POLARIZADA	1845-1855	ÓPTICA	391
283	95/31/401	POLARISCOPIO DE NÖRRENBERG	1860-1880	ÓPTICA	393
284	95/31/10	POLARISCOPIO DE PROYECCIÓN	1845-1855	ÓPTICA	394-395
285	95/31/41	POLARISCOPIO DE DUBOSCQ	1875-1895	ÓPTICA	396
286	95/31/19	CUATRO TUBOS DE POLARÍMETRO	1880-1900	ÓPTICA	397
287	95/31/49	POLARÍMETRO DE LANDOLT DE DIVISIÓN CIRCULAR	1900-1920	ÓPTICA	398
288	95/31/50	APARATO PARA EFECTOS DE BIRREFRINGENCIA	1830-1850	ÓPTICA	399-400
289	95/31/70	CRISTAL BIRREFRINGENTE MONTADO	1860-1880	ÓPTICA	401
290	95/31/616	BICUARZO DE DOBLE ROTACIÓN	1875-1895	ÓPTICA	402
291	95/31/76	TUBO POLARIZADOR	1860-1880	ÓPTICA	403
	95/31/730	CUATRO VIDRIOS TEMPLADOS	1860-1880	ÓPTICA	403
292	95/31/53	ELECTROIMÁN PARA EFECTO FARADAY	1920-1940	ÓPTICA	405
293	95/31/718	ILUSTRACIÓN DE LOS EJES DE UN CRISTAL	1880-1900	ÓPTICA	406
294	95/31/37	CONO DE AUMENTO PARA VERASCOPIO	1890-1920	ÓPTICA	408-409
295	95/31/410	ESTEREOSCOPIO CLASIFICADOR	1890-1920	ÓPTICA	410-411
296	95/31/415	LINTERNA MÁGICA	1895-1915	ÓPTICA	412
	95/31/85	LINTERNA MÁGICA	1910-1925	ÓPTICA	412
297	95/31/86	PROYECTOR DE CUERPOS OPACOS	1930-1950	ÓPTICA	413
298	95/31/514	ESPEJO GIRATORIO	1930-1960	ÓPTICA	414
299	95/31/412	RUEDA PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS	1940-1970	ÓPTICA	415
	95/31/411	APARATO PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS	1900-1920	ÓPTICA	415
300	95/31/329	BALANZA ROMANA	1850-1880	PESAS Y MEDIDAS	417
301	95/31/625	TRES PESAS PATRÓN EN ESTUCHE	1912	PESAS Y MEDIDAS	418-419
	95/31/624	PESA PATRÓN EN ESTUCHE	1910-1920	PESAS Y MEDIDAS	418-419
302	95/31/311	BALANZA DE PRECISIÓN	1940-1965	PESAS Y MEDIDAS	420
303	95/31/312	BALANZA DE PRECISIÓN	1860-1890	PESAS Y MEDIDAS	421
304	95/31/313	BALANZA DE PRECISIÓN	1890-1920	PESAS Y MEDIDAS	422
305	95/31/314	BALANZA DE PRECISIÓN	1895-1920	PESAS Y MEDIDAS	423
306	95/31/316	BALANZA DE PRECISIÓN	1885-1915	PESAS Y MEDIDAS	424-425
307	95/31/318	BALANZA DE PRECISIÓN	1890-1920	PESAS Y MEDIDAS	426-427
308	95/31/327	METRO PATRÓN	1920-1940	PESAS Y MEDIDAS	428
309	95/31/626	ESCALA GRADUADA DE PRECISIÓN	1920-1940	PESAS Y MEDIDAS	429
310	95/31/640	CATETÓMETRO	1890-1920	PESAS Y MEDIDAS	430
311	95/31/733	CATETÓMETRO	1890-1910	PESAS Y MEDIDAS	431
312	95/31/565	PÉNDULO ELÉCTRICO	1910-1930	PESAS Y MEDIDAS	432-433
313	95/31/517	REGULADOR DE CONTACTOS PARA PÉNDULO ASTRONÓMICO	1845-1865	PESAS Y MEDIDAS	434-436

A continuación incluimos el inventario completo de la colección de instrumentos de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid, ordenado por el número de inventario con el que figuran las piezas en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología. Se ha incluido además, el número de figura con el que aparecen en esta obra (en el caso de que la pieza se encuentre en ella), la sección a la que pertenece, su nombre y su datación.

TABLA 2: INVENTARIO

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/1	318	ÓPTICA	LENTE DE FRESNEL	1850-1870
95/31/2	379	ÓPTICA	REFRACTÓMETRO INTERFERENCIAL DE JAMIN	1920-1940
95/31/3	315	ÓPTICA	OJO ARTIFICIAL	1860-1880
95/31/4		ÓPTICA	SOPORTE PARA POLIPRISMA	1845-1855
95/31/5		ÓPTICA	SOPORTE PARA PRISMA	1845-1855
95/31/6	320	ÓPTICA	LENTE BICÓNCAVA MONTADA	1850-1880
95/31/7	333	ÓPTICA	REFRACTÓMETRO DE FÉRY	1890-1910
95/31/8	320	ÓPTICA	LENTE BICONVEXA MONTADA EN SOPORTE	1850-1880
95/31/9	341	ÓPTICA	MICROSCOPIO COMPUESTO TIPO OBERHAÜSER	1870-1890
95/31/10	394	ÓPTICA	POLARISCOPIO DE PROYECCIÓN	1845-1855
95/31/11	67	CALOR	BANCO DE MELLONI	1840-1860
95/31/12	321	ÓPTICA	ESPEJO PLANO	1850-1880
95/31/13	325	ÓPTICA	HELIOSTATO DE GAMBEY	1825-1845
95/31/14	343	ÓPTICA	MICROSCOPIO POLARIZADOR	1870-1890
95/31/15	302	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	BARÓMETRO REGISTRADOR O BARÓGRAFO	1880-1891
95/31/16	374	ÓPTICA	INTERFERÓMETRO DE MICHELSON	1930-1950
95/31/17	202	FÍSICA ATÓMICA	CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON	1954-1970
95/31/18		FÍSICA ATÓMICA	CÁMARA DE NIEBLA DE WILSON	1954-1970
95/31/19	397	ÓPTICA	CUATRO TUBOS DE POLARÍMETRO	1880-1900
95/31/20		ÓPTICA	TUBOS DE POLARÍMETRO	1880-1900
95/31/21	360	ÓPTICA	RECIPIENTE DE VIDRIO DE CARAS PARALELAS	1870-1890
95/31/22	384	ÓPTICA	RED DE DIFRACCIÓN DOBLE EN MONTURA DE LATÓN	1880-1900
95/31/23		ÓPTICA	SOPORTE	1840-1870
95/31/24		ÓPTICA	SOPORTE	1840-1870
95/31/25	389	ÓPTICA	POLARISCOPIO DE REFRACCIÓN	1840-1860
95/31/26	389	ÓPTICA	POLARISCOPIO DE REFRACCIÓN	1840-1850
95/31/27	335	ÓPTICA	PRISMA CÓNICO	1840-1860
95/31/28	383	ÓPTICA	RED DE DIFRACCIÓN DE ESCALONES	1920-1940
95/31/29	355	ÓPTICA	CUATRO TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1880-1910
95/31/30		ÓPTICA	PRISMA HUECO DE MEYERSTEIN PARA LÍQUIDOS	1890-1910
95/31/31		ÓPTICA	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN	1954-1970
95/31/32		ÓPTICA	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN	1954-1970
95/31/33	372	ÓPTICA	LUXÓMETRO FOTOELÉCTRICO WESTON	1934
95/31/34	351	ÓPTICA	GONIÓMETRO DE DOS CIRCULOS	1920-1930
95/31/35	341	ÓPTICA	MICROSCOPIO COMPUESTO TIPO GOULD	1860-1880
95/31/36	66	CALOR	PILA TERMOELÉCTRICA SUPERFICIAL DE MOLL	1930-1960
95/31/37	408	ÓPTICA	CONO DE AUMENTO PARA VERASCOPIO	1890-1920
95/31/38		CALOR	PILA TERMOELÉCTRICA SUPERFICIAL DE MOLL	1930-1960
95/31/39	356	ÓPTICA	SOPORTE UNIVERSAL DE EDELMAN	1870-1900
95/31/40	356	ÓPTICA	SOPORTE UNIVERSAL DE EDELMAN	1880-1900
95/31/41	396	ÓPTICA	POLARISCOPIO DE DUBOSCQ	1875-1895
95/31/42	336	ÓPTICA	CÁMARA LÚCIDA	1850-1870
95/31/43		ÓPTICA	OBJETIVO DE MICROSCOPIO	1880-1900
95/31/44		ÓPTICA	ESPECTROSCOPIO	1920-1940
95/31/45	316	ÓPTICA	MODELO ANATÓMICO DE OJO	1862
95/31/46		ÓPTICA	POLARÍMETRO DE MITSCHERLICH	1930-1960
95/31/47	390	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN	1825-1845
95/31/48	380	ÓPTICA	MICRÓMETRO OCULAR DE FRESNEL	1845-1855
95/31/49	398	ÓPTICA	POLARÍMETRO DE LANDOLT DE DIVISIÓN CIRCULAR	1900-1920
95/31/50	399	ÓPTICA	APARATO PARA EFECTOS DE BIRREFRINGENCIA	1830-1850
95/31/51		ÓPTICA	SOPORTE	1880-1910
95/31/52	350	ÓPTICA	GONIÓMETRO UNIVERSAL	1870-1890
95/31/53	405	ÓPTICA	ELECTROIMÁN PARA EFECTO FARADAY	1920-1940
95/31/54	363	ÓPTICA	ESPECTROFOTÓMETRO	1900-1930
95/31/55	376	ÓPTICA	INTERFERÓMETRO DE MICHELSON Y FABRY-PEROT	1920-1940
95/31/56	348	ÓPTICA	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN DE WEBSKY	1930-1950
95/31/57		ÓPTICA	DOS RENDIJAS MICROMÉTRICAS PARA BANCO ÓPTICO	1900-1930
95/31/58		ÓPTICA	DOS SOPORTES PARA BANCO ÓPTICO	1890-1920
95/31/59		ÓPTICA	ESPEJO INTERFERENCIAL DE FRESNEL	1900-1920
95/31/60	380	ÓPTICA	MICRÓMETRO OCULAR DE FRESNEL	1890-1910

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/61	326	ÓPTICA	PORTALUZ O HELIOSTATO DE LABORATORIO	1850-1870
95/31/62		ÓPTICA	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1940-1960
95/31/63		ÓPTICA	TRES TUBOS PORTAMUESTRAS	1930-1950
95/31/64	332	ÓPTICA	REFRACTÓMETRO DE PULFRICHT	1890-1910
95/31/65	348	ÓPTICA	GONIÓMETRO DE REFLEXIÓN DE WEBSKY	1890-1910
95/31/66	365	ÓPTICA	FOTÓMETRO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DE D´ARSONVAL	1890-1910
95/31/67		ELECTRICIDAD	TUBO DE MÜLLER	1935-1955
95/31/68	386	ÓPTICA	BANCO ÓPTICO DE PAALZOW	1880-1910
95/31/69		ÓPTICA	LENTE Y SOPORTE PARA BANCO ÓPTICO	1870-1890
95/31/70	401	ÓPTICA	CRISTAL BIRREFRINGENTE MONTADO	1860-1880
95/31/71		ÓPTICA	SOPORTE DE PROYECTOR	1883-1886
95/31/72	378	ÓPTICA	DISPOSITIVO INTERFERENCIAL	1880-1910
95/31/73		ÓPTICA	SOPORTE	1860-1880
95/31/74		ÓPTICA	TUBO CÓNICO CON LENTES CONDENSADORAS	1880-1910
95/31/75	361	ÓPTICA	RENDIJA Y ACCESORIO DE ESPECTRÓGRAFO DE PAULSEN	1883-1886
95/31/76	403	ÓPTICA	TUBO POLARIZADOR	1860-1880
95/31/77		ÓPTICA	RENDIJA FOTOGRÁFICA PARA ESPECTRÓGRAFO	1930-1950
95/31/78	391	ÓPTICA	APARATO DE SOLEIL PARA OBSERVAR CRISTALES CON LUZ POLARIZADA	1845-1855
95/31/79	391	ÓPTICA	APARATO DE SOLEIL PARA OBSERVAR CRISTALES CON LUZ POLARIZADA	1840-1850
95/31/80		ÓPTICA	MÉNSULA GIRATORIA	1900-1930
95/31/81		ÓPTICA	TUBO DE ESPECTROSCOPIO EN SOPORTE	1880-1910
95/31/82	373	ÓPTICA	NEFELÓMETRO O MEDIDOR DE ENTURBIAMIENTO	1920-1940
95/31/83		ÓPTICA	QUINCE ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO ZEISS	1930-1960
95/31/84	353	ÓPTICA	ESPECTROSCOPIO	1860-1880
95/31/85	412	ÓPTICA	LINTERNA MÁGICA	1910-1925
95/31/86	413	ÓPTICA	PROYECTOR DE CUERPOS OPACOS	1930-1950
95/31/87	388	ÓPTICA	PROYECTOR	1880-1910
95/31/88		ELECTRICIDAD	CILINDRO CONDUCTOR	1880-1900
95/31/89	85	ELECTRICIDAD	CILINDRO CONDUCTOR	1890-1910
95/31/90	85	ELECTRICIDAD	CILINDRO CONDUCTOR	1880-1900
95/31/91	86	ELECTRICIDAD	ESFERA CONDUCTORA	1880-1900
95/31/92		ELECTRICIDAD	ESFERA CONDUCTORA	1880-1900
95/31/93		ELECTRICIDAD	ESFERA CONDUCTORA	1880-1900
95/31/94	86	ELECTRICIDAD	ESFERA HUECA	1870-1890
95/31/95	71	ELECTRICIDAD	ELECTRÓFORO	1880-1900
95/31/96	71	ELECTRICIDAD	ELECTRÓFORO	1880-1900
95/31/97	71	ELECTRICIDAD	ELECTRÓFORO	1880-1900
95/31/98		ELECTRICIDAD	CILINDRO DE FARADAY	1870-1890
95/31/99		ELECTRICIDAD	GRANIZO ELÉCTRICO	1840-1860
95/31/100	93	ELECTRICIDAD	GRANIZO ELÉCTRICO	1850-1870
95/31/101	92	ELECTRICIDAD	TEMPLETE PARA DANZA ELÉCTRICA	1860-1880
95/31/102	89	ELECTRICIDAD	EFECTO ELÉCTRICO EN PUNTAS	1870-1900
95/31/103	90	ELECTRICIDAD	CAMPANARIO ELÉCTRICO	1870-1890
95/31/104	94	ELECTRICIDAD	EXCITADOR UNIVERSAL	1860-1880
95/31/105	96	ELECTRICIDAD	EXCITADOR CON MANGOS DE VIDRIO	1870-1890
95/31/106	96	ELECTRICIDAD	EXCITADOR CON MANGO DE VIDRIO	1870-1890
95/31/107		ELECTRICIDAD	EXCITADOR CON MANGOS DE VIDRIO	1870-1890
95/31/108	96	ELECTRICIDAD	EXCITADOR SENCILLO	1870-1890
95/31/109		ELECTRICIDAD	EXCITADOR CON MANGO DE VIDRIO	1870-1890
95/31/110	96	ELECTRICIDAD	EXCITADOR CON MANGO DE MADERA	1870-1890
95/31/111	106	ELECTRICIDAD	BOTELLA DE LANE	1850-1880
95/31/112	108	ELECTRICIDAD	ESPINTERÓMETRO	1880-1900
95/31/113	97	ELECTRICIDAD	EXCITADOR MICROMÉTRICO	1880-1900
95/31/114	98	ELECTRICIDAD	TUBOS CENTELLEANTES	1860-1890
95/31/115	99	ELECTRICIDAD	CUADROS MÁGICOS	1880-1900
95/31/116		ELECTRICIDAD	BARRA DE EBONITA CON ESFERA METÁLICA	1900-1920
95/31/117		ELECTRICIDAD	BARRA DE EBONITA CON DISCO METÁLICO	1900-1920
95/31/118	105	ELECTRICIDAD	BARRA DE EBONITA	1880-1900
95/31/119	79	ELECTRICIDAD	BOTELLA DE LEIDEN	1850-1880
95/31/120	79	ELECTRICIDAD	BOTELLA DE LEIDEN	1850-1880
95/31/121	80	ELECTRICIDAD	BOTELLA DE LEIDEN DE ARMADURAS MÓVILES	1860-1890
95/31/122	191	ELECTROMAGNETISMO	APARATO DE LODGE	1900-1930
95/31/123		ELECTRICIDAD	SOPORTE AISLADOR	1890-1910
95/31/124	73	ELECTRICIDAD	MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE CARRÉ	1880-1900
95/31/125		ELECTRICIDAD	MÁQUINA DE WIMSHURST	1880-1900
95/31/126	74	ELECTRICIDAD	MÁQUINA DE WIMSHURST	1890-1910
95/31/127	70	ELECTRICIDAD	MÁQUINA ELECTROSTÁTICA DE UN CONDUCTOR	1840-1870
95/31/128	76	ELECTRICIDAD	MÁQUINA DE WIMSHURST DE OCHO DISCOS	1901
95/31/129	78	ELECTRICIDAD	GENERADOR ELECTROSTÁTICO DE VAN DER GRAAFF	1930-1960
95/31/130		ELECTRICIDAD	GENERADOR ELECTROSTÁTICO DE VAN DER GRAAFF	1930-1960
95/31/131	101	ELECTRICIDAD	PRENSA PARA EFECTOS CALORÍFICOS EN CONDUCTORES	1840-1870
95/31/132		ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1920-1950
95/31/133		ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1940-1960

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/134		ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1880-1900
95/31/135	123	ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1880-1900
95/31/136	124	ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1870-1890
95/31/137		ELECTRICIDAD	CAJA PUENTE	1900-1920
95/31/138	129	ELECTRICIDAD	CAJA PUENTE	1890-1910
95/31/139	170	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO DE BOVINA MÓVIL DE DEPREZ - D'ARSONVAL	1882-1900
95/31/140	168	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO DE BOVINA MÓVIL DE DEPREZ - D'ARSONVAL	1882-1900
95/31/141	161	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO ASTÁTICO DE NOBILI	1830-1850
95/31/142	107	ELECTRICIDAD	ELECTRÓMETRO DE BRANLY	1890-1910
95/31/143	164	ELECTROMAGNETISMO	ELECTRODINAMÓMETRO	1890-1900
95/31/144	165	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO DE REFLEXIÓN DE THOMSON	1870-1890
95/31/145		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1966
95/31/146		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1940-1960
95/31/147		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1940-1960
95/31/148		ELECTROMAGNETISMO	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1950-1970
95/31/149		ELECTROMAGNETISMO	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1960-1970
95/31/150		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1940-1960
95/31/151	122	ELECTRICIDAD	REOCORDIO DE POGGENDORFF	1880-1900
95/31/152	117	ELECTRICIDAD	PUENTE DE WHEATSTONE	1890-1910
95/31/153		ELECTRICIDAD	RESISTENCIA DE CURSOR	1880-1900
95/31/154		ELECTRICIDAD	PUENTE DE MEDIDA UNIVERSAL DE KOHLRAUSCH	1890-1910
95/31/155	118	ELECTRICIDAD	PUENTE DOBLE DE THOMSON	1880-1900
95/31/156		ÓPTICA	OBTURADOR	1883-1886
95/31/157	119	ELECTRICIDAD	PUENTE DE MEDIDA UNIVERSAL DE KOHLRAUSCH	1890-1910
95/31/158		ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE TRANSFORMADOR	1940-1960
95/31/159		ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE INDUCTOR Y RESISTOR	1940-1960
95/31/160		ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE MOTOR DE CORRIENTES DE FOUCAULT	1940-1960
95/31/161		ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE ELECTROIMÁN CON BOBINA	1940-1960
95/31/162		ELECTRICIDAD	MODELO DE RESISTENCIA Y CONDENSADOR VARIABLE	1956
95/31/163		ELECTRICIDAD	MODELO DE CIRCUITO CON BOMBILLA	1950-1960
95/31/164		ELECTRICIDAD	DISPOSITIVO MICROFÓNICO ESPECIAL	1957
95/31/165		ELECTROMAGNETISMO	CIRCUITO COMPLEJO	1940-1960
95/31/166		ELECTROMAGNETISMO	CIRCUITO COMPLEJO	1940-1960
95/31/167		ELECTROMAGNETISMO	ACCESORIO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS	1910-1930
95/31/168		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR VARIABLE	1950-1970
95/31/169		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 0,1 MICROFARADIOS	1920-1940
95/31/170		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 0,1 MICROFARADIOS	1950-1970
95/31/171	84	ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 2 MICROFARADIOS	1890-1910
95/31/172		ELECTROMAGNETISMO	AMPERÍMETRO DE BOBINA MÓVIL	1920-1930
95/31/173		ELECTROMAGNETISMO	AMPERÍMETRO DE IMÁN MÓVIL	1910-1930
95/31/174	171	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO DE ESPEJO DE AYRTON Y MATHER	1907
95/31/175		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE BOBINA MÓVIL	1940-1950
95/31/176		ELECTROMAGNETISMO	MULTÍMETRO	1940-1970
95/31/177		ELECTROMAGNETISMO	MULTÍMETRO	1940-1970
95/31/178		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO ELECTRÓNICO	1955-1970
95/31/179		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE IMÁN MÓVIL	1930-1950
95/31/180		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO	1930-1950
95/31/181		ELECTRICIDAD	APARATO DE ALTA TENSIÓN	1930-1970
95/31/182		ELECTROMAGNETISMO	WATÍMETRO FERRODINÁMICO	1930-1950
95/31/183		ELECTROMAGNETISMO	WATÍMETRO	1910-1930
95/31/184		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO	1890-1910
95/31/185		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE BOBINA MÓVIL	1950
95/31/186		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE BOBINA MÓVIL	1930-1950
95/31/187	167	ELECTROMAGNETISMO	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1900-1920
95/31/188	126	ELECTRICIDAD	SHUNT PARA GALVANÓMETRO	1899
95/31/189		ELECTRICIDAD	POTENCIÓMETRO	1940-1960
95/31/190		ELECTRICIDAD	RESISTENCIA VARIABLE	1940-1960
95/31/191		ELECTRICIDAD	APARATO ELÉCTRICO	1900-1920
95/31/192		ELECTRICIDAD	INTERRUPTOR	1890-1910
95/31/193		ELECTRICIDAD	INTERRUPTOR	1890-1910
95/31/194		ELECTRICIDAD	REÓSTATO	1890-1910
95/31/195	128	ELECTRICIDAD	REÓSTATO	1890-1910
95/31/196		ELECTRICIDAD	CONMUTADOR UNIPOLAR Y BIPOLAR	1940-1960
95/31/197		ELECTRICIDAD	TRIODO	1940-1960
95/31/198		ELECTRICIDAD	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1950-1970
95/31/199		ELECTRICIDAD	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1950-1970
95/31/200		ELECTRICIDAD	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1950-1970
95/31/201		ELECTRICIDAD	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1950-1970
95/31/202	111	ELECTRICIDAD	PILA DE VOLTA	1890-1910
95/31/203	113	ELECTRICIDAD	PILA REYNIER	1890-1910
95/31/204	215	MAGNETISMO	IMÁN MONTADO	1850-1870
95/31/205	212	MAGNETISMO	PIEDRA IMÁN	1775
95/31/206	214	MAGNETISMO	CAJA DE IMANES RECTOS	1870-1890

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/207	218	MAGNETISMO	BRÚJULA DE INCLINACIÓN	1850-1870
95/31/208	219	MAGNETISMO	BRÚJULA DE INCLINACIÓN	1870-1890
95/31/209		ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LA EXPERIENCIA DE OERSTED	1890-1910
95/31/210		ELECTRICIDAD	ELECTROSCOPIO SIMPLIFICADO	1960-1980
95/31/211	116	ELECTRICIDAD	VOLTÁMETRO	1890-1910
95/31/212		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/213		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/214		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/215		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/216		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/217		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/218		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/219		ELECTRICIDAD	SOPORTE PARA CUBETA ELECTROLÍTICA	1890-1910
95/31/220	114	ELECTRICIDAD	APARATO PARA EXPERIENCIAS DE ELECTRÓLISIS	1880-1900
95/31/221	190	ELECTROMAGNETISMO	TRANSFORMADOR DE ALTA TENSIÓN	1880-1900
95/31/222		ÓPTICA	PROYECTOR DE PELÍCULAS	1960-1970
95/31/223		ELECTROMAGNETISMO	TRANSFORMADOR	1920-1940
95/31/224		ELECTROMAGNETISMO	BOBINA DE INDUCCIÓN	1956
95/31/225		ELECTROMAGNETISMO	BOBINA DE INDUCCIÓN	1956
95/31/226		ELECTROMAGNETISMO	BOBINA DE INDUCCIÓN	1956
95/31/227		ELECTROMAGNETISMO	BOBINA DE INDUCCIÓN	1956
95/31/228	157	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO	1900-1920
95/31/229	175	ELECTROMAGNETISMO	RUEDA DE BARLOW	1940-1970
95/31/230	177	ELECTROMAGNETISMO	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930
95/31/231	177	ELECTROMAGNETISMO	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930
95/31/232	177	ELECTROMAGNETISMO	MOTOR ELÉCTRICO PARA CORRIENTE CONTINUA	1910-1930
95/31/233	216	MAGNETISMO	SOPORTE PARA EL ESTUDIO DEL MAGNETISMO TERRESTRE	1880-1900
95/31/234	180	ELECTROMAGNETISMO	MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA Y MAGNETOELÉCTRICA	1880-1910
95/31/235	160	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LAS CORRIENTES INDUCIDAS	1890-1910
95/31/236	179	ELECTROMAGNETISMO	MODELOS DE MOTOR TRIFASE Y DIFASE	1880-1910
95/31/237	181	ELECTROMAGNETISMO	MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE CLARKE	1860-1880
95/31/238	148	ELECTRICIDAD	APARATO TERMOELÉCTRICO	1930-1960
95/31/239		ELECTROMAGNETISMO	DOS ELECTROIMANES CON SOPORTE Y PLATILLO	1960-1980
95/31/240	156	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LAS ACCIONES ENTRE CORRIENTES E IMANES	1880-1910
95/31/241	152	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LA EXPERIENCIA DE OERSTED	1925-1940
95/31/242	136	ELECTRICIDAD	TUBO DE RAYOS X	1900-1920
95/31/243	145	ELECTRICIDAD	TUBO DE COOLIDGE	1960-1980
95/31/244	134	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1900-1920
95/31/245	134	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1900-1920
95/31/246	134	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1900-1920
95/31/247	134	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1925-1950
95/31/248	135	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1900-1920
95/31/249	131	ELECTRICIDAD	ESCALA DE VACÍO	1920-1940
95/31/250	132	ELECTRICIDAD	TUBO DE GEISSLER	1910-1930
95/31/251	132	ELECTRICIDAD	TUBO DE GEISSLER	1910-1930
95/31/252	132	ELECTRICIDAD	TUBO DE GEISSLER	1910-1930
95/31/253	132	ELECTRICIDAD	TUBO DE GEISSLER	1910-1930
95/31/254	132	ELECTRICIDAD	TUBO DE GEISSLER	1910-1930
95/31/255	86	ELECTRICIDAD	VARILLA AISLANTE	1890-1910
95/31/256	86	ELECTRICIDAD	VARILLA AISLANTE	1890-1910
95/31/257	86	ELECTRICIDAD	VARILLA AISLANTE	1890-1910
95/31/258	138	ELECTRICIDAD	FLUOROSCOPIO CON PANTALLA FLUORESCENTE	1880-1910
95/31/259		ELECTRICIDAD	PANTALLA FLUORESCENTE	1920-1940
95/31/260	205	FÍSICA ATÓMICA	INSTRUMENTAL DE DUPERIER	1956
95/31/261		ELECTROMAGNETISMO	ATENUADOR	1940-1960
95/31/262		ELECTROMAGNETISMO	DESFASADOR	1940-1960
95/31/263		ELECTROMAGNETISMO	ONDÁMETRO	1910-1940
95/31/264		ELECTROMAGNETISMO	FUENTE DE POTENCIA	1960-1980
95/31/265		ELECTROMAGNETISMO	OSCILOSCOPIO PORTÁTIL	1930-1950
95/31/266	91	ELECTRICIDAD	CILINDRO DE FARADAY	1870-1890
95/31/267	174	ELECTROMAGNETISMO	PERMEÁMETRO	1880-1900
95/31/268		ELECTROMAGNETISMO	CONDUCTOR CIRCULAR	1940-1960
95/31/269		ELECTROMAGNETISMO	CONDUCTOR CIRCULAR	1940-1960
95/31/270	197	ELECTROMAGNETISMO	RECEPTOR DEL TELÉGRAFO IMPRESOR MORSE	1870-1890
95/31/271	195	ELECTROMAGNETISMO	TELÉGRAFO DE CUADRANTE	1870-1890
95/31/272	200	ELECTROMAGNETISMO	MUESTRAS DE CABLES TELEGRÁFICOS SUBMARINOS	1900-1920
95/31/273		ELECTROMAGNETISMO	TIMBRE ELÉCTRICO	1890-1920
95/31/274		ELECTRICIDAD	MICRÓFONO CON RESISTENCIA E INTERRUPTOR	1930-1950
95/31/275	102	ELECTRICIDAD	TALADRATARJETAS	1850-1880
95/31/276	102	ELECTRICIDAD	TALADRATARJETAS	1850-1880
95/31/277	103	ELECTRICIDAD	APARATO PARA DESCARGAS	1870-1890
95/31/278	194	ELECTRICIDAD	MICRÓFONO HUGHES	1890-1910
95/31/279	13	ACÚSTICA	CALEIDÓFONO	1870-1890

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/280	275	MECÁNICA DE SÓLIDOS	TRIBÓMETRO	1890-1920
95/31/281	11	ACÚSTICA	BANCO CON TRES PLACAS VIBRANTES	1840-1860
95/31/282	21	ACÚSTICA	ESPEJO PARABÓLICO	1870-1890
95/31/283	37	ACÚSTICA	RESONADOR DE HELMHOLTZ	1865-1885
95/31/284	37	ACÚSTICA	RESONADOR DE HELMHOLTZ	1865-1885
95/31/285	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/286		ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1870-1890
95/31/287	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/288	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/289	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/290	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/291	38	ACÚSTICA	RESONADOR DE KOENIG	1865-1885
95/31/292	34	ACÚSTICA	ESPEJO GIRATORIO PARA ANÁLISIS DE SONIDOS	1870-1890
95/31/293	34	ACÚSTICA	TUBO MANOMÉTRICO	1870-1890
95/31/294	32	ACÚSTICA	TUBO DE LENGÜETA BATIENTE	1870-1890
95/31/295	32	ACÚSTICA	TUBO DE LENGÜETA LIBRE	1870-1890
95/31/296	9	ACÚSTICA	SONÓMETRO	1850-1870
95/31/297	28	ACÚSTICA	SIRENA DE HELMHOLTZ	1880-1910
95/31/298	27	ACÚSTICA	DOBLE SIRENA DE HELMHOLTZ	1880-1910
95/31/299	25	ACÚSTICA	APARATO PARA EXPERIENCIA DE LISSAJOUS	1880-1910
95/31/300		ACÚSTICA	DIAPASÓN EXCITADO ELÉCTRICAMENTE	1950-1965
95/31/301	7	ACÚSTICA	TIMBRE SONORO	1880-1900
95/31/302	31	ACÚSTICA	APARATO DE LLAMAS CANTANTES	1890-1910
95/31/303		MECÁNICA DE FLUIDOS	ROMPEVEJIGAS	1840-1870
95/31/304		ACÚSTICA	DIAPASÓN EXCITADO ELÉCTRICAMENTE	1950-1965
95/31/305	20	ACÚSTICA	DIAPASÓN EXCITADO ELÉCTRICAMENTE	1850-1870
95/31/306		ACÚSTICA	POLVOS DE LICOPODIO	1940-1970
95/31/307		ACÚSTICA	POLVOS DE LICOPODIO	1960-1980
95/31/308		ACÚSTICA	BOTE CON ARENA PARA PLACAS VIBRANTES	1910-1930
95/31/309		ACÚSTICA	SEIS GOMAS PARA LLAMAS MANOMÉTRICAS	1900-1920
95/31/310	268	MECÁNICA DE SÓLIDOS	TORNILLO DE ARQUÍMEDES	1810-1830
95/31/311	420	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1940-1965
95/31/312	421	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1860-1890
95/31/313	422	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1890-1920
95/31/314	423	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1895-1920
95/31/315		PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1885-1915
95/31/316	424	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1885-1915
95/31/317		PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1936-1950
95/31/318	426	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA DE PRECISIÓN	1890-1920
95/31/319	290	MECÁNICA DE SÓLIDOS	MARTILLO DE AGUA	1850-1870
95/31/320	65	CALOR	APARATO DE TYNDALL	1880-1900
95/31/321	277	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APLASTAMIENTO DE MERIDIANOS	1850-1870
95/31/322		MECÁNICA DE SÓLIDOS	MÁQUINA DE FUERZA CENTRÍFUGA	1930-1950
95/31/323	279	MECÁNICA DE SÓLIDOS	MÁQUINA DE FUERZA CENTRÍFUGA CON CUENTAVUELTAS	1920-1940
95/31/324	266	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE OBLÍCUO	1870-1900
95/31/325	285	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO DOBLE	1880-1900
95/31/326		MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA MOSTRAR LA CONSERVACIÓN MOMENTO ANGULAR	1950-1970
95/31/327	428	PESAS Y MEDIDAS	METRO PATRÓN	1920-1940
95/31/328	280	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PISTA PARA FUERZA CENTRÍFUGA CON CARRITO	1890-1910
95/31/329	417	PESAS Y MEDIDAS	BALANZA ROMANA	1850-1880
95/31/330	264	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA MOSTRAR LA COMPOSICIÓN DEL MOVIMIENTO	1835-1855
95/31/331	287	MECÁNICA DE SÓLIDOS	DOBLE PÉNDULO PARA AMORTIGUACIÓN DE OSCILACIONES	1850-1880
95/31/332	273	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PLANO INCLINADO	1835-1855
95/31/333	274	MECÁNICA DE SÓLIDOS	BLOQUE DE TRIBÓMETRO	1850-1870
95/31/334	293	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA MOSTRAR LA INTERFERENCIA DE ONDAS	1920-1940
95/31/335	270	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS DE IGUAL SENTIDO	1860-1890
95/31/336	271	MECÁNICA DE SÓLIDOS	CUÑA DE 'sGRAVESANDE	1855-1865
95/31/337	289	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PLANOS DE COHESIÓN	1850-1870
95/31/338		MECÁNICA DE SÓLIDOS	ESFERA LASTRADA	1870-1890
95/31/339	381	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR LOS ANILLOS DE NEWTON	1880-1910
95/31/340		MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA ESTUDIAR TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO	1940-1960
95/31/341	56	CALOR	MARMITA DE PAPIN	1840-1860
95/31/342	57	CALOR	MODELO DE MÁQUINA DE WATT	1840-1860
95/31/343	67	CALOR	MUESTRAS PARA BANCO DE MELLONI	1840-1860
95/31/344	60	CALOR	TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE RUMFORD	1850-1870
95/31/345	61	CALOR	TERMÓMETRO DIFERENCIAL DE LESLIE	1850-1870
95/31/346	52	CALOR	CALORÍMETRO DE BLACK	1910-1930
95/31/347		CALOR	ESCALA DE TERMÓMETRO	1910-1930
95/31/348		CALOR	PIRÓMETRO	1940-1970
95/31/349	58	CALOR	SECCIÓN DE UN CILINDRO DE MÁQUINA DE VAPOR	1880-1910
95/31/350		CALOR	TERMÓMETRO	1890-1910
95/31/351		CALOR	SOPORTE DE ESPEJO PARABÓLICO	1850-1870
95/31/352	255	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO PARA MOSTRAR EL MÁXIMO DE DENSIDAD DEL AGUA	1900-1915

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/353		MECÁNICA DE SÓLIDOS	DOS ELEMENTOS PARA MÁQUINA DE ATWOOD	1880-1900
95/31/354	53	CALOR	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CALOR ESPECÍFICO EN LOS METALES	1890-1910
95/31/355	232	MECÁNICA DE FLUIDOS	LUDIÓN	1810-1840
95/31/356	234	MECÁNICA DE FLUIDOS	MOLINETE HIDRÁULICO	1840-1870
95/31/357	254	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO DE HALDAT	1860-1880
95/31/358	242	MECÁNICA DE FLUIDOS	BAROSCOPIO	1830-1850
95/31/359	253	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO DE GAY-LUSSAC Y THÉNARD	1850-1870
95/31/360	243	MECÁNICA DE FLUIDOS	HEMISFERIOS DE MAGDEBURGO	1880-1900
95/31/361	226	MECÁNICA DE FLUIDOS	FRASCO DE MARIOTTE	1840-1870
95/31/362	252	MECÁNICA DE FLUIDOS	ESLABÓN PNEUMÁTICO	1850-1870
95/31/363	238	MECÁNICA DE FLUIDOS	BOMBA DE COMPRESIÓN	1860-1880
95/31/364	238	MECÁNICA DE FLUIDOS	BOMBA DE INYECCIÓN DE GASES	1870-1890
95/31/365		MECÁNICA DE FLUIDOS	PLATINA PARA MÁQUINA DE BIANCHI	1870-1900
95/31/366	256	MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO	1850-1870
95/31/367		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO	1850-1870
95/31/368	258	MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1890-1910
95/31/369		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/370		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/371		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/372		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/373		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/374		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/375		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/376		MECÁNICA DE FLUIDOS	ALCOHOLÍMETRO DE GAY-LUSSAC	1885-1910
95/31/377	258	MECÁNICA DE FLUIDOS	AREÓMETRO DE CARTIER	1890-1910
95/31/378		MECÁNICA DE FLUIDOS	ESTUCHE DE ALCOHOLÍMETRO	1885-1910
95/31/379		MECÁNICA DE FLUIDOS	ESTUCHE DE AREÓMETRO	1870-1900
95/31/380	228	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO HIDRODINÁMICO DE NIVEL CONSTANTE	1860-1880
95/31/381	249	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE	1825-1845
95/31/382	245	MECÁNICA DE FLUIDOS	MANÓMETRO METÁLICO DE BOURDON	1850-1870
95/31/383	259	MECÁNICA DE FLUIDOS	BALANZA DE MOHR	1890-1910
95/31/384	43	CALOR	TERMÓMETRO DE AIRE DE JOLLY	1880-1910
95/31/385	301	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	BARÓMETRO DE SIFÓN	1820-1840
95/31/386	308	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	REGISTRADOR SÍSMICO	1880-1920
95/31/387		CALOR	EBULLÓMETRO	1890-1920
95/31/388		CALOR	EBULLÓMETRO	1890-1920
95/31/389		CALOR	EBULLÓMETRO	1890-1920
95/31/390		CALOR	EBULLÓMETRO	1910-1930
95/31/391		CALOR	EBULLÓMETRO	1900-1920
95/31/392		CALOR	EBULLÓMETRO	1900-1920
95/31/393		CALOR	SERPENTINES DE ALAMBIQUE	1900-1920
95/31/394		CALOR	SERPENTÍN DE ALAMBIQUE	1900-1920
95/31/395		CALOR	SERPENTÍN DE ALAMBIQUE	1900-1920
95/31/396		CALOR	SERPENTÍN DE ALAMBIQUE	1900-1920
95/31/397	359	ÓPTICA	CAJA CON SULFUROS FOSFORESCENTES	1896-1901
95/31/398		CIENCIAS QUÍMICAS	TINTE DE PALO DE GUAYACO	1900-1920
95/31/399	310	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	CLISÍMETRO DE PINULAS	1890-1920
95/31/400	262	MECÁNICA DE FLUIDOS	CAJA CON DOCE FIGURAS DE PLATEAU	1870-1890
95/31/401	393	ÓPTICA	POLARISCOPIO DE NÖRRENBERG	1860-1880
95/31/402	338	ÓPTICA	ESPEJOS PARA LA RECOMPOSICIÓN DE LA LUZ BLANCA	1870-1890
95/31/403	340	ÓPTICA	DISCO CROMÁTICO	1880-1900
95/31/404	331	ÓPTICA	PRISMA DE ÁNGULO VARIABLE	1870-1890
95/31/405	329	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFRACCIÓN DE LA LUZ	1930-1960
95/31/406	323	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR LAS LEYES DE REFLEXIÓN DE LA LUZ	1930-1960
95/31/407	327	ÓPTICA	CONO PARA ANAMORFOSIS	1860-1880
95/31/408	366	ÓPTICA	FOTÓMETRO DE RÜDORFF	1930-1950
95/31/409	331	ÓPTICA	POLIPRISMA DE LÍQUIDOS	1860-1880
95/31/410	410	ÓPTICA	ESTEREOSCOPIO CLASIFICADOR	1890-1920
95/31/411	415	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS	1900-1920
95/31/412	415	ÓPTICA	RUEDA PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS	1940-1970
95/31/413		ÓPTICA	RUEDA PARA MOSTRAR EFECTOS ESTROBOSCÓPICOS	1940-1970
95/31/414		ÓPTICA	ESTUCHE CON LENTES	1930-1960
95/31/415	412	ÓPTICA	LINTERNA MÁGICA	1895-1915
95/31/416		ÓPTICA	TUBO DE POLARÍMETRO	1930-1950
95/31/417		ÓPTICA	TUBO DE POLARÍMETRO	1930-1950
95/31/418		ÓPTICA	ONCE SOPORTES PARA ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1890-1910
95/31/419		ÓPTICA	TRES SOPORTES PARA ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1890-1920
95/31/420		ÓPTICA	SIETE SOPORTES PARA ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1930-1950
95/31/421		ÓPTICA	BANCO ÓPTICO CON TRES SOPORTES	1920-1950
95/31/422		ÓPTICA	SOPORTE PARA BANCO ÓPTICO	1940-1960
95/31/423		ÓPTICA	RENDIJA PARA BANCO ÓPTICO	1900-1930
95/31/424		ÓPTICA	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940
95/31/425	355	ÓPTICA	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/426		ÓPTICA	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940
95/31/427		ÓPTICA	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940
95/31/428	355	ÓPTICA	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1890-1920
95/31/429	355	ÓPTICA	TRES TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1920-1940
95/31/430		ÓPTICA	DOS TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1900-1920
95/31/431	355	ÓPTICA	DOS TUBOS PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1900-1920
95/31/432	355	ÓPTICA	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DEL HIDRÓGENO	1900-1920
95/31/433	355	ÓPTICA	TUBO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL	1900-1920
95/31/434	357	ÓPTICA	TUBOS DE VIDRIO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE SÓLIDOS	1900-1920
95/31/435	322	ÓPTICA	ESPEJOS DE ÁNGULO VARIABLE	1850-1870
95/31/436		ÓPTICA	CHASIS DOBLE PARA CÁMARA FOTOGRÁFICA	1870-1900
95/31/437		ÓPTICA	CHASIS DOBLE PARA CÁMARA FOTOGRÁFICA	1870-1900
95/31/438		ÓPTICA	DOS CHASIS DOBLES PARA CÁMARA FOTOGRÁFICA	1890-1920
95/31/439		ÓPTICA	CHASIS PARA CÁMARA FOTOGRÁFICA	1880-1900
95/31/440		ÓPTICA	CHASIS-POSITIVO O CHASIS PRENSA	1890-1920
95/31/441		ÓPTICA	ESPECTROSCOPIO	1890-1920
95/31/442		ÓPTICA	CAJA CON PLACAS DE ESPECTROSCOPÍA	1952
95/31/443		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE PARA POLEAS Y POLIPASTOS	1880-1900
95/31/444		ÓPTICA	SOPORTE DE GAUSS	1890-1910
95/31/445		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/446		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/447		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/448		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/449		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/450		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/451		CIENCIAS QUÍMICAS	PINZA PARA SOPORTE TIPO BUNSEN	1900-1920
95/31/452		CIENCIAS QUÍMICAS	DOBLE ABRAZADERA	1900-1920
95/31/453		CIENCIAS QUÍMICAS	DOBLE ABRAZADERA	1900-1920
95/31/454		CIENCIAS QUÍMICAS	DOBLE GRIFO REGULADOR DE GAS	1880-1910
95/31/455		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/456		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE	1930-1950
95/31/457		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE	1930-1950
95/31/458	35	ACÚSTICA	DISCO DE CROVA PARA PROYECCIÓN DE ONDAS	1950-1965
95/31/459	83	ELECTRICIDAD	CONDENSADOR	1890-1910
95/31/460		ELECTRICIDAD	VARILLA CONDUCTORA	1870-1890
95/31/461		ELECTRICIDAD	VARILLA CONDUCTORA	1870-1890
95/31/462		ELECTRICIDAD	VARILLA CONDUCTORA	1870-1890
95/31/463		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE	1910-1930
95/31/464		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE UNIVERSAL DE BUNSEN	1910-1930
95/31/465		MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE	1930-1950
95/31/466	260	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA CAPILARIDAD	1890-1910
95/31/467		MECÁNICA DE FLUIDOS	SIFÓN	1890-1920
95/31/468	246	MECÁNICA DE FLUIDOS	MANÓMETRO DE CUBETA PROFUNDA	1875-1900
95/31/469		ELECTRICIDAD	VARILLA DE EBONITA CON CENTRO DE LATÓN	1890-1910
95/31/470	381	ÓPTICA	APARATO PARA MOSTRAR LOS ANILLOS DE NEWTON	1950-1965
95/31/471	59	CALOR	TERMÓMETRO PARA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN EL VACÍO	1909
95/31/472	59	CALOR	TERMÓMETRO PARA PROPAGACIÓN DEL CALOR EN EL VACÍO	1909
95/31/473	139	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PORTÁTIL DE RAYOS X SÁNCHEZ	1910-1920
95/31/474	49	CALOR	APARATO DE DULONG Y PETIT	1850-1870
95/31/475		ELECTRICIDAD	SOPORTE DE LATÓN CON PUNTA DE ACERO	1910-1930
95/31/476		MECÁNICA DE SÓLIDOS	TORNILLO SIN FIN	1950-1965
95/31/477	294	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA REPRESENTACIÓN DE ONDAS	1950-1965
95/31/478	294	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA REPRESENTACIÓN DE ONDAS	1930-1960
95/31/479		MECÁNICA DE SÓLIDOS	PLATO PARA BALANZA	1900-1920
95/31/480		MECÁNICA DE SÓLIDOS	TAPA DE METRÓNOMO DE MAELZEL	1860-1890
95/31/481	274	MECÁNICA DE SÓLIDOS	TRIBÓMETRO DE COULOMB	1860-1880
95/31/482		MECÁNICA DE SÓLIDOS	RUEDA CON RADIOS DE CUERDA	1930-1950
95/31/483		MECÁNICA DE SÓLIDOS	RUEDA CON RADIOS DE CUERDA	1930-1950
95/31/484		MECÁNICA DE SÓLIDOS	RUEDA CON RADIOS DE CUERDA	1930-1950
95/31/485		MECÁNICA DE SÓLIDOS	MODELO DE YO-YO	1930-1950
95/31/486	281	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO DE FOUCAULT	1860-1880
95/31/487		MECÁNICA DE SÓLIDOS	MARCO DE MADERA PARA 6 ELEMENTOS	1880-1900
95/31/488		MECÁNICA DE SÓLIDOS	MARCO DE MADERA PARA 2 ELEMENTOS	1880-1900
95/31/489		MECÁNICA DE SÓLIDOS	CILINDRO PARA ESTUDIAR LOS TIEMPOS DE OSCILACIÓN	1910-1930
95/31/490	279	MECÁNICA DE SÓLIDOS	BASE PARA ACCESORIOS DE FUERZA CENTRÍFUGA	1880-1900
95/31/491	265	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA EL ESTUDIO DEL CHOQUE ELÁSTICO	1870-1890
95/31/492	284	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO DEL PÉNDULO DE MACH	1890-1910
95/31/493		MECÁNICA DE SÓLIDOS	EXPERIENCIA DE TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO	1870-1890
95/31/494	288	MECÁNICA DE SÓLIDOS	INSTRUMENTO PARA ESTUDIAR ELASTICIDAD POR TORSIÓN	1870-1900
95/31/495		MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO COMPUESTO	1930-1960
95/31/496		MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO COMPUESTO	1930-1960
95/31/497		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE CON 7 GANCHOS	1870-1900
95/31/498	267	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PALANCA DE PRIMER GÉNERO	1860-1890

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/499	269	MECÁNICA DE SÓLIDOS	APARATO PARA COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS OPUESTAS	1860-1890
95/31/500		ELECTRICIDAD	LÁMPARA DE INCANDESCENCIA	1933
95/31/501		ELECTRICIDAD	VÁLVULA REGULADORA CASTILLA R.L-100	1930-1945
95/31/502		ELECTRICIDAD	VÁLVULA REGULADORA PHILIPS	1930-1950
95/31/503		ELECTRICIDAD	TUBO RADIOTRON UX 201-A	1925-1935
95/31/504	208	FÍSICA ATÓMICA	TUBO PHILIPS PARA CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960
95/31/505	208	FÍSICA ATÓMICA	TUBO PHILIPS PARA CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960
95/31/506		ELECTRICIDAD	VÁLVULA PHILIPS	1940-1960
95/31/507		ELECTRICIDAD	OSCILADOR DE CUARZO	1950-1970
95/31/508		ELECTRICIDAD	REÓSTATO LÍQUIDO	1900-1920
95/31/509		ELECTRICIDAD	REÓSTATO LÍQUIDO	1900-1920
95/31/510		ELECTRICIDAD	REÓSTATO LÍQUIDO	1900-1920
95/31/511		ELECTRICIDAD	REÓSTATO LÍQUIDO	1900-1920
95/31/512		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1910-1930
95/31/513		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO HORIZONTAL	1950-1970
95/31/514	414	ÓPTICA	ESPEJO GIRATORIO	1930-1960
95/31/515		ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE CAMPO GIRATORIO	1940-1960
95/31/516		ELECTROMAGNETISMO	APARATO DE INDUCCIÓN	1950-1965
95/31/517	434	PESAS Y MEDIDAS	REGULADOR DE CONTACTOS PARA PÉNDULO ASTRONÓMICO	1845-1865
95/31/518		ELECTRICIDAD	COPA DE MORTERO ELÉCTRICO	1880-1900
95/31/519		ELECTRICIDAD	COPA DE MORTERO ELÉCTRICO	1890-1910
95/31/520		ELECTRICIDAD	COPA DE MORTERO ELÉCTRICO	1890-1910
95/31/521		ELECTRICIDAD	COPA DE MORTERO ELÉCTRICO	1890-1910
95/31/522		ELECTRICIDAD	BORNE CON PIE AISLANTE	1950-1965
95/31/523		ELECTRICIDAD	BORNE CON PIE AISLANTE	1950-1965
95/31/524	172	ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1890-1910
95/31/525		ÓPTICA	BOMBILLA DE BANCO ÓPTICO	1940-1960
95/31/526	204	FÍSICA ATÓMICA	CÁMARA DE NIEBLA	1930-1960
95/31/527	159	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA ILUSTRAR LA ATRACCIÓN ENTRE CORRIENTES PARALELAS DE IGUAL SENTIDO	1880-1900
95/31/528	115	ELECTRICIDAD	VOLTÁMETRO	1870-1890
95/31/529	30	ACÚSTICA	TUBO CON FILAMENTO INCANDESCENTE	1930-1950
95/31/530		ELECTROMAGNETISMO	APARATO ELÉCTRICO	1890-1910
95/31/531	309	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	BALANZA DE TORSIÓN	1920-1930
95/31/532		ELECTROMAGNETISMO	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1930-1960
95/31/533	100	ELECTRICIDAD	TUBO PARA FUSIÓN DE HILOS METÁLICOS	1860-1890
95/31/534		ELECTROMAGNETISMO	TRANSFORMADOR DE LABORATORIO	1940-1960
95/31/535		ELECTRICIDAD	BRAZO DE ALAMBRE DE LATÓN	1890-1910
95/31/536		ELECTRICIDAD	MICROELECTRÓMETRO	1930-1960
95/31/537		ELECTRICIDAD	APARATO PARA PRODUCIR DESCARGAS	1890-1910
95/31/538		ELECTRICIDAD	ELECTROSCOPIO UNIVERSAL DE WULF	1950-1970
95/31/539	149	ELECTRICIDAD	APARATO PARA LA DEMOSTRACIÓN DEL EFECTO JOULE	1950-1960
95/31/540		ELECTROMAGNETISMO	SOLENOIDE	1900-1920
95/31/541	147	ELECTRICIDAD	ELECTROIMÁN TERMOELÉCTRICO	1950-1965
95/31/542		ELECTRICIDAD	PUENTE DE WHEATSTONE	1900-1920
95/31/543	208	FÍSICA ATÓMICA	TUBO DE CONTADOR GEIGER-MÜLLER	1940-1960
95/31/544	133	ELECTRICIDAD	TUBO DE RODEO	1910-1930
95/31/545	137	ELECTRICIDAD	TUBO DE RAYOS X	1910-1930
95/31/546	229	MECÁNICA DE FLUIDOS	FUENTE DE VACÍO	1850-1880
95/31/547		MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO DEL INSTITUTO TORRES QUEVEDO	1940-1970
95/31/548		MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO DEL INSTITUTO TORRES QUEVEDO	1940-1970
95/31/549		MECÁNICA DE FLUIDOS	ELEMENTO DE TURBINA	1900-1920
95/31/550		MECÁNICA DE FLUIDOS	CAMPANA PARA MÁQUINA PNEUMÁTICA	1880-1900
95/31/551		MECÁNICA DE FLUIDOS	CAMPANA PARA MÁQUINA PNEUMÁTICA	1840-1860
95/31/552	62	CALOR	TERMOSCOPIO DOBLE DE LOOSER	1920-1940
95/31/553		ELECTRICIDAD	BORNE	1900-1920
95/31/554	136	ELECTRICIDAD	BANCO SOPORTE PARA 5 TUBOS DE RAYOS X	1900-1920
95/31/555	248	MECÁNICA DE FLUIDOS	MANÓMETRO DE REGNAULT	1880-1900
95/31/556	237	MECÁNICA DE FLUIDOS	CILINDRO DE VIDRIO CON SOPORTE Y MEMBRANA	1870-1890
95/31/557	249	MECÁNICA DE FLUIDOS	APARATO PARA VERIFICAR LA LEY DE MARIOTTE	1890-1910
95/31/558		MECÁNICA DE FLUIDOS	TUBOS BAROMÉTRICOS	1950-1965
95/31/559		ÓPTICA	SOPORTE	1850-1880
95/31/560		ÓPTICA	SOPORTE	1860-1890
95/31/561	337	ÓPTICA	PRISMA ACROMÁTICO	1840-1860
95/31/562		ÓPTICA	SOPORTE PARA PRISMA	1860-1880
95/31/563		ÓPTICA	SOPORTE	1850-1880
95/31/564		ÓPTICA	OCULAR DE MICROSCOPIO	1875-1895
95/31/565	432	PESAS Y MEDIDAS	PÉNDULO ELÉCTRICO	1910-1930
95/31/566		ÓPTICA	SOPORTE DE PROYECTOR	1883-1886
95/31/567		ÓPTICA	DOBLE VIDRIO DE ÁNGULO VARIABLE	1890-1920
95/31/568		ÓPTICA	LENTE PLANOCÓNCAVA Y DOS MONTURAS	1860-1885
95/31/569		ÓPTICA	OBJETIVO DE CÁMARA	1880-1900
95/31/570		MECÁNICA DE FLUIDOS	CARRITO CON HÉLICE PROPULSORA	1930-1950
95/31/571		ÓPTICA	SOPORTE CON SEIS ELEMENTOS PARA BANCO ÓPTICO	1930-1950

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/572		ÓPTICA	SOPORTE PARA ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1940-1960
95/31/573		ÓPTICA	SOPORTE PARA ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1940-1960
95/31/574		ELECTRICIDAD	REJILLA DE POLARIZACIÓN	1930-1950
95/31/575		ÓPTICA	PIE DE MADERA	1880-1910
95/31/576		ÓPTICA	PIE DE MADERA	1880-1910
95/31/577		CALOR	CÁPSULA DE DOBLE PARED PARA TERMOSCOPIO DE LOOSER	1950-1970
95/31/578		ÓPTICA	TUBO CON DOBLE VIDRIO BIRREFRINGENTE	1880-1900
95/31/579		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO REFLECTANTE DE BOBINA MÓVIL	1930-1960
95/31/580		ELECTRICIDAD	BASE RECTANGULAR DE MADERA	1930-1960
95/31/581		ELECTRICIDAD	ZÓCALO DE MADERA	1920-1940
95/31/582		ELECTRICIDAD	ZÓCALO DE MADERA	1930-1950
95/31/583		ELECTROMAGNETISMO	GALVANÓMETRO DE PUNTO VIBRANTE	1940-1970
95/31/584		CIENCIAS QUÍMICAS	SOPORTE	1910-1930
95/31/585		ÓPTICA	SOPORTE	1850-1870
95/31/586	121	ELECTRICIDAD	SOPORTE CON BORNAS PARA MÚLTIPLES CONEXIONES	1880-1900
95/31/587	345	ÓPTICA	CONDENSADOR CARDIODE	1925-1935
95/31/588		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE DE MODELO DE BALANZA	1890-1920
95/31/589		ÓPTICA	CAJA DE EBONITA CON ORIFICIOS EN DOS PAREDES	1900-1930
95/31/590		ÓPTICA	CAJA CON ELEMENTOS DE BANCO ÓPTICO	1910-1940
95/31/591	192	ELECTROMAGNETISMO	DOS LENTES DE PARAFINA PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1930-1950
95/31/592		MECÁNICA DE SÓLIDOS	DOS POLEAS	1930-1950
95/31/593		ÓPTICA	SOPORTE	1910-1930
95/31/594		ÓPTICA	SOPORTE	1890-1920
95/31/595		ÓPTICA	SOPORTE	1890-1920
95/31/596		MECÁNICA DE SÓLIDOS	PLATAFORMA CON TORNILLOS NIVELADORES	1880-1910
95/31/597		ELECTRICIDAD	CILINDRO DE VIDRIO	1910-1930
95/31/598		CIENCIAS QUÍMICAS	FRASCO LAVADOR	1940-1960
95/31/599	193	ELECTROMAGNETISMO	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940
95/31/600	193	ELECTROMAGNETISMO	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940
95/31/601	193	ELECTROMAGNETISMO	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940
95/31/602	193	ELECTROMAGNETISMO	REJILLA DE POLARIZACIÓN PARA EXPERIENCIAS CON ONDAS CORTAS	1920-1940
95/31/603	54	CALOR	CALORÍMETRO DE MERCURIO DE FAVRE Y SILBERMANN	1860-1880
95/31/604	178	ELECTROMAGNETISMO	INTERRUPTOR DE MERCURIO	1890-1910
95/31/605		ACÚSTICA	PÉNDULO PARA VISUALIZAR VIBRACIONES	1850-1880
95/31/606		ÓPTICA	VIDRIO COLOREADO MONTADO	1850-1880
95/31/607	109	ELECTRICIDAD	PINZAS PARA EXPERIENCIA DE GALVANI	1860-1880
95/31/608		CIENCIAS QUÍMICAS	GATO CON TORNILLO FIJADOR	1930-1950
95/31/609		MECÁNICA DE SÓLIDOS	GRILLETE CON TORNILLO	1920-1940
95/31/610	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/611	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/612	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/613	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/614	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/615	303	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO	1940-1960
95/31/616	402	ÓPTICA	BICUARZO DE DOBLE ROTACIÓN	1875-1895
95/31/617		CALOR	INSTRUMENTO PARA SOLIDIFICAR DIÓXIDO DE CARBONO	1940-1960
95/31/618	305	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE CONDENSACIÓN DE ALLUARD	1880-1900
95/31/619	239	MECÁNICA DE FLUIDOS	BOMBA DE COMPRESIÓN	1870-1890
95/31/620		PESAS Y MEDIDAS	CAJA CON JUEGO DE PESAS	1950-1970
95/31/621		PESAS Y MEDIDAS	JUEGO DE PESAS	1920-1950
95/31/622		PESAS Y MEDIDAS	DINAMÓMETRO DE TRACCIÓN	1950-1970
95/31/623		ÓPTICA	ILUMINÓMETRO O LUXÓMETRO	1940-1955
95/31/624	418	PESAS Y MEDIDAS	PESA PATRÓN EN ESTUCHE	1910-1920
95/31/625	418	PESAS Y MEDIDAS	TRES PESAS PATRÓN EN ESTUCHE	1912
95/31/626	429	PESAS Y MEDIDAS	ESCALA GRADUADA DE PRECISIÓN	1920-1940
95/31/627		ÓPTICA	MONTURA PARA PROYECCIONES	1875-1900
95/31/628	231	MECÁNICA DE FLUIDOS	FUENTE DE COMPRESIÓN	1900-1930
95/31/629	158	ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO	1900-1920
95/31/630		ELECTROMAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO MAGNÉTICO	1900-1920
95/31/631		ELECTRICIDAD	REÓSTATO LÍQUIDO	1930-1960
95/31/632	278	MECÁNICA DE SÓLIDOS	ACCESORIO DE MÁQUINA CENTRÍFUGA	1850-1880
95/31/633	104	ELECTRICIDAD	EUDIÓMETRO DE DESCARGA	1860-1890
95/31/634	130	ELECTRICIDAD	TUBO DE VACÍO	1890-1910
95/31/635	330	ÓPTICA	APARATO PARA EL ESTUDIO DE LA REFRACCIÓN DE LA LUZ	1850-1880
95/31/636		ELECTROMAGNETISMO	REGISTRADOR PARA GALVANÓMETRO	1930-1970
95/31/637		ÓPTICA	PRISMA DE NICOL	1880-1910
95/31/638	357	ÓPTICA	TUBOS DE VIDRIO PARA ANÁLISIS ESPECTRAL DE LÍQUIDOS	1900-1920
95/31/639	292	MECÁNICA DE SÓLIDOS	CUBO DESMONTABLE	1870-1900
95/31/640	430	PESAS Y MEDIDAS	CATETÓMETRO	1890-1920
95/31/641		ELECTRICIDAD	SOPORTE DE MADERA CON PUNTA DE ACERO	1890-1910
95/31/642		ELECTRICIDAD	TUBO DE RAYOS CATÓDICOS	1950-1980
95/31/643		CIENCIAS QUÍMICAS	MECHERO DE EBULLOSCOPIO	1910-1930
95/31/644		CIENCIAS QUÍMICAS	AMPOLLA DE VIDRIO	1940-1960

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/645		ÓPTICA	PLATAFORMA DE ESPECTROSCOPIO	1885-1915
95/31/646		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE VIDRIO	1940-1960
95/31/647		ÓPTICA	CUBETA PARA LA REFRACCIÓN DE LA LUZ	1900-1930
95/31/648	385	ÓPTICA	ACCESORIOS DE BANCO ÓPTICO	1880-1900
95/31/649		ÓPTICA	DOS TUBOS CON PRISMA	1935-1945
95/31/650		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE VIDRIO	1940-1960
95/31/651		MECÁNICA DE FLUIDOS	TUBO DE VIDRIO CURVAD0	1890-1910
95/31/652		ELECTRICIDAD	TUBO DE VIDRIO	1890-1910
95/31/653	176	ELECTROMAGNETISMO	MODELO DE MOTOR ELÉCTRICO	1870-1890
95/31/654		ELECTRICIDAD	TUBO DE VIDRIO PARA EXPERIENCIA ELECTROSTÁTICA	1890-1910
95/31/655		ELECTRICIDAD	APARATO PARA MOSTRAR EL EFECTO TERMOELÉCTRICO	1890-1910
95/31/656		ELECTROMAGNETISMO	ACCESORIOS DE INTERRUPTOR DE MERCURIO	1920-1950
95/31/657	16	ACÚSTICA	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/658	16	ACÚSTICA	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/659		ACÚSTICA	CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/660	16	ACÚSTICA	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/661	16	ACÚSTICA	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/662	16	ACÚSTICA	DIAPASÓN CON CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/663		ACÚSTICA	DIAPASÓN	1860-1880
95/31/664		ACÚSTICA	CAJA DE RESONANCIA	1860-1880
95/31/665	19	ACÚSTICA	CAJA CON CINCO DIAPASONES	1875-1890
95/31/666	25	ACÚSTICA	DIAPASÓN PARA EXPERIENCIA DE LISSAJOUS	1880-1910
95/31/667		ACÚSTICA	DIAPASÓN	1900-1930
95/31/668	23	ACÚSTICA	DIAPASÓN CRONOGRÁFICO	1940-1960
95/31/669	23	ACÚSTICA	DIAPASÓN CRONOGRÁFICO	1910-1930
95/31/670	17	ACÚSTICA	CAJA CON TRECE DIAPASONES	1850-1870
95/31/671	30	ACÚSTICA	SILBATO DE GALTON	1930-1950
95/31/672	112	ELECTRICIDAD	PILA DE WOLLASTON	1860-1890
95/31/673	220	MAGNETISMO	CÍRCULO DE INCLINACIÓN	1870-1910
95/31/674	162	ELECTROMAGNETISMO	BRÚJULA DE TANGENTES	1860-1880
95/31/675	163	ELECTROMAGNETISMO	BRÚJULA DE TANGENTES	1900-1920
95/31/676	217	MAGNETISMO	APARATO PARA MOSTRAR EL MAGNETISMO TERRESTRE	1880-1910
95/31/677		MAGNETISMO	CAJA DE IMANES RECTOS	1900-1920
95/31/678		MAGNETISMO	CONJUNTO DE OCHO IMANES	1940-1960
95/31/679		ELECTROMAGNETISMO	MULTIPLICADOR DE SCHWEIGGER	1880-1910
95/31/680	154	ELECTROMAGNETISMO	MESA DE AMPÈRE	1880-1900
95/31/681		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE BOLSILLO	1940-1970
95/31/682		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE BOLSILLO	1900-1910
95/31/683		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO DE BOLSILLO	1900-1920
95/31/684		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO DE BOBINA MÓVIL	1900-1920
95/31/685		ELECTROMAGNETISMO	VOLTÍMETRO DE DIELÉCTRICO	1910-1930
95/31/686		ELECTROMAGNETISMO	FRECUENCÍMETRO DE LENGÜETAS	1950-1965
95/31/687		ELECTRICIDAD	MEDIDOR NORMA MODELO 185 RW 1	1940-1960
95/31/688	188	ELECTROMAGNETISMO	CARRETE DE RÜHMKORFF	1890-1910
95/31/689	82	ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE AEPINUS	1870-1890
95/31/690		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 0,2 MICROFARADIOS	1920-1940
95/31/691		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 0,1 MICROFARADIOS	1930-1950
95/31/692		ELECTRICIDAD	CONDENSADOR DE 0,1 MICROFARADIOS	1900-1920
95/31/693		ELECTRICIDAD	CAPACÍMETRO	1930-1945
95/31/694		ELECTRICIDAD	ELECTRÓMETRO ABSOLUTO DE BRAUN	1910-1930
95/31/695		ELECTRICIDAD	REÓSTATO	1930-1950
95/31/696		ELECTRICIDAD	REÓSTATO	1930-1950
95/31/697		ELECTRICIDAD	PUENTE DE HILO	1880-1900
95/31/698		ELECTRICIDAD	ELEMENTO TERMOELÉCTRICO DE SEEBECK	1950-1970
95/31/699		ELECTRICIDAD	REÓSTATO DE LÁMPARAS	1900-1920
95/31/700		ELECTRICIDAD	CÉLULA KERR	1900-1920
95/31/701	121	ELECTRICIDAD	SOPORTE CON BORNAS PARA MÚLTIPLES CONEXIONES	1890-1910
95/31/702		ELECTRICIDAD	BARRA DE EBONITA	1900-1910
95/31/703	105	ELECTRICIDAD	BARRA DE VIDRIO	1900-1910
95/31/704		ELECTROMAGNETISMO	ESCALA PARA GALVANÓMETRO	1960-1970
95/31/705	136	ELECTRICIDAD	TUBO DE RAYOS X	1920-1940
95/31/706	136	ELECTRICIDAD	TUBO DE RAYOS X	1900-1920
95/31/707	135	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1900-1920
95/31/708	135	ELECTRICIDAD	TUBO DE CROOKES	1925-1935
95/31/709		ELECTRICIDAD	POTENCIÓMETRO	1940-1960
95/31/710		ELECTRICIDAD	CAJA DE RESISTENCIAS	1940-1960
95/31/711	63	CALOR	PIRÓMETRO DE WEDGOOD	1835-1855
95/31/712	44	CALOR	ESTUCHE CON DOS TERMÓMETROS	1910-1930
95/31/713		CALOR	TERMÓMETRO EN MONTURA METÁLICA	1920-1940
95/31/714	47	CALOR	TERMÓMETRO DIFERENCIAL NORMAL DE BECKMANN	1940-1960
95/31/715		CALOR	TERMÓMETRO	1940-1960
95/31/716	45	CALOR	TERMÓMETRO DE PRECISIÓN	1900-1920
95/31/717		MECÁNICA DE SÓLIDOS	SOPORTE CON PLATAFORMA	1880-1910

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/718	406	ÓPTICA	ILUSTRACIÓN DE LOS EJES DE UN CRISTAL	1880-1900
95/31/719	16	ACÚSTICA	MARTILLO PARA DIAPASÓN	1870-1890
95/31/720	11	ACÚSTICA	CAJA PARA ARENA DE PLACAS VIBRANTES	1870-1890
95/31/721	11	ACÚSTICA	CAJA PARA COLOFONÍA	1870-1890
95/31/722		ÓPTICA	TUBO DE SOPORTE	1860-1890
95/31/723		ÓPTICA	SOPORTE	1860-1880
95/31/724		ÓPTICA	SOPORTE	1900-1925
95/31/725		ÓPTICA	SOPORTE	1940-1960
95/31/726		ÓPTICA	PORTALUZ DE BANCO ÓPTICO	1910-1920
95/31/727		ÓPTICA	SOPORTE	1920-1940
95/31/728		ÓPTICA	MUESTRA PARA ANÁLISIS ESPECTROSCÓPICO	1915-1930
95/31/729		ÓPTICA	SOPORTE PARA ELEMENTO DE BANCO ÓPTICO	1930-1950
95/31/730	403	ÓPTICA	CUATRO VIDRIOS TEMPLADOS	1860-1880
95/31/731		ACÚSTICA	DIAPASÓN	1860-1880
95/31/732	282	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER	1950-1965
95/31/733	431	PESAS Y MEDIDAS	CATETÓMETRO	1890-1910
95/31/734	306	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	MEDIDOR DE POLVO ATMOSFÉRICO	1900-1920
95/31/735	222	MAGNETISMO	MAGNETÓMETRO BIFILAR	1900-1920
95/31/736	347	ÓPTICA	MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN JEOL	1972
95/31/737	283	MECÁNICA DE SÓLIDOS	PÉNDULO REVERSIBLE DE KATER	1870-1890
95/31/738	183	ELECTROMAGNETISMO	MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA DE GRAMME	1880-1885
95/31/739	187	ELECTROMAGNETISMO	MAQUETA PARA MOSTRAR LA ACCIÓN DEL ANILLO DE GRAMME EN UNA MÁQUINA DINAMOELÉCTRICA	1890-1910
95/31/740	14	ACÚSTICA	DIAPASÓN PARA PIANO	1827-1852
95/31/741	173	ELECTROMAGNETISMO	INSTRUMENTO DE MEDIDA UNIVERSAL PARA CORRIENTE CONTINUA	1900-1920
95/31/742	105	ELECTRICIDAD	PÉNDULO ELÉCTRICO	1870-1890
95/31/743		MAGNETISMO	IMÁN DE HERRADURA	1860-1900
95/31/744	153	ELECTROMAGNETISMO	MULTIPLICADOR DE SCHWEIGGER	1880-1900
95/31/745		ELECTRICIDAD	ELECTROSCOPIO DE LÁMINAS ORO	1880-1900
95/31/746	104	ELECTRICIDAD	EUDIÓMETRO DE DESCARGA	1860-1890
95/31/747		ELECTRICIDAD	VARILLA CONDUCTORA	1870-1890
95/31/748		ELECTROMAGNETISMO	CARRETE DE RÜHMKORFF	1940-1970
95/31/749		ELECTROMAGNETISMO	CARRETE DE RÜHMKORFF	1950-1980
95/31/750		ELECTRICIDAD	PLACAS DE VIDRIO PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DEL CAMPO ELÉCTRICO	1960-1980
95/31/751		ELECTRICIDAD	VIRUTAS DE MATERIAL ELECTRIZABLE PARA MOSTRAR LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO	1960-1980
95/31/752		ÓPTICA	LÁMPARA DE ARCO PARA BANCO ÓPTICO	1925-1935
95/31/753		ÓPTICA	LÁMPARA DE ARCO PARA BANCO ÓPTICO	1925-1935
95/31/754	387	ÓPTICA	LÁMPARAS DE ARCO Y DE INCANDESCENCIA PARA BANCO ÓPTICO	1925-1935
95/31/755	345	ÓPTICA	ARCO VOLTAICO PARA ULTRAMICROSCOPÍA	1925-1935
95/31/756		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/757		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/758		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/759		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/760		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/761		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/762		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/763		ÓPTICA	CAJA DE ELECTRODOS PARA LÁMPARA DE ARCO	1930-1950
95/31/764	371	ÓPTICA	FOTÓMETRO DE GUILD	1930-1950
95/31/765	368	ÓPTICA	FOTÓMETRO DE CONROY	1930-1950
95/31/766	369	ÓPTICA	FOTÓMETRO DE LUMMER-BRODHUN	1930-1950
95/31/767	362	ÓPTICA	RENDIJA DE ESPECTRÓGRAFO	1890-1920
95/31/768	324	ÓPTICA	ESPEJO CONVEXO	1860-1880
95/31/769	327	ÓPTICA	CONO PARA ANAMORFOSIS	1860-1880
95/31/770		ÓPTICA	REFRACTÓMETRO PARA CRISTALES	1920-1940
95/31/771		ÓPTICA	DOS REFRACTÓMETROS	1920-1940
95/31/772		ÓPTICA	CAJA CON PLACAS DE RAYOS X	1910-1915
95/31/773		ÓPTICA	FILTROS DE COLORES	1905-1930
95/31/774		ÓPTICA	PANTALLA PARA PLACAS AUTOCROMAS	1900-1920
95/31/775		ÓPTICA	OBJETIVO DE CÁMARA FOTOGRÁFICA	1900-1920
95/31/776	335	ÓPTICA	PRISMA	1870-1900
95/31/777	335	ÓPTICA	PRISMA	1870-1900
95/31/778		ÓPTICA	EMPALMADORA DE PELÍCULAS	1970-1990
95/31/779		ÓPTICA	CUBETA DE REVELADO	1900-1920
95/31/780		MECÁNICA DE SÓLIDOS	BLOQUE DE TRIBÓMETRO	1930-1960
95/31/781	39	ACÚSTICA	APARATO DE KOENIG PARA INTERFERENCIAS DE SONIDO	1875-1900
95/31/782	51	CALOR	DILATÓMETRO O TERMÓMETRO DE PESO	1860-1880
95/31/783	48	CALOR	PIRÓMETRO DE CUADRANTE	1855-1865
95/31/784	304	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	HIGRÓMETRO DE REGNAULT	1850-1870
95/31/785	236	MECÁNICA DE FLUIDOS	BOMBA ASPIRANTE IMPELENTE	1860-1880
95/31/786	240	MECÁNICA DE FLUIDOS	BOMBA DE COMPRESIÓN DE CAILLETET	1850-1870
95/31/787		CALOR	MECHERO BUNSEN	1900-1920
95/31/788		CALOR	SERPENTÍN DE PLOMO	1910-1930
95/31/789	241	MECÁNICA DE FLUIDOS	VACUOSCOPIO	1910-1940

Nº INV.	Fig.	SECCION	NOMBRE	DATACIÓN
95/31/792		ÓPTICA	SOPORTE DE LÁMPARA ESPECTRAL DE MERCURIO	1930-1960
95/31/793		CIENCIAS QUÍMICAS	ONCE TUBOS EN «U»	1950-1980
95/31/794		CIENCIAS QUÍMICAS	OCHO TUBOS EN «T»	1960-1980
95/31/795		CIENCIAS QUÍMICAS	CUATRO BALONES DE DESTILACIÓN	1960-1980
95/31/796		CIENCIAS QUÍMICAS	BALÓN DE DESTILACIÓN	1960-1980
95/31/797		CIENCIAS QUÍMICAS	BALÓN DE DESTILACIÓN	1950-1980
95/31/798		CIENCIAS QUÍMICAS	SEIS MATRACES ESFÉRICOS	1950-1980
95/31/799		CIENCIAS QUÍMICAS	MATRAZ ESFÉRICO	1950-1980
95/31/800		CIENCIAS QUÍMICAS	CINCO MATRACES ESFÉRICOS	1950-1980
95/31/801		CIENCIAS QUÍMICAS	CINCO MATRACES ERLENMEYER	1950-1980
95/31/802		CIENCIAS QUÍMICAS	MATRAZ GRADUADO ERLENMEYER	1950-1980
95/31/803		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS FRASCOS LAVADORES	1950-1980
95/31/804		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS MATRACES VOLUMÉTRICOS	1950-1980
95/31/805		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE FILTRADO	1950-1980
95/31/806		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA GRADUADA	1930-1960
95/31/807		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO EN FORMA DE CRUZ	1950-1980
95/31/808		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE TRES VÍAS EN «Y»	1950-1980
95/31/809		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA	1960-1980
95/31/810		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA	1960-1980
95/31/811		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA CILÍNDRICA DE DECANTACIÓN	1950-1980
95/31/812		CIENCIAS QUÍMICAS	OCHO TUBOS DE UNIÓN	1950-1970
95/31/813		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETAS DE DECANTACIÓN	1950-1970
95/31/814		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA DE DECANTACIÓN	1930-1960
95/31/815		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE UNIÓN	1950-1970
95/31/816		CIENCIAS QUÍMICAS	TUBO DE SEGURIDAD	1930-1960
95/31/817		CIENCIAS QUÍMICAS	TRES TUBOS DE SEGURIDAD	1930-1960
95/31/818		CIENCIAS QUÍMICAS	TRES TUBOS CONDENSADORES	1960-1980
95/31/819		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS LLAVES DE PASO	1950-1980
95/31/820		CIENCIAS QUÍMICAS	TRES TAPONES	1930-1960
95/31/821		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS LLAVES DE PASO	1950-1980
95/31/822		ELECTRICIDAD	TUBO PARA EXPERIENCIAS DE ELECTRÓLISIS	1890-1910
95/31/823		MECÁNICA DE SÓLIDOS	CUBETA PARA ONDAS LÍQUIDAS	1930-1950
95/31/824		CIENCIAS QUÍMICAS	EMBUDO	1940-1970
95/31/825		ELECTRICIDAD	TRIODO	1960-1980
95/31/826		ÓPTICA	SOPORTE PARA MICROFOTOGRAFÍA	1940-1970
95/31/827		ÓPTICA	CINCO ACCESORIOS PARA BANCO ÓPTICO	1940-1970
95/31/828		CIENCIAS QUÍMICAS	SEIS TUBOS DE ENSAYO	1950-1980
95/31/829		ÓPTICA	CARTEL DE MICROSCOPIO BAUSCH & LOMB	1958
95/31/830		METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	MAPA DE ESPAÑA CON ANOMALÍAS DE LA GRAVEDAD	1938
95/31/831		ELECTRICIDAD	ELECTRODOS PARA EXPERIENCIAS DE ELECTROTERAPIA	1880-1900
95/31/832		ELECTRICIDAD	BORNA PINZA-LÁMINAS	1930-1950
95/31/833		ELECTRICIDAD	PIEZA DE UNIÓN	1930-1950
95/31/834		ÓPTICA	PLACAS CON HILOS PARA DIFRACCIÓN	1930-1950
95/31/835		CIENCIAS QUÍMICAS	PIPETA DE SEGURIDAD	1930-1950
95/31/836		ELECTRICIDAD	CÉLULA FOTOELÉCTRICA	1950-1970
95/31/837		ELECTRICIDAD	DIODO	1950-1970
95/31/838		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS GLOBOS DE VIDRIO CON TUBO DE ALUMINIO	1950-1970
95/31/839		CIENCIAS QUÍMICAS	DOS BALONES	1950-1980
95/31/840	301	METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA	FRASCO CON MERCURIO	1870-1890
95/31/841		CIENCIAS QUÍMICAS	PROBETA	1960-1980
95/31/842		CIENCIAS QUÍMICAS	TAPÓN PARA LLAVE DE PASO	1930-1960
95/31/843	143	ELECTRICIDAD	AUTOCONDENSADOR	1910-1920
95/31/844		ÓPTICA	DIAFRAGMA DEL APARATO PARA MOSTRAR LA REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN	1940-1960
95/31/845		ÓPTICA	CONDENSADOR CON UNA LENTE	1970-1980
95/31/846		ÓPTICA	LÁMINA DE YESO MONTADA PARA OBSERVACIÓN CON LUZ POLARIZADA	1925-1940
95/31/847		ÓPTICA	DIAFRAGMAS PARA OBJETIVO DE CÁMARA FOTOGRÁFICA	1880-1910
95/31/848		ÓPTICA	SOPORTE DE LENTE CONDENSADORA	1880-1900
95/31/849		MECÁNICA DE FLUIDOS	TUBO DE APARATO DE HALDAT .	1850-1870
95/31/850		CALOR	MATRAZ PARA MEDIR COEFICIENTES DE DILATACIÓN	1900-1930
95/31/851		ELECTRICIDAD	ANILLO PARA MOSTRAR LAS CORRIENTES DE FOUCAULT	1940-1960
95/31/852		ELECTRICIDAD	SONDA DE LLAMA PARA IONIZACIÓN DE GASES	1930-1950
95/31/853		ÓPTICA	PRISMA DE MICROSCOPIO HORIZONTAL	1850-1880
95/31/854		PESAS Y MEDIDAS	PESA DE 100 GR. PARA JUEGO DE PESAS	1950-1970
95/31/855	207	FÍSICA ATÓMICA	CÁMARA PARA MEDIR LA PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN ALFA	1940-1960
95/31/856	342	ÓPTICA	CÁMARA LÚCIDA TIPO AMICI PARA MICROSCOPIO	1920-1940
95/31/857	342	ÓPTICA	CÁMARA LÚCIDA TIPO SOEMMERRING PARA MICROSCOPIO	1880-1900
95/31/858		ÓPTICA	PRISMA PARA ESPECTROSCOPIO	1920-1940
95/31/859		ELECTRICIDAD	ACCESORIOS PARA MOSTRAR LA LEY DE COULOMB	1955-1975
95/31/860		PESAS Y MEDIDAS	PESAS ANULARES PARA BALANZA DE PRECISIÓN	1920-1940
95/31/861		MECÁNICA DE SÓLIDOS	DOS PESAS DE PLOMO	1940-1970

BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ARCHIVOS CONSULTADOS

Archivo General de la Administración
- Educación y Ciencia. Asuntos Generales: Legajos 5980-5984, 6001 y 6007
- Educación y Ciencia. Escuela Normal de Filosofía: Legajo 6377
- Educación y Ciencia. Facultad de Ciencias: Legajo 5420
- Educación y Ciencia. Facultad de Filosofía y Letras: Legajo 6378
- Educación y Ciencia. Instituto Cardenal Cisneros: Legajo 6902
- Educación y Ciencia. Instituto de San Isidro: Legajos 6903 y 6904

Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid
- Secretaría General. Contabilidad: Cajas D/526, D/527, D/528, D/532, D/534, D/535, D/593, D/1490, D/1547, D/1560
- Colegio Imperial: D/1553

CATÁLOGOS DE FABRICANTES

Adam Hilger, Ltd., *A general catalogue of the manufactures of Adam Hilger Ltd.*, Londres, 1928, sección D

Cultura S.A., *Catálogo de material científico y didáctico: Catálogo general Nº 800*, Madrid: Cultura, Eimler-Basanta-Haase, 1979

Escriche y Mieg, Tomás, *Catálogo explicado e ilustrado de los instrumentos de física y cosmografía inventados por D. C. Tomás Escriche y Mieg*, Guadalajara: Imprenta y Encuadernación Provincial, 1883

Gallenkamp, A. and Co. Ltd., *Laboratory Equipment and Scientific Apparatus. 12 edition. Catalogue*, Londres, 1951

Giralt Laporta, J., *Catálogo ilustrado de la casa Juan Giralt Laporta*, Barcelona y Madrid, 1907

Griffin, *Science teaching equipment*, Alperton (Inglaterra): Griffin & George Limited, 1969

Laboratorio Eléctrico Sánchez (Piedrabuena, Ciudad Real), *Instrucciones para el manejo y técnica de utilización del aparato generador de rayos X Sánchez y corrientes de alta frecuencia para trabajos electrofísicos*, Barcelona: Imp. Elzeviriana y Librería Camí, 19??

Leiss, C., *Die optischen instrumente der firma R. Fuess*, 1899 (facsímil, Redondo Beach: The Gemmary, 1988)

Leybold, E., *Instalaciones y Aparatos para la enseñanza de la Física*, Colonia: Imprenta de Paul Gehly, ca. 1914

Leybold's Nachfolger, *Aparatos de física*, Colonia, 1939

Leybold - Heraeus, *PH 360-4. Physique*, Colonia, 1975

Max Kohl, *Catalogue nº 22. Appareils de Physique*, Chemnitz: Max Kohl, 1905

Phywe, *Física: Catálogo P1076S*, Madrid, 198?

Pike, B., *Pike's Ilustrated Catalogue of scientific Instruments*, San Francisco: Norman Publishing, 1993 (facsímil de la edición de 1856, Nueva York) 2 vols.

Syndicat des Constructeurs, *L' Industrie Française des Instruments d'optique et de Précision*, París 1901-1902 (edición facsimil de 1980)

The Queen catalogues (facsímil de los catálogos *Priced and illustrated catalogue of physical instruments, Chemical apparatus and Chemicals*, 1888) San Francisco, 1993, 2 vols.

Welch, *Laboratory apparatus*, Chicago, 1948

Zeiss, C., *Lampes et cages de Lampes sur patin. Catalogue*, Jena, 1927

Zeiss, C., *Iluminación en campo oscuro con condensador cardioide. Catalogue Mikro 407*, Jena, 1928

Zeiss, *Medidor de enturbiamiento. Catalogue*, Jena, 1930

FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA SECUNDARIA

Agacino y Martínez, E., *Cartilla de electricidad práctica*, 1900

Almeida, T. de, *Recreación filosófica*, Madrid: Imprenta de la Viuda de Ibarra, 1785-1786, 6 vols.

Anderson, R. G. W., Bennett, J. A., and Ryan, W. F. (eds.), *Making Instruments Count: Essays on Historical Scientific Instruments presented to Gerard L'Estrange Turner*, Aldershot: Variorum, 1993

Anderson, R.G.W., Burnett, J. E., *Handlist of Scientific Instrument-maker's trade catalogues: 1600-1914*, Edinburgh: Royal Museum of Scotland, 1990

Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1906, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1907

Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1907, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1908

Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1908, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1909

Anuario Legislativo de Instrucción Pública correspondiente a 1909, Madrid: Sección de estadística de Instrucción pública de la subsecretaria del Ministerio, 1910

Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, "Laboratorios y Cátedra de Física de la Facultad de Ciencias", en *Reseña de las principales establecimientos científicos y laboratorios de investigación de Madrid. IV congreso, 15-20 junio 1913*, Madrid: Imprenta de Eduardo Arias, 1913?, pp. 155-160

Banfield, E., *Barometers: Aneroid and Barographs*, Trowbridge: Baros Books, 1985

Baille, J., *L'Électricité*, París: Librairie Hachette et Cie, 1878

Basso Ricci, M. ; Cafarella, L. ; Meloni, A. ; Tucci, P., *Due secoli di strumenti geomagnetici in Italia (1740-1971)*, Bologna: Compositori, 1997

Benguigui, I., *Théories electriques du XVIII siècle. Correspondance entre l'abbé Nollet (1700-1770) et le physicien genevois Jean Jallabert (1712-1768)*, Genève: Librairie de l'Université Georg et Cie S.A., 1984

Bensa, E. y Zanarini, G., "La fisica della musica. Nascita e sviluppo dell'Acustica musicale nei secoli XVII y XVIII", *Nuncius*, Año XIV, 1999, fasc. 1, pp. 69-111

Berkson, W., *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*, Madrid: Alianza Universidad, 1985

Black, R.M., *The history of Electric Wires and Cables*, Londres: Peter Peregrinus, Ltd. & Science Museum, 1983

Blaserna, P., *Le son et la musique (suivis des causes physiologiques par H. Helmholtz). Bibliothèque scientifique internationale XXIV*, París: Librairie Germer Baillière et Cie, 1879

Blondel, C., *A.-M. Ampère et la création de l'électrodynamique (1820-1827)*, París: Bibliothèque National, 1982

Blondel, C. y Dörries, M. (eds.), *Restaging Coulomb. Usages, controverses et réplications autour de la balance de torsion*, Florencia: Leo S. Olschki, 1994

Blondel, C., Parot, F., Turner, A. J. y Williams, M. (eds.), *Studies in the History of Scientific Instruments* (Papers presented at the 7th Symposium of the Scientific Instrument Commision, París 15-19 Sep. 1987), Londres: Rogers Turner Books for the Centre de Recherche en Histoire des

Sciences de la Cité des Sciences et de l'industrie, París, 1989

Boletín Oficial de Instrucción Pública, 18 febrero 1841, tomo I, nº 1

Boletín Oficial de Instrucción Pública, 15 octubre 1846, tomo IX, 2ª serie, año 6º, nº 19

Boletín Oficial de Instrucción Pública, 15 noviembre 1846, tomo IX, 2ª serie, año 6º, nº 21

Boletín Oficial de Instrucción Pública, 15 marzo 1847, tomo X, 2ª serie, año 7º, nº 5

Boletín Oficial del Ministerio de Fomento, 1 octubre 1857, tomo XXIV, año VI, nº 301

Boletín Oficial del Ministerio de Fomento, 8 octubre 1857, tomo XXIV, año VI, nº 302

Boletín Oficial del Ministerio de Fomento, 23 junio 1859, tomo XXX, año VIII, nº 391

Branly, E., *Traité élémentaire de physique*, París: Librairie Ch. Poussielque, 1895

Brenni, P., "Le triomphe de l'acoustique expérimentale: Marloye et Koenig", en *La Revue. Musée des Arts et Métiers*, Septiembre 1995, pp. 29-37

Brenni, P., *Gli istrumenti del Gabinetto dell'Istituto Tecnico Toscano. I. Acustica*, Florencia: Biblioteca dell'Assessorato alla Cultura, 1986.

Brenni, P., *Gli strumenti di fisica dell'Istituto Tecnico Toscano. Ottica*, Florencia: Museo di Storia della Scienza, 1993

Brenni, P., *Museo di Storia della Scienza. Catalogue of mechanical instruments*, Florencia: Giunti for Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1993

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: XIII: Soleil, Duboscq, and Their Successors" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 51, pp. 7-16

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: XII: Louis Clement François Breguet and Antoine Louis Breguet" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 50, pp. 19-24.

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: X: The Richard Family" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 48, pp. 10-14

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: IX: Louis Joseph Deleuil (1795-1862) and his son Jean Adrien Deleuil (1825-1894)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1995, nº 47, pp. 4-7

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: VIII: Eugène Ducretet (1844-1915)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1996, nº 46, pp. 12-17

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: VII: Paul Gustave Froment (1815-1865)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1995, nº 45, pp. 19-24

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: VI: The Triumph of Experimental Acoustics: Albert Marloye (1795-1874) and Rudolph Koenig (1832-1901)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1995, nº 44, pp. 13-17.

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: V: Jules Carpentier (1851-1921)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1994, nº 43, pp. 12-15

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: IV: Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877)" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1994, nº 41, pp. 4-8

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: III: Lerebours et Secretan" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1994, nº 40, pp. 3-6

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: II: The Chevalier Dynasty" en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1993, nº 39, pp. 11-14

Brenni, P., "19th Century French Scientific Instrument Makers: I: H. - P. Gambey", en *Bulletin of Scientific Instrument Society*, Londres: 1994, nº 38, pp. 11-13

Brenni, P., "Italian scientific instrument makers of the nineteenth Century and their instruments" en Clercq, P. R. de (ed.), *Nineteenth-Century Scientific Instruments and their Makers*, Amsterdam: Rodopi, 1985 , pp. 182-203

Brock, W. H., *From protyle to proton*, Bristol, 1985

Brown, L. M., Pais, A. y Pippard, Sir B., *Twentieth Century Physics*, Bristol y Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1995

Brown, M. y Hoddeson, L. (eds.), *The Birth of particle physics*, Cambridge, 1983

Bud, R. y Warner, D. J. (eds.), *Instruments of science. An Historical Encyclopedia. Garland Encyclopedias in the History of Science. Vol. 2*, Nueva York y Londres: Science Museum, Smithsonian Institution, Garland Publishing, 1998

Burgos Monfort, J., *Electricidad industrial*, Madrid, 1955

Burnett, J. E., & Morrison-Low, A. D., *Vulgar and Mechanick. The Scientific Instrument trade in Ireland (1650-1912)*, Dublin: Royal Dublin Society, 1989

Bynum, W. F., Browne, E. J., Porter, Roy, *Diccionario de historia de la Ciencia*, Barcelona: Herder, 1986

Cano Pavón, J. M., "El Real Instituto Industrial de Madrid (1850-1867): Medios humanos y Materiales", *Llull*, vol. 21, 1998, pp. 33-62

Carvalho, Rómulo de, *História do Gabinete de física da Universidade de Coimbra*, Coimbra: Universidade, 1978

Catalá de Alemany, J., *Física*, Madrid: Cometa, 1979

Chambers, E., *Dizionario Universale delle Arti e delle Scienze*, Venecia: Giambatista Pasquali: 1748, 10 vols.

Chamorro, R., *Elementos de Física y Química*, Madrid, 1876

Clay, R. S. & Court, T. H., *The history of the Microscope*, Londres: Charles Griffen and Company, 1932

Clercq, P. R., *The Leiden Cabinet of Physics*, Leiden: Museum Boherhaave Communication, 1989

Clercq, P. R. de (ed.), *Nineteenth-Century Scientific Instruments and their Makers* (papers presented at the 4th Scientific Instrument Symposium, Amsterdam 23-26 octubre 1984), Amsterdam: Rodopi, 1985

Colección Legislativa de España, 1º semestre de 1860, tomo 83, Madrid, 1860

Colección Legislativa de Instrucción Pública. Año de 1910, Madrid: Imprenta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, 1910

Croy Kassler, J., "Music as a model in early science", *History of science*, XX (1982): 103-139

Daumas, M., *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, París: Presses Universitaires de France, 1953 (versión inglesa: *Scientific Instruments of the 17th and 18th Centuries and their Makers*, Londres: Portman Books, 1989)

Débarbat, S. y Ten, A.E. (eds.), *Mètre et système Métrique*, París: Observatoire y Valencia: Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la ciencia, 1993

Deligeorges, S., *Foucault et ses pendules*, París: Carré, 1995

Descartes, R., *Los principios de la filosofía*, Madrid: Alianza Editorial, 1995

Domínguez, F., *Topografía general y aplicada*, Madrid: Dossat, 1991

Dugas, R., A *History of Mechanics*, Nueva York: Dover, 1988

Egido Rodríguez, A., y González de la Lastra, L., "La importancia de la Cámara Lúcida en la Historia Natural durante el siglo XIX", en *Actas de la XII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 11-15 Marzo, 1996, Madrid, pp. 489-493

Egido Rodríguez, A. y González de la Lastra, L., "Conservación de Instrumentos Navales Antiguos", en *Actas del I Congreso de Historia de las Técnicas*, organizado por SEHCYT, 26-28 Octubre 1995, Cantabria, pp. 406-411

Escriche y Mieg, T., *Elementos de física y nociones de química*, Barcelona: Antonio J. Bastinos, 1891

Escriche y Mieg, Tomás, *Catálogo explicado e ilustrado de los instrumentos de física y cosmografía inventados por D. C. Tomás Escriche y Mieg*, Guadalajara: Imprenta y Encuadernación Provincial, 1883

Feliú y Pérez, B., *Curso elemental de física experimental y aplicada*, Barcelona: Imprenta de Jaime Jepús, 1886

Fernández Pérez, J., y González Tascón, I., *Descripción de las Máquinas del Real Gabinete*, Madrid: Doce Calles, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, 1991

Ferrari, G. (ed.), *Gli strumenti sismici storici Italia e contesto europeo*, Bolonia: Istituto Nazionale di Geofisica, 1991

Fierro, A., *Histoire de la météorologie*, París: Éditions Denoël, 1991

Franklin B., *Experimentos y observaciones sobre electricidad*, Madrid: Alianza Editorial, 1988

Frisinger, H. H., *The History of Meteorology: to 1800*, Boston: Amercian Meteorological Society, 1983 (1ª ed. 1977)

Fuente, V. de la, *Historia de las Universidades, Colegios y demás establecimientos de enseñaza en España*, Madrid, 1889, 4 vols.

Fujitas, H. (ed.), *History of electron microscopy*, Tokyo: Japan Scientific Society, 1986

Ganot, A., *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología*, Madrid: Librería de Gregorio Hernando, 1877

Ganot, A., *Tratado elemental de física*, Madrid: Librería editorial de Bailly-Bailliè re e hijos, 1909

García, D., *Compendio de física elemental*, Barcelona: Gustavo Gili, 1934

García Doncel, M., "El campo electromagnético" en *Historia de la Física en el siglo XIX*, Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales, 1987

García Tapia, N., *Del Dios del fuego a la máquina de vapor: la introduccción de la técnica industrial en Hispanoamérica*, Valladolid: Ámbito: Instituto de Ingenieros Técnicos de España, 1992

Gil de Zárate, *De la Instrucción Pública en España*, Madrid: 1855

Gilbert, G., *Collecting photographica. The Images and Equipment of the First Hundred Years of Photography*, Nueva York: Hawthorn/Dutton, 1976

Gilbert, W., *De Magnete*, Nueva York: Dover Publications 1958 (edición de la trad. de P. Fleury Mottelay, 1893)

Gillespie, Charles C., (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*, New York: Charles Scribner's Sons, 1981

Glazebrook, *Dictionary of applied physics*, Nueva York: Peter Smith, 1950, 5 vols.

González de la Lastra, L., "Instrumentos Científicos como documento histórico: El material de Arturo Duperier", en *Azimut* (Boletín del MNCT), Abril 1999, nº 0, p. 5

González de Posada, F. y Brú Villaseca, L., *Arturo Duperier: mártir y mito de la ciencia española*, Ávila: Diputación Provincial de Ávila. Institución Gran Duque de Alba, 1996

González Martí, I., *Tratado de física general*, Madrid: Imprenta de Prudencio Pérez de Velasco, 1912

Gooding, D., Pinch, T., y Schaffer, S. (eds.), *The Uses of Experiment*, Cambridge: Cambridge University Press, 1989

Gouk, P., "The role of acoustics and music in the scientific work of Robert Hooke", *Annals of science*, 37 (1980): 573-605

Guillemín, A., *El mundo físico*, Barcelona: Montaner y Simón, 1883-84, 5 vols

Guijarro Mora, Víctor, "Procurance & Manufacture of scientific instruments in Spain during the 18th. and 19th. centuries", en *Scientific Instrument Society Bulletin*, nº 62, Sep. 1999, pp. 7-10

Guijarro Mora, Víctor, "La obtención y fabricación de instrumentos científicos en Castilla", en *Ciencia en Castilla*, Valladolid: Junta de Castilla y León, en prensa

Guijarro Mora, Víctor, *La ciencia ilustrada y sus máquinas. El gabinete de física experimental de los Reales Estudios de San Isidro de Madrid (1770-1835)*, Madrid, tesis leída en la U.N.E.D, 1996

Guijarro Mora, V. y González de la Lastra, L., "Los sonidos del vacío. El estudio experimental de la transmisión del sonido en el vacío en la segunda mitad del siglo XVII", en *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias*, (Actas del VI Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 9-13 de Septiembre de 1996, Segovia), Salamanca: Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, 1983, 2 vols., vol.2, pp. 735-741

Hackmann, W.D., *Museo di Storia della Scienza. Catalogue of Pneumatical, Magnetical and Electrical Instruments*, Florencia: Instituto e Museo di Storia della Scienza, 1995

Hackmann, W.D., *Electricity from Glass: the History of the Frictional Electrical Machine 1600-1850*, Alphen aan den Rijn, Holanda: Sijthoff & Noordhoff, 1978

Haine, M., *Les Facteurs d'instruments de musique à Paris au XIXè siècle*, Bruselas: Editions de l'Université de Bruxeles, 1985

Halleux, R. (ed.), *Les Mécanismes du Génie: Instruments scientifiques des XVIIIe et XIXe siècle*, catálogo de la exposición celebrada en el Palais des Beaux-Arts, Charleroi, Belgium, 21 Sep. - 22 Dic. 1991

Harman, P. M., *Energía, fuerza y materia: el desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*, Madrid: Alianza Editorial, 1990

Harré, R., *Grandes experimentos científicos*, Barcelona: Editorial Labor, 1986

Heilbron, J.L., *Elements of Early Modern Physics*, Berkeley, California: University of California Press, 1982

Heilbron, J.L., *Electricity in the 17th and 18th Centuries*, Berkeley, California: University of California Press, 1979

Home, R.W., *Electricity and Experimental Physics in 18th Century Europe*, Hampshire: Variorum, 1992

Hunt, F. V., Origins in acoustics: *The science of sound from antiquity to the age of Newton*, New Haven y Londres: Yale University Press, 1978

Jamin, M., *Cours de Physique de l'école polytechnique*, París: Gautier-Villara, 1886, 4 vols.

Jenemann, Hans R.; "Zur Geschichte der Waage in der Wissenschaft", en E.H.W. Giebeler und K.A. Rosenbauer (Eds.), *Historia scientia naturalis. Beiträge zur Geschichte der Laboratoriumstechnik und deren Randgebieten*, Darmstadt, 1982

Kranzberg, M., *Historia de la tecnología: la Técnica en Occidente de la Prehistoria a 1900*, Barcelona: Gustavo Gili, 1981

Lahuerta, Mª Teresa, *Liberales y Universitarios. La Universidad de Alcalá en el traslado a Madrid (1820-1837)*, Alcalá de Henares: Fundación Colegio del Rey, 1986

Lefevre, J., *Diccionario de electricidad y magnetismo y sus aplicaciones a las ciencias, las artes y la industria*, Madrid: Librería Editorial de Bailly - Baillière e Hijos, 1895

Lindsay, R., *Acoustics: Historical and Philosophical Development*, Stroudberg (Pa.), 1973

López Piñero, *Diccionario histórico de la Ciencia Moderna*, Barcelona: Península, 1983, 2 vols.

Lyall, Kenneth, *The Whipple Museum of the History of Science, Cataloque 8, Electrical and Magnetic Instruments*, Cambridge: Whipple Museum, 1991

Macías Picavea, R., *Apuntes y estudio sobre la Instrucción Pública en España y sus reformas*, Valladolid: Imprenta y Librería Gaviria, 1882

Marcoláin San Juan, R. P., *Elementos de física moderna y nociones de meteorología*, Zaragoza: La Editorial 1922

Martín, M., *El nuevo sistema legal de pesas y medidas*, Madrid: imprenta de J. Martín Alegría, 1853 (7ª ed.)

Martínez Barrios, L., *Historia de las máquinas eléctricas*, Barcelona: Ediciones U.P.C., 1995

Maxwell, J.C., *A Treatise on Electricity & Magnetism*, New York: Dover Publications, 1954 (reimpresión de la tercera edición de 1891), 2 vols.

McConnell, A., "Nineteenth-Century Geomagnetic Instruments and their Makers" en Clercq, P.R. de (ed.), *Nineteenth-Century Scientific Instruments and Their Makers, op. cit.*, pp. 29-52

McConnell, A., *Geomagnetic instruments before 1900: an Ilustred account of their construction and use* Londres: Harriet Wynter, 1980

McConnell, A., *Geophysics of geomagnetism: catalogue of the Sciencie Museum Collection*, Londres: HMSO, 1986

Menéndez Pelayo, M., *Heterodoxos*, Madrid: 1956

Middleton, W. E., *Invention of the Meteorological Instruments*, Baltimore: The John Hopkins Press, 1969

Middleton, W. E., *A History of the Theories of Rain*, Nueva York: 1966

Middleton, W. E., *A History of the Thermometer and Its Uses in Meteorology*, Baltimore: The John Hopkins Press, 1966

Middleton, W. E., *The History of the Barometer*, Wiltshire: Baros Books, 1994 (1ª ed. 1964)

Miller, D., *Anecdotal History of the Science of Sound to the Beginning of the 20th Century*, Nueva York, 1935

Miniati, M., *Museo di storia della Scienza*. Catalogo, Florencia: Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1991

Minnick, R., *Glosaries for surveyors*, Rancho Cordova: Landmark, 1989

Moles, E., "Los nuevos laboratorios de la Facultad de Ciencias", *Boletín de la Universidad de Madrid*, 1929, tomo I, pp. 153-170

Moreno, A., *Una Ciencia en Cuarentena. La Física Académica en España (1750-1900)*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1988

Muffone, G., *La fotografía*, Barcelona Gustavo Gili, 1914

Musée National des Techniques, *L'Aventure du Métre* (catálogo de la exposición), París: Musée National des Techniques, 1989

Namías, R., *Manual práctico y recetario de fotografía*, Madrid: Bailly Ballière, 1923

Nollet, J., A., *Lecciones de physica experimental*, traducidas al español por Antonio Zacagnini, Madrid: Oficina de Joaquin Ibarra, 1757

Nollet, J. A., *Essai sur l'electricité des corps*, 2ª ed., París: Chez les Frères Guerin, 1753

Nye, M. J., *Molecular reality*, Nueva York, 1972

Papin, D., *A New Digester or Engine for Softening Bones*, Londres, 1681

Payen, J., "Une vocation essentielle du Conservatoire National des Arts et Métiers: La Métrologie et la diffusion du système Métrique" en Debarbat, S. y Ten, A. E. (eds.), *Métre et systeme Métrique, op. cit.*

Peset, J. L., Garma, S. y Pérez Garzón, J. S., *Ciencias y Enseñanza en la Revolución Burguesa*, Madrid: Siglo XXI, 1978

Peset, José Luis y Mariano, *La Universidad Española (siglos XVIII-XIX)*, Madrid: Taurus, 1974

Piñero, J. M. (ed.), *La ciencia en la España del siglo XIX*, Madrid: 1992

Prévot, E., *Topographie*, París, 1898

Privat- Deschanel y Pichot, J., *Notions élémentaires de physique*, París, 1881

Réaumur, "Règles pour construire des thermomètres", *Mémoires Academie des Sciences*, París, 1730

Rébillon - Maurin, M., "Jean Roller, portraitiste, et la manufacture de piano Roller & Blanchet", en *Musique, Images, Instruments* (Laboratoire d'organologie et d'iconographie musicale CNRS), nº 1, 1995, pp. 113-150

Residencia de Estudiantes, *Un siglo de Ciencia en España* (catálogo de la Exposición), Madrid: Residencia de Estudiantes, 1998

Ribera, J.; Nacente, F. y Soler, P., *Física industrial: física aplicada a la industria, la agricultura, artes y oficios*, Barcelona: J. Roma, 1895, 3 vols.

Rico, M. y Santisteban, M., *Manual de física y química*, Madrid, 1865

Roberjot, P., *Elementos de electricidad industrial*, Barcelona, 1956

Rodríguez Vidal, M., "La electricidad en el siglo XVIII" en *Historia de la Física hasta el siglo XIX*, Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales, 1983

Rodriguez y Largo, B., *Elementos de Física*, Madrid, 1891

Romero, A., "Dos políticas de instrumental científico: el Instituto del Material Científico y el Torres Quevedo", en *Arbor*, 160, nº 631-632 (julio-agosto 1998), pp. 359-386

Rouse, Hunter e Ince, Simon, *History of Hidraulics*, Nueva York: Dover, 1963

Rumeu de Armas, A., *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro*, Madrid: Castalia y Fundación Juanelo Turriano, 1990

Rumeu de Armas, A., *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada*, Madrid: Turner, 1980.

Sánchez Ron, J. M., *Espacio-tiempo y Átomos. Relatividad y Mecánica Cuántica*, Akal. Historia de la Ciencia y de la Técnica, Madrid: Akal, 1992

Sánchez Ron, J. M. (coord.), 1907-1987 *La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 80 años después*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1988, 2 vols.

Sánchez Ron, J. (ed.), *James Clerk Maxwell escritos científicos*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998

Sanjurjo, R., *Física experimental*, Madrid, 1892

Sans Huelin, G., *La balanza de torsión Eötvös-Schweydar y sus aplicaciones*, Madrid, 1924

Santisteban, M., *Breve historia de los gabinetes de física y química del Instituto de San Isidro de Madrid*, con "Continuación de la Breve Historia ... (1875-1878)", Madrid: 1875

Simón, Julián, *La génesis de la mecánica de fluidos*, Madrid: UNED, 1996.

Singer, C.; Holmyard, A. R.; Hall A. R.; Williams, T.I., (eds.), *A History of Technology*, Oxford: Oxford University Press, 1980

Solís, C. y Sellés, M., *Solo en casa. Guía para el estudio de la Historia de la Ciencia*, Madrid: UNED, 1996

Stock, John T., *Development of the Chemical Balance*, Londres: Her Majesty's Stationery Office, 1969

Stock, T. & Vaughan, D., *The Development of Instruments to Measure Electric Current*, Londres: Science Museum, 1983

Taton, René, *Historia General de las Ciencias*, Barcelona: Destino, 1973 (1ª ed. francesa 1961)

The New Grove Dictionary of Musical Instruments, New York, 1984, 3 vols.

Tokaty, G. A., *A History and Philosophy of Fluids Mechanics*, Nueva York: Dover, 1994 (1ª ed. 1971)

Truesdell, C. A., *Ensayos de historia de la mecánica*, Madrid: Tecnos, 1975 (1ª edición 1968)

Tunbridge, P., *Lord Kelvin. His influence on electrical measurements and units*, Gran Bretaña: Peter Peregrinus, 1992

Turner, G. L'E., *Collecting Microscopes*, Londres: Cassell, 1981

Turner, G. L'E., *Museo di Storia della Scienza: Catalogue of Microscopes*, Florencia: Giunti for Museo di Storia della Scienza, 1991

Turner, G. L'E., *Nineteenth-Century Scientific Instruments*, Londres: Sotheby's Publications, 1983

Turner, G. L'E., *Van Marum's Scientific Instrument in Teyler's Museum*, Leyden: Noordhoff International Publishing, s.a.

Turner, G. L'E., *The Great Age of the Microscope: The Collection of the Royal Microscopical Society through 150 Years*, Bristol: Adam Hilger, 1989

Turner, G. L'E. (Editor general P. Galluzzi), *Storia delle Scienze. Vol. I: Gli Strumenti*, Turin: Giulio Einaudi editore, 1991

Turner, G. L'E., *The practice of science in the nineteenth century: Teaching and Research Apparatus in Teyler's Museum*, Haarlem: The Teyler Museum, 1996

Turner, G. L'E. y Bryden, D. J., *A classified bibliography of the scientific instruments*, Oxford: Scientific Instruments Commission, 1997

Tyndall, J., *El calor*, Barcelona, 1883

Tyne, Gerald F.J., *Saga of the Vacuum Tube*, Indianapolis (Estados Unidos): Howard W. Sams & Co., 1977

Universidad Central, *Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1855 Á 1856*, Madrid, 1855

Universidad Central, *Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1856 Á 1857*, Madrid, 1856

Universidad Central, *Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1857 Á 1858*, Madrid: imprenta de J. M. Ducazcal, diciembre de 1857

Universidad Central, *Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1858 Á 1859*, Madrid, 1858

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1858-1859 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1859 Á 1860*, Madrid, 1859

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1859-1860 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1860 Á 1861*, Madrid, 1860

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1860-1861 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1861 Á 1862*, Madrid, 1861

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1861-1862 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1862 Á 1863*, Madrid, 1862

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1862-1863 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1863 Á 1864*, Madrid, 1863

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1863-1864 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1864 Á 1865*, Madrid, julio de 1865

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1864-1866 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1866 Á 1867*, Madrid, 1866

Universidad Central, *Memoria acerca del estado de la enseñanza en la Universidad Central del curso 1866-1867 y Anuario de la Universidad Central para el Curso de 1867 Á 1868*, Madrid, 1867

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1877-78 y Anuario del curso 1878-79*, Madrid, 1878

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1881-82 y Anuario del Curso 1882-83*, Madrid, 1882

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1882-83 y 1883-1884 y Anuario del Curso 1884-85*, Madrid, 1884

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1884-85 y 1885-1886 y Anuario del Curso 1886-87*, Madrid, 1886

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1886-87 y 1888-1889 y Anuario del Curso 1889-90*, Madrid, 1889

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1889-90 y Anuario del Curso 1890-91*, Madrid, 1890

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1890-91 y 1891-1892 y Anuario del Curso 1892-93*, Madrid, 1892

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1892-93*, Madrid, 1893

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1893-94* , Madrid, 1894

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1897-98 y Anuario del Curso 1898-99*, Madrid, 1898

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1901-1902 y Anuario del Curso 1902-3*, Madrid, 1902

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1902-1903*, Madrid, 1903

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1905-1906 y Anuario del Curso 1906-7*, Madrid, 1906

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1906-1907*, Madrid, 1907

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1908-1909*, Madrid, 1909

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1909-1910*, Madrid, 1910

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1910-1911*, Madrid, 1911

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1911-1912*, Madrid, 1912

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1912-1913*, Madrid, 1913

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1920-1921*, Madrid, 1921

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1921-1922*, Madrid, 1922

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1922-1923*, Madrid, 1923

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1926-1927*, Madrid, 1927

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1927-1928*, Madrid, 1928

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1928-1929*, Madrid, 1929

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1929-1930*, Madrid, 1930

Universidad Central, *Memoria Estadística del curso 1930-1931*, Madrid, 1931

Universidad de Madrid , *Anuario del Curso 1932-33 y Guía para el Curso 1933-34*, Madrid, 1933

Universidad de Madrid , *Anuario del Curso 1933-34 y Guía para el Curso 1934-35*, Madrid, 1934

Universidad de Madrid , *Anuario del Curso 1934-35 y Guía para el Curso 1935-36*, Madrid, 1935

Valera Candel, M., *La producción española en Física a través de los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, 1903-1937*, tesis doctoral leída en la Universidad de Murcia, 1981, 3 vols.

Valle López del, Ángela, *La Universidad Central y su Distrito en el primer decenio de la Restauración Borbónica*, Madrid: Consejo de Universidades, Secretaría General, 1990, 2 Tomos.

Vernet, J., *Historia de la ciencia española*, Madrid: Instituto de España, 1975

Verschuur, G. L., *Hidden attraction: the mystery and history of magnetism*, Oxford: Oxford University Press, 1993

Vian Ortuño, A., "La Física y la Química", en J. M. Jover Zamora (dir.), *Historia de España Menéndez Pidal*, Tomo XXXIX, *La edad de plata de la Cultura española (1898-1936)*, vol. II, *Letras. Ciencia. Arte. Sociedades y Cultura*, Madrid: Espasa Calpe, 1994, parte II, cap. V, pp. 429-472

Vicente Aznar, J. & Bertomeu, J.R., "La polemique sur l'adoption du Système Metrique Decimal en Espagne", en Debarbat , S. y Ten, A.E. (eds.), *Métre et systeme Métrique, op. cit.*

Vitoria, E., *Manual de química moderna*, Barcelona, 1932

VV. AA., *La universidad en Madrid. Presencias y aportes en los siglos XIX y XX*, Madrid: Secretaría General del Consejo de Universidades, 1992

Weiner, C. (dir.), *History of 20th Century Physics*, Nueva York, 1977

Whittaker, E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Nueva York, 1960, 2 vols.

Wilson, W., *A Hundred Years of Physics (1850-1950)*, Londres, 1950

Williams, M. E., *The precision makers: a history of the instrument industry in Britain and France*, 1870-1939, Londres: Routledge, 1993

Yela, Mariano,"La educación y la pedagogía", en J. M. Jover Zamora (dir.), *Historia de España Menéndez Pidal*, Tomo XXXIX, *La edad de plata de la Cultura española (1898-1936)*, vol. II, *Letras. Ciencia. Arte. Sociedades y Cultura, op. cit.*, parte II, cap. III, pp. 287-307

ÍNDICE ONOMÁSTICO

A

Abbe, E., 304
Adnet, 58
Aepinus, F. U. T., 119, 132, 212
Aguirrebengoa, 42
Airy, 262
Aitken, 277-279
Alluard, E., 277
Alvareda, 27
Amici, G. B., 300, 303
Amontons, G., 95
Ampère, A. M, 162, 163, 170, 172
Ango, P., 71
Angström, A. J., 286, 287
Arago, D. F. J., 162, 163
Aramburo, Vd. de, 50, 52, 59, 61, 62, 129, 186, 187, 276
Aristóteles, 70, 93, 225, 249
Arquímedes, 224, 225, 237, 249, 254
Atwood, G., 44
August, E. F., 47
Auzoux, 58, 293
Ayrton, W. E., 164, 179, 180
Avogadro, A., 196

B

Bacon, R., 208
Banks, J., 123
Barker, 233
Barlow, P., 164, 181, 184
Barrow, I., 240
Barrow, H.,213, 217
Bartholin, E., 283
Beckmann, E., 103
Becquerel, A. E., 44, 309
Bell, A. G., 189
Bernouilli, D., 72, 93
Bethencourt, A. de, 37
Biot, J. B., 44,162, 163, 272, 324
Black, J., 94, 96, 97, 105
Blackett, P., 202
Boerhaave, H., 94
Bohr, N., 197-199
Boltzmann, L., 196
Bonet, F., 62
Borda, J. C., 44, 336
Bose, G. M., 118, 199
Bourdon, E., 58, 239
Boyle, R., 97, 226, 240, 243
Branly, E.,142, 169, 170
Breguet, L. C. F., 44, 55, 58, 148, 177, 185, 190
Breton Frères, 55, 103, 255
Brodhun, E., 51, 311, 313
Broglie, L. de, 198
Brú, L., 28
Bunsen, R. W., 50, 286, 287, 307, 309, 312
Butterfield, 311

C

Caballero y Barba, F., 46
Cabrera y Felipe, B., 28, 30
Cailletet, L. P., 228, 236
Canton, J., 121
Carlisle, A., 123
Carnot, S., 100
Carpentier, J., 54, 55, 57, 133, 146, 175, 179, 181, 219
Carré, F. P., 72, 118, 128
Cartier, 244
Cary, W, 302
Casella, L., 50, 109, 277
Catalán, M., 28
Cauchy, A. L., 73
Cavendish, H., 120
CEDAC, 61, 62, 256, 341
Celsius, A., 95, 244, 271
Chávarri, J., 42, 48, 291
Chesnevau, 50
Chevalier, C., 58, 59, 289
Chevalier, L. V., 44, 58, 59, 325
Chladni, E. F. F., 69, 72, 74, 78, 81
Christie, S., 146
Clarke, E. M., 165, 184, 185, 186
Collot, A., 52, 55, 341, 342, 345
Conroy, 312
Cooke, W. F., 163, 191
Coolidge, W. D., 156
Coulomb, C. A., 115, 119-122, 163, 212, 258, 263
Cralath, D., 120
Crookes, W., 124, 125, 152, 154-156, 195
Crova, A. P., 87, 88
Cuadrado, E., 62, 130
Curie, P., 50, 345
Cultura Eimler Basanta, 54, 60-62, 152, 171
Cumming, J., 163

D

D'Alembert, J., 72
D'Arcy, P. Le Chevalier, 120
Dalton, J., 242
Daniell, J. F., 276, 277
Darnet, 58, 189
D'Arsonval, A., 149, 164, 179, 311
Davisson, C. L., 198
Davy, H., 99, 123, 289
Delachanal, 308
Delambre, J. B. J., 336
Deleuil, L. J., 57, 174
Deleuil, J. A., 42, 44, 47, 54-57, 112, 175, 217, 234, 298, 301, 302, 325
Deprez, M., 149, 164, 179
Derham, W., 71
Desaguliers, J. T., 250
Descartes, R., 211, 212, 249, 269
Despretz, C., 99
Dirac, P. A., 197-199
Dollond, J., 284
Donny, F., 264
Dove, H. W., 84
Dover, 218
Drebbel, C., 94
Duboscq, J., 55, 58, 286, 289, 290, 307, 310, 324, 326
Ducretet, E., 55, 145
Dufay, C. F. de C., 115, 117, 120, 121
Duhamel, J,. M. C., 74
Dujardin, 54, 55, 244
Dulong, P. L., 44, 52, 75, 96, 97, 104, 105
Dumotiez, 241
Duperier Wallesa, A., 28, 201
Durán, A., 28

E

Edison, T. A., 170, 189
Einstein, A., 196-199, 315
Ellicott, J., 120
Elster, J. P. L. J., 314
Enns, K., 94
Escriche y Mieg, T., 61, 232
Espartero, B., 21
Euler, L., 72, 227, 228, 251, 284
Everett Edgcumbe, 312, 313

F

Fabry, C., 315, 316
Fahrenheit, D. G., 95, 271
Faraday, M., 45, 123, 134, 135, 162, 164-167, 170, 172, 174, 181, 184, 213, 217, 289, 327
Favre, P. A., 97, 106
Fedorov, E. S., 307
Fermi, E., 199
Féry, 299
Fitzgerald, G. F., 169
Fizeau, H., 59
Fludd, R., 94
Fortin, J. N., 270
Foucault, J. B. L., 59, 252, 261, 287
Fourier, J., 73, 101, 251
Franklin, B., 115, 118-120, 123, 133
Fraunhofer, J. von, 286-288, 318
Fresnel, A. J., 56, 189, 195, 196, 251, 285, 286, 290, 293, 294, 317
Friedländer, C., 288
Froment, P. J., 45, 58, 59, 347
Fuess, R., 306

G

Gaertner, W. M. & Co., 314
Galeno, C., 94
Galilei, Galileo, 71, 94, 225, 252, 257

Galton, F., 85
Galvani, L., 115, 122, 143
Gambey, H. P., 56, 296
García Alix, A., 25, 48
García, D., 43
Gassendi, P., 71, 93
Gaumont, L., 58, 328
Gauss, C. F., 163, 212, 213, 220
Gay-Lussac, J. L., 47, 242, 244, 272
Geiger, H. W., 202, 203
Geissler, J. H. W., 124, 125, 151, 154, 187, 308
Geitel, F. K. H., 314
Gellibrand. H., 209
Germer, L. H., 198
Gil de Zárate, A., 21, 22, 26, 40-43, 48, 56
Gilbert, W., 115, 116, 120, 161, 208, 210-212, 215
Giner de los Ríos, 27
Goldschmidt, V., 307
Goldstein, E., 124
González Martí, I., 27, 62, 149
González Valledor, V., 48, 273, 291
Gordon, A., 118
Gould, C., 302
Graaff, R. J. Van der, 131
Gramme, Z. T., 184-186
Grasselli, J., 54, 61, 62, 276
Grasselli y Zambra, 61, 62, 184, 322
Gray, S., 115, 117
Griffin, 200
Grimaldi, F. M., 71, 285, 318
Grosseteste, R., 70
Guericke, O. von, 71, 94, 116, 225, 237
Guild, J., 313

H

Hadley, G., 272
Haldat, 242
Haller, V. A. von, 107
Halley, E., 272
Hallwachs, W. L. F., 50, 314
Hamilton, W. R., 251
Harrison, J., 338
Hartmann, G., 54, 209
Hauksbee, F., 117, 124
Heele, H., 307
Heisenberg, W., 198, 199
Helmholtz, H. von, 50, 74, 75, 84, 85, 88, 228
Helmund, C. G., 118
Henley, W., 121
Herón de Alejandría, 94, 224, 249
Herschel, J. F., 74, 285, 287
Herschel, W., 99
Hertz, H., 169, 188
Hilger, A., 52, 59, 315, 316, 318, 327
Hire, P. de la, 72
Hittorf, J. W., 124
Holtz, W., 118, 147
Hooke, R., 71, 72, 78, 107, 226, 240, 263, 317
Hopkins, T., 75
Hughes, D., 189
Huygens, C., 71, 93, 95, 97, 249, 252, 259, 320, 338

I

Instituto Geográfico y Catastral, 62, 280
Instituto Leonardo Torres Quevedo, 61, 62

J

Jamin, J. C., 316
Joule, J. P., 101, 157
Joly, J., 102

K

Kater, H., 44, 252, 261
Kelvin, Lord
Véase Thomson, W.
Kepler, J., 211
Kinnersley, E., 121
Kircher, A., 94, 329
Kirchhoff, G. R., 196, 286, 307
Klebs, E. T. A., 288
Kleist, E. J. von, 118
Koch, H. H. R., 288
Koenig, K. R., 18, 54, 55, 57, 74-76, 80, 86, 88, 89
Kohl, M., 54, 59, 83-85, 102, 109, 154, 172, 179, 182, 184, 319, 320
Kolhlrausch, F. W. G., 125, 147
Krüss, A., 311

L

Laboratorio Eléctrico Sánchez, 61, 62
Lagrange, J. L., 72, 73, 227, 251
Laguna de Rins, A., 61
Lambert, J. H., 99
Landolt, H. H., 325
Lane, T., 121, 142
Laplace, P. S., 73, 98, 101, 105, 251
Laurent, L. L., 290
Lavoisier, A. L., 98, 105, 337
Le Roy, J. B., 120
Leibniz, G. W., 249, 250
Leitz, E., 50, 288
Lenoir, E., 336
Lerebours, N. J., 56
Lerebours, N. M. P., 54-56, 241, 321, 296
Lerebours et Secretan, 54-56, 289, 317, 321, 323
Leslie, J., 57, 98, 100, 110
Leybold, 18, 54, 59, 82, 85, 105, 131, 175, 188, 202, 236, 264, 312, 329
Leydig, F., 288
Libes, A., 291
Lippich, F. F., 325
Lissajous, J. A., 51, 74, 78, 83, 262
Lister, J. J., 288
Lodge, O. L., 169, 170, 188
Lorentz, H. A., 195
Luc, J. A. de, 270, 271
Lumière, 55
Lummer, O., 51, 311, 313

M

Madrazo, F. de, 46
Malus, E. L., 285
Marconi, G., 170
Maricourt, P. de, 207, 208, 210, 211
Mariotte, E., 35, 56, 228, 230, 237, 240, 241
Marloye, A., 57-59, 75, 78
Mather, T., 179, 180
Maxwell, J. C., 120, 166-169, 188, 195, 196
Mechain, P. F. A., 336
Melloni, M., 44, 57, 100, 112, 310
Mermet, 308
Mersenne, M., 71, 72, 99, 269
Meurand, 38, 58, 59, 215
Michelson, A. A., 51, 52, 290, 314-316, 318
Moles, E., 30
Moll, W. J. H., 100, 111
Morley, E. W., 290, 315
Morse, S. F., 45, 51, 190, 191
Mossy, A., 271
Moyano, C., 22, 24, 40, 46, 101
Muirhead, A., 188
Müller, W. 202, 203
Müller, J., 288
Musschenbroek, P. van, 96, 118, 132, 250

N

Nachet, 289
Navier, C. L. M. H., 228
Negretti, 61
Nernst, H. W., 289
Newcomen, T., 97
Newton, I., 47, 72, 93, 95, 115, 212, 227, 249-251, 263, 283, 286, 300, 301, 317, 336
Nicholson, W., 123
Nicol, W., 50, 287, 324, 325
Nobili, L., 57, 100, 163, 174
Nollet, J. A., 117, 119, 250, 253, 291, 293
Nollet, F., 165
Norman, R., 209, 210
Nörremberg, C., 322

O

Oberhaüser, G., 57. 302
Oersted, H. C., 162, 163, 171, 174, 191

Officine Galileo, 54, 59, 87, 88, 156, 157, 261, 265, 317
Ohm, G. S., 73, 74, 120, 146
Orfila, M., 42
Orovio, M. de, 27

P

Paalzow, 319
Pacisa, 60, 61
Palacios Martínez, J., 28
Papin, D., 97, 106, 107
Pascal, B., 225, 228, 233, 242
Pasteur, L., 288
Paula Martínez, F. de, 46
Pauli, W., 197
Paulsen, 310
Pellat, H., 175
Pellin, P. F., 50, 55, 58, 299, 310, 311, 317, 346
Peregrinus, P.,
Véase Maricourd, P. de
Pérez Arcas, L., 46
Pérot, J. B. G. G., 315, 316
Petit, A. T., 44, 52, 96, 97, 104, 105
Picard, J., 123
Picart, A., 303, 307
Pidal, P. J., 21-23, 39, 41, 43
Pinet, L., 55, 81
Pitágoras, 69
Pixii, 42, 47, 55-57, 111, 165, 184, 253, 257
Planck, M., 196, 197
Plateau, J. A., 245
Plücker, J., 124
Poggendorff, J. C., 147, 163
Poincaré, J. H., 251
Poisson, S. D., 101, 251
Pollender, F., 288
Popov, A. S., 170
Pouillet, S. M., 163
Poulenc Frères, 58
Powell, H., 288
Priestley, J., 71, 116, 120
Pulfrich, C., 299, 314

Q

Quincke, G. H., 74, 89
Quintana, M. J., 21
Quintero, G., 48

R

Ramsdem, J., 302
Réaumur, R. A. F. de, 95, 243, 271
Recarte, 61
Regnault, H. V., 44, 104, 240, 276, 277
Reichert, 288
Reis, J. P., 189
Rementería, M. de, 43-45
Riba, F. de la, 36
Richard, J., 51, 58, 59, 328
Richard Frères, 18, 51, 58, 59, 272
Richmann, 105
Rico y Sínobas, M., 45, 273
Ritchie, W., 312
Ritter, J. W., 99
Rivas, N., 21
Rohrbeck, W. J., 243
Roller, J., 79, 80
Röntgen, W. C., 125, 152
Ross, A., 288
Rostriaga, C., 44
Rousseau Hnos., 43
Rüdorff, 312
Rueprecht, A., 337, 340, 341, 343, 344
Rühmkorff, H. D., 45, 58, 124, 164, 187
Rumford, conde de, 57, 110
Véase también, Thompson, B.
Rutherford, E., 50, 197
Rutherfurd, L. M., 289

S

Safi al-Din, 70
Salleron, J., 54, 55, 244
Sánchez, M., 61, 154, 155
Sanctorius, 94
Santisteban, M., 35, 45, 273
Sanz del Río, J., 22, 27
Saussure, H. B., 47, 271
Sauveur, J., 71
Savart, F., 44, 72, 73, 75, 78, 162, 163
Saxton, J., 165, 184
Schott, G., 237
Schrödinger, E., 198
Schweigger, J. S. C., 163, 171, 174
Secretan, M. F. L., 56, 75
Seebeck, L. F. W. A., 73
Seebeck, T. J., 100, 112, 156, 157
'sGravesande, W. J., 34, 35, 44, 95, 250, 256, 296
Short, J., 284
Siedentopf, H. F. W., 304
Siemens, W. von, 165
Sigaud de Lafond, J. A., 293
Silbermann, J. T., 45, 97, 106
Smith, J., 288
Soemmerring, S. T., 303
Soleil, J. B. F., 50, 55, 56, 58, 286, 289, 320, 321, 326
Sommerfeld, A., 197
Stevin, S., 225, 257
Sturgeon, W., 164

T

Tales de Mileto, 115
Taller de Mecánica, 29, 32, 61, 62, 128, 137, 140, 142, 144, 173, 174, 182, 216, 260, 262
Taylor, B., 72
Tesla, N., 170, 183
Thénard, P., 242
Thinsley & Co., 54
Thompson, B., 98, 99, 109
Thomson, J. J., 124
Thomson, W., 142, 146, 149, 164, 165, 167, 177
Tonnelot, J., 58, 102, 103
Torricelli, E., 225, 232
Tyndall, J., 99, 111

V

Velasco, 30
Velayos, S., 28
Vernet, J., 21, 23, 292
Veyter Alcain, 43
Vidie, L., 239, 272, 276
Volta, A., 47, 115, 118, 121-123, 127, 143, 161

W

Wagner, B. H., 58
Waitz, J. H. von, 120
Watt, J., 97, 108
Weber, E. H., 74
Weber, W. E., 73, 163, 212, 220
Websky, C. F. M., 306
Wedgood, J., 57, 98, 111
Weston Electrical Instrument Corporation, 314
Wheatstone, C., 78, 125, 145-147, 150, 163, 191
Wien, W., 124
Wilcke, J. C., 94, 96, 105
Wilde, H., 165
Wilson, C. T. R., 200
Wimshurst, J., 63, 118, 129, 130
Winkler, J. H., 118
Wolff, O., 50
Wollaston, W. H., 144, 286, 300, 306
Wright, A., 313

Y

Young, T., 100, 101, 251, 284, 285
Yukawa, H., 197

Z

Zeeman, P., 327
Zeiss, C., 54, 59, 288, 304, 314, 319, 329

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

(Número de figura, título y procedencia)

ACÚSTICA

5.- Placas de Chladni.- A. Guillemín, *El mundo físico,* Barcelona: Montaner y Simón Editores, 1882-84, 5 Tomos, tomo 1, pp. 323

6.- Tubo manométrico y espejo giratorio.- *Ibid.*, tomo 1, p. 339

8.- Timbre sonoro.- *Ibid.*, tomo 1, p. 292

10.- Sonómetro.- *Ibid.*, tomo 1, p. 319

22.- Parábolas de reflexión.- *Ibid.*, tomo 1, p. 278

24.- Diapasón cronográfico.- *Ibid.*, tomo 1, p. 306

26.- Figuras de Lissajous.- *Ibid.*, tomo 1, p. 335 y Ganot, A., *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología,* Madrid: Librería de Gregorio Hernando, 1877, p. 208

CALOR

40.- Marmita de Papin.- *Ibid.*, tomo 4, p. 94

41.- Aparato de Tyndall.- Ganot, A., *op. cit.* p. 376

42.- Banco de Melloni.- *Ibid.*, p. 344

50.- Aparato de Dulong y Petit para determinar la dilatación absoluta del mercurio.- - Guillemín, *op. cit.*, tomo 4, p. 47

55.- Calorímetro de Favre y Silbermann.- Ganot, *op. cit.*, p. 330

ELECTRICIDAD

68.- Máquina de Nollet.- Nollet, J. A., *Essai sur l'electricité des corps,* 2ª ed., París: Chez les Frères Guerin, 1753, p. 24

69.- Experiencia de Leiden.- *Ibid.*, p.216

72.- Manejo del electróforo.- Guillemín, *op. cit.*, tomo 3, p. 84

75.- Esquema para la teoría de la máquina de Wimshurst. - Escriche y Mieg, T., *Elementos de física y nociones de química,* Barcelona: Antonio J. Bastinos, 1891, p. 391

81.- Botella de Leiden de armaduras móviles.- Guillemín, *op. cit.*, tomo 3, p. 105

87.- Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores.- *Ibid.*, tomo 3, p. 75

88.- Distribución de la electricidad en la superficie de una esfera hueca y en la "jaula de Faraday".- *Ibid.*, tomo 3, p. 76

95.- Excitador universal.- *Ibid.*, tomo 3, p. 108

110.- Experiencia de Galvani.- Baille, J. *L'Électricité,* París: Librairie Hachette et Cie, 1878, p. IV

141.- Disposición radioscópica.- Laboratorio Eléctrico Sánchez, *Instrucciones para el manejo y técnica de utilización del aparato generador de rayos X Sánchez y corrientes de alta frecuencia,* Piedrabuena, 192?, p. 31

142.- Técnica de la demostración del tubo vacuo.-: *Ibid.*, p. 52

144.- Técnica de la demostración de los efectos de autocondensación.- *Ibid.*, p. 45

ELECTROMAGNETISMO

150.- Mesa de Ampère. -*Électricité a l'exposition universelle internationale de 1900, à Paris,* Musée rétrospectif du groupe V, rapport du Comité d'installation, 1900, p. 58

151.- Máquina de Pixii. -Guillemín, *op. cit.*, tomo 3, p. 175

155.- Rotación de un circuito móvil por la acción de otro fijo circular.- *Ibid.*, tomo 3, p. 152

166.- Galvanómetro de reflexión de Thomson: sección y manejo del aparato.- *Ibid.*, vol. 3, p. 148

185.- Inducido de Gramme.- Ribera, J.; Nacente, F. y Soler, P., *Física industrial: física aplicada a la industria, la agricultura, artes y oficios,* Barcelona: J. Roma, 1895, 3 vols., vol. 3, lám. 232, fig. 234

186.- Sección del inducido de Gramme.- *Ibid.*, vol. 3, lám. 232, fig. 237

189.- Detalle de una descarga en el carrete Rühmkorff.- Ganot, *op. cit.*, p. 754

198.- Telégrafo de cinco agujas.- Guillemín, *op. cit.*, tomo 3, p. 254

199.- Telégrafo de una aguja: manipulador y receptor.- *Ibid.*, tomo 3, p. 245

MAGNETISMO

209.- Mapa de la líneas isógonas o de igual declinación en la superficie de la Tierra. - Ribera, J. et al., *op. cit.*, vol. 3, lám. 193, fig. 57

210.- Proyección polar de los meridianos magnéticos.- *Ibid.*, vol. 3, lám. 193, fig. 58

211.- Variación de la posición de la aguja de una brújula de inclinación.- *Ibid.*, vol. 3, lám. 190, fig. 17

MECÁNICA DE FLUIDOS

223.- Hidráulica e hidrostática: Ilustración de un texto del s. XVIII.- Chambers, E., *Dizionario Universale delle Arti e delle Scienze,* Venecia: Giambatista Pasquali: 1748, 10 vols., vol. de ilustraciones tabla. I, figs, 1-9

224.- Bomba pneumática de Boyle.- Obra desconocida, c. 1740

225.- Ilustraciones de instrumentos de mecánica de fluidos en un texto del siglo XVIII.- Almeida, T., *Recreación filosófica,* Madrid: Imprenta de la Viuda de Ibarra, 1785-1786, 6 vols., vol. 3, estampa 3

227.- Frasco de Mariotte.- Ganot, *op. cit.*, p. 161

230.- Fuente de vacío.- Nollet, J.A. *Leçons de physique expérimentale,* París, 1745-1748, vol. II, p. 338

233.- Ludión.- Ganot, op. cit., p. 79

235.- Molinete hidráulico.- Guillemín, *op. cit.*, tomo I , p. 58

244.- Hemisferios de Magdeburgo.- Ganot, *op. cit.*, p. 102

247.- Manómetro de cubeta profunda.- *Ibid.*, p. 120

261.- Capilaridad.- González Martí, *op. cit.*, p. 205

MECÁNICA DE SÓLIDOS

263.- Ilustración de la obra de J. A. Nollet, *Leçons, op. cit.*, vol. III, p. 98

272.- Cuña de 'sGravesande.- *Ibid.*, vol. III, p. 124

286.- Péndulo doble.- Max Kohl, *Catalogue nº 22. Appareils de Physique,* Chemnitz, 1905, p. 159, fig 530

291.- Martillo de agua.- Guillemín, *op. cit.*, tomo I, p. 38

296.- Representación de ondas.- Escriche y Mieg, *op. cit.*, p. 249

METEOROLOGÍA

297.- Anemómetro.- Chambers, *op. cit.*, tabla. V, fig. 17
298.- Temperaturas medias anuales de España.- Rico, M. y Santisteban, M., *Manual de física y química*, Madrid, 1865, p. 311
299.- Mapa de isotermas.- *Ibid.*, p. 310
300.- Forma de la nieve.- *Ibid.*, p. 325

ÓPTICA

311.- Imágenes dobles de objetos vistos a través de espato de Islandia.- Guillemín, *op. cit.*, vol. 2, p. 139
312.- Figuras de difracción en los anteojos astronómicos según J. Herschel.- *Ibid.*, vol. 2, p. 129
313.- Espectro de las manchas solares.- *Ibid.*, vol. 2, p. 83
314.- Banco óptico.- Jamin, M., *Cours de Physique*, París, 1886, tomo III, Fascículo 2º, plancha I
319.- Lente de Fresnel.- Guillemín, *op. cit.*, p. 218
328.- Anamorfosis.- *Ibid.*, p. 52
339.- Espejos para la recomposición de la luz blanca.- Ganot, *op. cit.*, p. 452
358.- Análisis espectral.- Guillemín, *op. cit.*, p. 79
367.- Fotómetro Bunsen.- *Ibid.*, p. 173
382.- Anillos de Newton.- *Ibid.*, pp. 131-133
404.- Luz polarizada en vidrios templados.- *Ibid.*, p. 151
407.- Ilustración de los ejes de un cristal.- Feliú y Pérez, B., *Curso elemental de física experimental y aplicada*, Barcelona: Imprenta de Jaime Jepús, 1890, p. 393

PESAS Y MEDIDAS

416.- Martín, M., *El nuevo sistema legal de pesas y medidas (portada)*, Madrid: imprenta de J. Martín Alegría, 1853 (7ª ed.)
419.- Certificado del "Bureau International des Poids et Mesures" para las pesas patrón (95/31/625)

ISBN 84-369-3291-9
9 788436 932911

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
CULTURA Y DEPORTE