



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA

## MEMORIA DE RESULTADOS

Código del proyecto: ID2014/0227

# Exposición de aparatos de medida de los laboratorios de Física.

### Responsables:

**María Jesús Martín Martínez**

**José Miguel Mateos Roco**

**Jose Ignacio Iñiguez de la Torre y Bayo**

**Enrique Conejero Jarque**

**Francisco Javier Iglesias Pérez**

**Eliecer Hernández Gajate**

**Marina de la Torre Mayado**

**Departamento de Física Aplicada, departamento de Física Fundamental y Facultad de Ciencias**

**Universidad de Salamanca**

**Plaza de la Merced S/N, 37008**

**17 de Junio de 2015**

## INFORME FINAL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

### TÍTULO:

Exposición de aparatos de medida de los laboratorios de Física

REFERENCIA: ID2014/0227

### PDI RESPONSABLE:

MARIA JESUS MARTIN MARTINEZ

### CENTRO:

DEPARTAMENTOS DE FISICA APLICADA Y FISICA FUNDAMENTAL, FACULTAD DE CIENCIAS.

### MIEMBROS DEL EQUIPO:

MARÍA JESÚS MARTÍN MARTÍNEZ  
JOSE MIGUEL MATEOS ROCO  
JOSE IGNACIO IÑIGUEZ DE LA TORRE Y BAYO  
ENRIQUE CONEJERO JARQUE  
FRANCISCO JAVIER IGLESIAS PEREZ  
ELIECER HERNANDEZ GAJATE  
MARINA DE LA TORRE MAYADO

### DURACIÓN:

CURSO ACADÉMICO 2014/15

### SUBVENCIÓN CONCEDIDA:

315 €

## 1. Objetivos y consideraciones

Este proyecto de innovación docente se enmarca dentro de las acciones de Captación de estudiantes y mejora de titulaciones en el título de Grado en Física en los que participan los Departamentos de Física Aplicada y Física Fundamental junto con la Facultad de Ciencias.

El objeto del presente proyecto es la promoción y difusión de los estudios de Física (tanto de Grado como de Máster) de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca, aumentando la visibilidad del título de Grado en Física (y de manera secundaria el del Master) mediante el diseño de una exposición donde se muestren las técnicas y los instrumentos de medida utilizados en el pasado para impartir las diferentes asignaturas de esta titulación. De esa forma se espera atraer un número adecuado de estudiantes con un perfil idóneo interesados en inscribirse en el Grado.

### 1. Fase Previa

1.a Realización de un inventario: Durante los meses de Noviembre de 2014 a Marzo de 2015 se ha realizado un inventario documental exhaustivo de todo el material que es



susceptible de formar parte de la exposición. El inventario cubre diferentes aspectos descriptivos de cada pieza, (nombre y materia del objeto, dimensiones, dimensiones la pieza, fabricante, fecha aproximada de realización, fotografías, tipo de medida que realiza, principio físico en el que se basa,...).

Hemos realizado una clasificación de las mismas en función del tipo de medida que realizan o la especialidad de la física con la que están relacionadas de modo que nos permita realizar una organización en la exposición en función de las diversas categorías. Diferentes miembros de las áreas de conocimiento de física (Departamentos de Física Aplicada, Física General y de la Atmósfera y Física Fundamental) se han involucrado en la búsqueda y selección del material, dado que el material en la actualidad se encontraba disperso en diferentes laboratorios de prácticas, armarios o incluso en despachos de algunos profesores. Las personas que han realizado el trabajo son las siguientes:

- D. Jose Ignacio Iñiguez de la Torre y Bajo (área de Electromagnetismo)
- María Jesús Martín Martínez (área de Electrónica)
- José Miguel Mateos Roco (área de Física Aplicada)
- Enrique Conejero Jarque, Ana García González (área de Optica)
- Francisco Javier Iglesias Pérez y Maria Jesús Santos Sanchez (área de Física Aplicada)
- Eliecer Hernández Gajate (área de Física Atómica, Molecular y Nuclear)
- Marina de la Torre Mayado (área de Física Teórica).
- Fernando Atrio Barandela (área de Física Teórica)
- Fernando de Pablo Dávila (área de Física General y de la Atmósfera)

3.1.b. Durante el periodo Marzo-Mayo 2015 se ha valorado, dentro del completo inventario realizado, cual es el material seleccionado para formar parte de la exposición. Exposición que nos planteamos que sea una exposición permanente.

## 2. Desarrollo del proyecto

La exposición va a desarrollarse en el Claustro del Colegio Trilingue.

2.a. Espacio de Cultura Científica. Selección de las vitrinas, paneles informativos

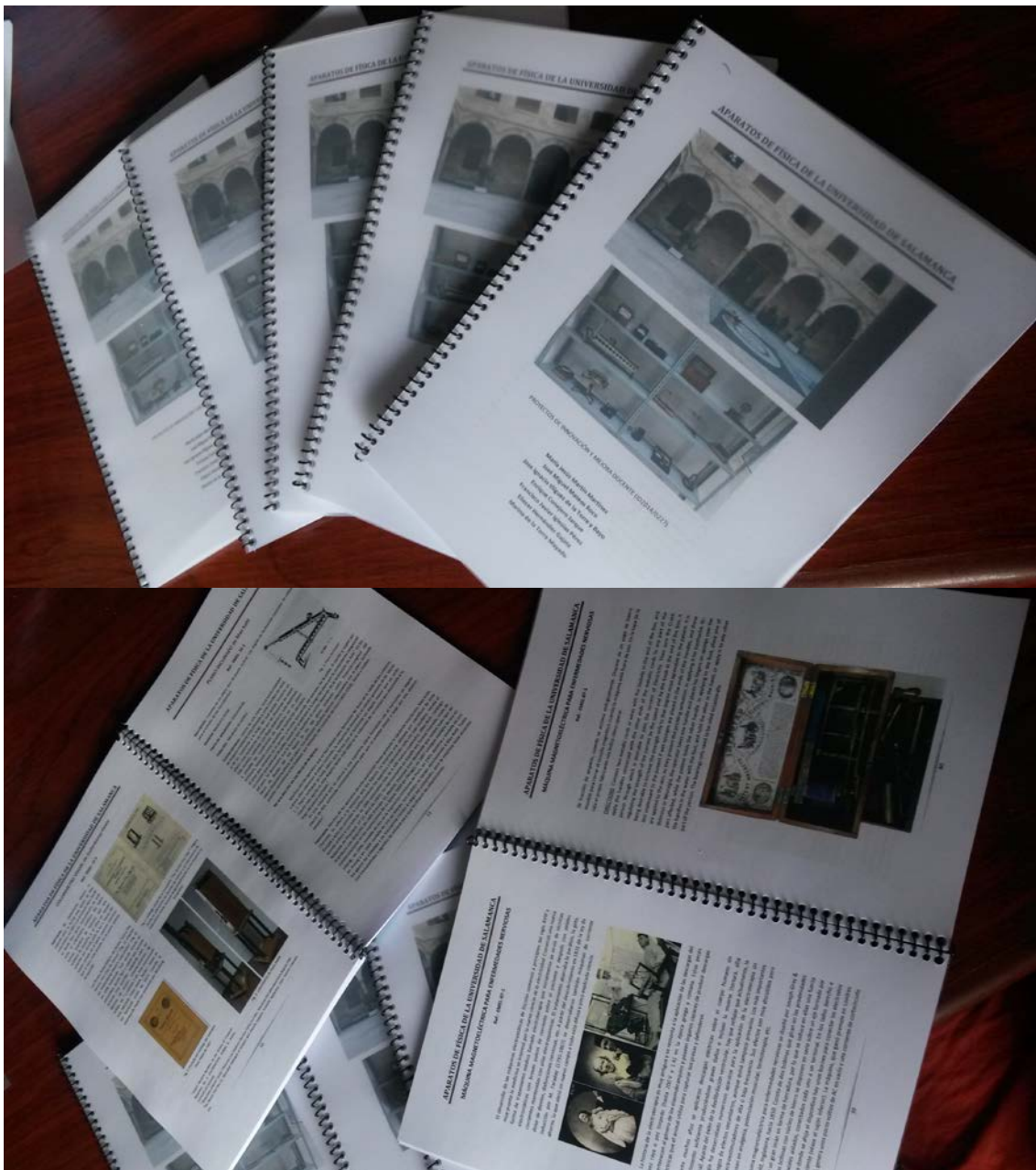
En el mes de Marzo de 2015 hemos contactado con el Espacio de Cultura Científica (en particular con Miguel Battaner). Este Espacio tiene tres grandes objetivos

- Mostrar trabajos de investigadores que se realizan en la USAL por medio de exposiciones
- Mediante el festival de Primavera Científica (desde 2015) se están fomentando las vocaciones científicas en todos los ciclos formativos
- Recuperación y puesta en valor del patrimonio científico de la Universidad de Salamanca.

Cuando hemos contactado con el Espacio de Cultura Científica comentando la idea de este proyecto, además de alabar la iniciativa han pensado que dicho Proyecto de exposición de material de laboratorio de Físicas encaja adecuadamente con el objetivo de Recuperación del Patrimonio Científico de manera global para toda la Universidad (y en particular con motivo del octavo centenario) que pretenden impulsar. Por ello, desde este Espacio se va a asumir por completo el diseño, fabricación, instalación de las vitrinas, realización de cartelería (diseño de paneles informativos, textos introductorios de cada pieza, folletos de publicidad, etc.), realizar una plataforma web que dé cabida a todo el material que vaya estando disponible a la vez que se creará un catálogo general de libre acceso (on-line) en el que aparezca reflejado el trabajo de los investigadores.

Debido a que la primavera científica 2015 incluye una gran variedad de eventos, se decidió post-poner el comienzo de la exposición de Mayo-Junio 2015 (como inicialmente estaba planteada) hasta Septiembre de 2015. De ese modo pensamos que también tendrá una mayor visibilidad con el comienzo del nuevo curso académico 2015-2016. El espacio de Cultura Científica se preocupará del montaje de la exposición, debemos reunirnos durante el mes de Julio para tomar medidas de los instrumentos y pasar a la fase de diseño de las vitrinas.

2.b. Trabajo científico: el grupo de trabajo de los profesores anteriormente mencionados de la Facultad de Ciencias (Sección Físicas) que forma el presente Proyecto de Innovación ha quedado emplazado en completar la parte científica de la exposición (seleccionando el material y realizando las fichas de cada uno de los instrumentos), es por ello que durante los meses de Febrero a Mayo se ha realizado un arduo trabajo para confeccionar fichas "standard" de dos páginas para cada uno de los 37 instrumentos elegidos con gran variedad de información (historia, principio físico, características, fabricante, aplicaciones, curiosidades, fotografías) que han sido incorporadas a un documento, Guía de Instrumentos de Físicas, que se incluye en el Anexo I. Dicho Anexo ha sido repetidamente revisado para que todas las fichas estén correctamente impresas y resulten legibles para un público adecuado que pueda acceder a la exposición. Además de la impresión de las fichas y sus revisiones, se ha realizado la impresión de 5 ejemplares de libretos de la exposición (impresos a tamaño A5, de 75 páginas cada uno) para publicitar la labor desarrollada y facilitar la selección y mostrado de materiales una vez se realice el montaje. Por ello se ha realizado una compra de material fungible (toners de impresora) por valor aproximado de 144 €.





2.c . Unidad técnica: debemos destacar que hemos sido asesorados por Rosa Rueda Corral de la Unidad Técnica de la Universidad de Salamanca acerca de la ubicación de las vitrinas, en las diferentes etapas de la exposición. Las vitrinas van a situarse en las paredes perimetrales, en los huecos entre las diferentes aulas para no resultar un obstáculo en el paso de los alumnos. El primer año se va a proceder al montaje de dos grandes vitrinas (de 2.5 metros de ancho y 2 de alto) situadas al fondo del Claustro del edificio (puerta opuesta a la del Hall de Entrada), donde se expondrán los 12 o 15 instrumentos más representativos de la realizada Guía de Instrumentos de Físicas.



Figura 2. Lugar escogido para la situación de las vitrinas

### 3. Exposición en funcionamiento.

Como hemos comentado previamente, la exposición está prevista para estar abierta al público durante los meses de Septiembre-Octubre de 2015.

El diseño de las vitrinas que va a escogerse va a ser un diseño sencillo, e inicialmente se plantea colocar únicamente dos grandes vitrinas que nos permitan ver cómodamente los objetos seleccionados. Las vitrinas se realizarán con un soporte en madera y con cúpula de cristal (con cerradura, que permita el modificar la situación de los mismos), la parte posterior de las vitrinas llevará carteles diseñados ex profeso para la exposición. El anclaje de las vitrinas se realizará al suelo de granito según nos han asesorado desde el equipo técnico de la Universidad.

El objetivo final que nos planteamos es obtener una exposición que cumpla unas determinadas características, que muestre la aplicación y la evolución histórica de diferentes técnicas de medida. Además, en la medida de lo posible intentaremos complementar las visitas organizadas con diferentes sesiones de medida en los diferentes laboratorios de modo que los alumnos puedan comparar las técnicas de medida que se muestran en la exposición con las técnicas de medida actuales. De esa manera completando los programas actuales de la Facultad de Ciencias (Físicas) como son el Laboratorio de láseres y las Conferencias de divulgación científica.

### 4. Conclusiones

Esperamos que la existencia de dicha exposición, desde Septiembre de 2015, posibilite también otro objetivo planteado a medio y largo plazo, que es la inclusión de la misma en las actividades de la Fundación de Salamanca Ciudad de Cultura y Saberes de los Curso 2016-2017 en adelante, dentro del

apartado Actividades Escolares (Cultura Científica) de modo que podamos ofrecer a los alumnos de los últimos años de Educación Secundaria, Bachillerato, Ciclos Formativos y otras universidades (en el caso del Master en Física) la posibilidad de conocer la aplicación y la evolución histórica de diferentes técnicas de medida. Al mismo tiempo nos facilitará una visita más completa al claustro del edificio de físicas de la Facultad de Ciencias junto con el péndulo de Foucault al tiempo que permite aumentar la participación y el interés del alumnado.

## 5. Justificación económica

Presupuesto solicitado

Concepto	solicitada en la convocatoria	GASTOS
Vitrinas	300	de el coste Cultura Científica
Panelería informativa	200	de el coste Cultura Científica
Material Fungible (toners)	200	143.97
<b>SUMAS TOTALES</b>	<b>500</b>	143.97

Presupuesto concedido

315 €

Presupuesto gastado

143.97 €

Debido al hecho que Cultura Científica asume el coste de las Vitrinas y de la Panelería informativa, únicamente hemos necesitado equipos informáticos y consumibles para la realización de este proyecto e imprimir las fichas de los diferentes instrumentos y los libretos de la exposición.

# APARATOS DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA



PROYECTOS DE INNOVACIÓN Y MEJORA DOCENTE (ID2014/0227).

**María Jesús Martín Martínez**  
**José Miguel Mateos Roco**  
**Jose Ignacio Iñiguez de la Torre y Bayo**  
**Enrique Conejero Jarque**  
**Francisco Javier Iglesias Pérez**  
**Eliecer Hernández Gajate**  
**Marina de la Torre Mayado**

## APARATOS DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

1. BRÚJULA DE TANGENTE	1
2. MEDIDOR DE DECLINACIÓN E INCLINACIÓN MAGNÉTICAS	3
3. GALVANÓMETRO VERTICAL DE DC PARA DEMOSTRACIONES	5
4. GALVANÓMETRO MAGNETOELÉCTRICO DE ESPEJO	7
5. PILAS PATRÓN TIPO WESTON	9
6. GENERADOR DE AC A MANIVELA	11
7. MOTOR EDDY	13
8. PUENTES DE DC	15
9. PUENTE DE DC y AC	17
10. PUENTE UNIVERSAL DE AC	19
11. TRANSFORMADOR DE MEDIDA DE INTENSIDAD	21
12. VOLTÍMETRO DE DC DE 1900	23
13. MEDIDORES ELÉCTRICOS EN CAJA DE MADERA	25
14. MEDIDORES ELÉCTRICOS	27
15. MULTÍMETROS	29
16. FLÚXMETRO	31
17. ELEMENTOS R L C	33
18. BOBINA DE RUHMKORFF	35
19. PÉNDULO MAGNÉTICO	37
20. MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA PARA ENFERMEDADES NERVIOSAS	39
21. AZ11 DIODO	41
22. EM11 TRIODO (OJO MAGICO)	43
23. RECEPTOR TELEGRAFO MORSE	45
24. EL11 Pentodo	47
25. COLORIMETRO VISUAL Gallenkamp-Heele	49
26. PLANO INCLINADO de Max KOHL	51
27. Láser HeNe	53
28. MUESTRAS DE VIDRIO	55
29. TUBOS FLUORESCENTES	57
30. TELESCOPIO MAX KOHL	59
31. NIVEL DE LATON	61
32. BALANZA MAX KOHL	63
33. BALANZA PRECISION	65
34. OSCILOSCOPIO COSSOR	67
35. BALANZA GRANATARIA	69
36. EQUIV. MEC. CALOR	71
37. METODO RUCHARDT	73
38. Agradecimientos	75

## BRÚJULA DE TANGENTES

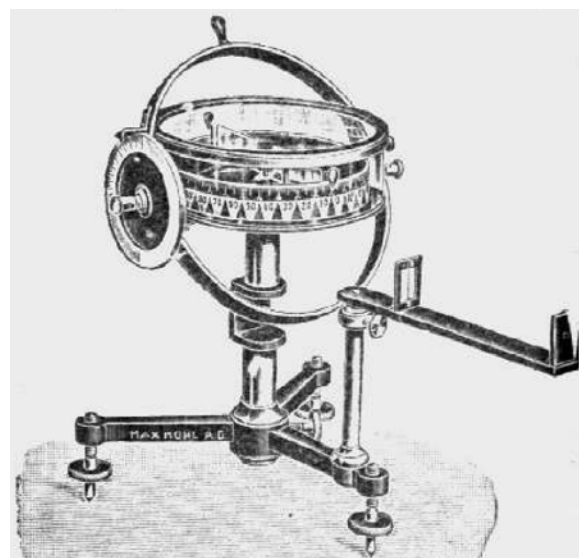
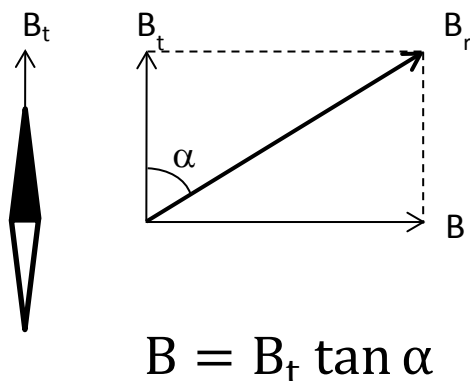
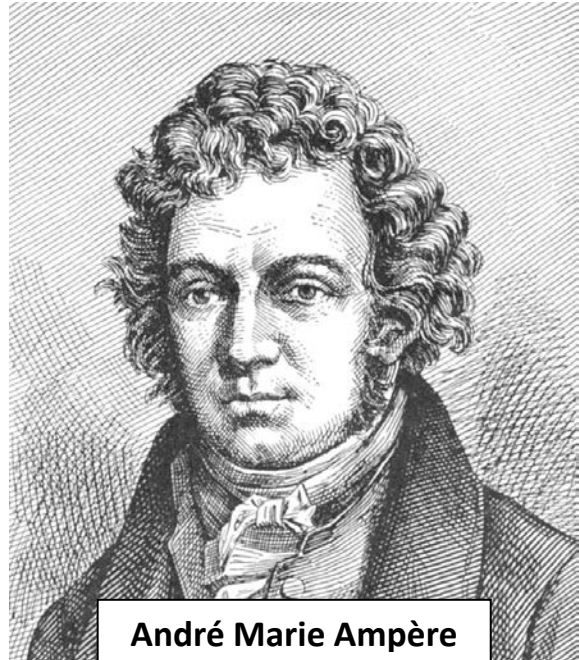
Ref.- EMEL-01-1

La empresa Max Kohl A. G., fundada en 1876, en Chemnitz, Alemania, desarrolló un extenso catálogo de material de laboratorio en la práctica totalidad de las áreas de la física y la química.

Mostramos aquí una brújula de tangentes fabricada por esta empresa. Se diseñó originariamente para medir la componente horizontal del campo magnético terrestre. Para ello basta alimentar la espira abatible de latón colocándola verticalmente y orientada de forma que contenga en su plano la brújula.

Conocido el campo magnético creado por una espira de intensidad  $I$  y radio  $R$  en su centro,  $B = \mu_0 I / 2R$ , y dado que el tamaño

de la brújula situada (dipolo magnético) debajo de la aguja indicadora y solidaria con ella es muy pequeño, es sencillo obtener el valor del campo buscado a partir de la tangente del ángulo de deflexión. Fue ésta precisamente la idea de A. M. Ampère (1775-1836), que inventó el galvanómetro en 1824 dando así origen al estudio preciso de distintos fenómenos electrodinámicos, como son las fuerzas entre circuitos recorridos por corrientes estacionarias y las fuerzas entre corrientes y sustancias imanadas.





## BRÚJULA DE TANGENTES

Ref.- EMEL-01-1

Con el fin de agilizar la medida, la oscilación de la aguja está amortiguada (como en la mayoría de las brújulas de bolsillo) aerodinámicamente gracias a una lámina transparente situada sobre ella. Para facilitar su lectura dispone de una escala graduada en grados sexagesimales y un visor. La espira de latón incluye una conexión en el punto medio para comparar en su caso las intensidades en ambas semiespiras. Además lleva un limbo graduado que permite leer la inclinación de la espira de latón y así variar cómodamente la componente horizontal (coseno) del campo magnético asociado a ella.

Recíprocamente, una vez calibrado el instrumento para un cierto valor de campo magnético terrestre, se podía utilizar para medir intensidad de corriente y en ese caso se denominaba galvanómetro de tangentes (y también galvanómetro de cosenos si la espira era abatible).

El galvanómetro de tangentes es robusto y preciso, y más cómodo y versátil que los galvanómetros magnetoeléctricos de espejo, reservados para medir corrientes muy débiles, que no fueron desarrollados hasta muchos años después. Fue Jacques-Arsène d'Arsonval (1851-1940) quien alrededor de 1880 construyó el primer galvanómetro magnetoeléctrico de cuadro móvil y espejo, verdaderamente sensible pues era capaz de medir corrientes tan débiles como el  $\mu\text{A}$ .



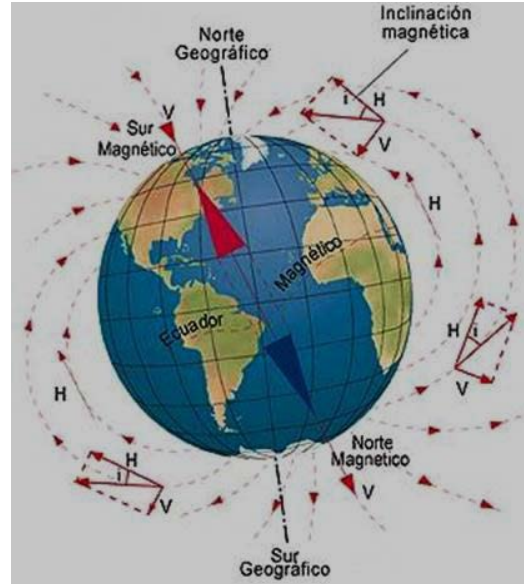


## MEDIDOR DE DECLINACIÓN E INCLINACIÓN MAGNÉTICAS

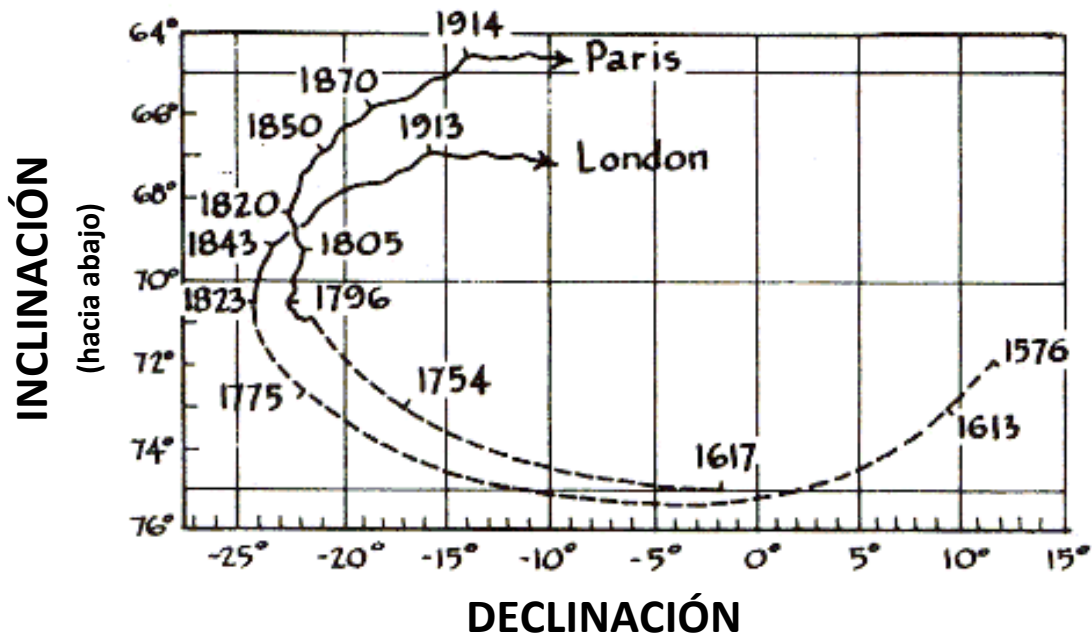
Ref.- EMEL-02-1

El estudio del campo magnético terrestre constituyó desde siempre un tema de especial atención y se diseñaron multitud de aparatos para medir sus componentes horizontal y vertical así como la declinación (desviación respecto al norte geográfico) e inclinación magnéticas (ángulo respecto a la horizontal del lugar).

El geomagnetismo había cobrado notable importancia y se sabía que el magnetismo terrestre no es estático sino que evoluciona a lo largo del tiempo. Hoy sabemos que la posición de los polos magnéticos varía, aunque el campo magnético terrestre no es simplemente dipolar.



En particular, en el observatorio de Londres se había encontrado que entre los años 1576 y 1800 la declinación magnética pasó de  $+11^\circ$  a  $-24^\circ$  y la inclinación de  $74^\circ$  a  $67^\circ$ .

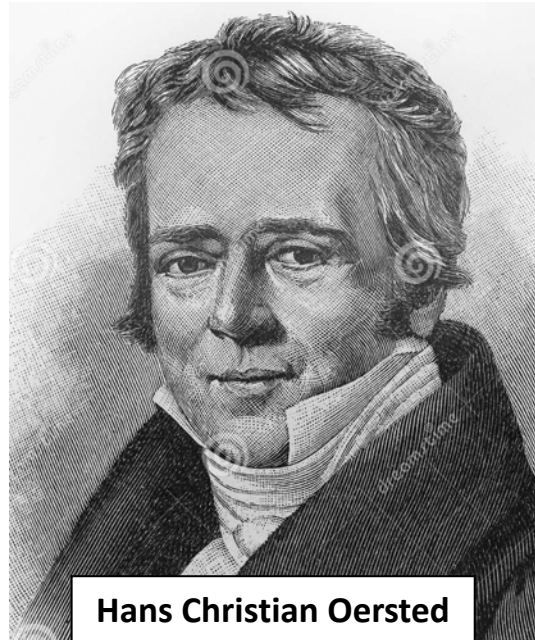


Las medidas precisas de campo magnético se efectuaban con brújula de tangentes y con medidores de declinación e inclinación magnéticas, también llamado aparatos de Oersted (1777-1851). Sin embargo los valores de los ángulos de declinación e inclinación magnéticas eran conocidos desde mucho tiempo atrás, pues para ello sólo hace falta conocer la dirección del norte geográfico y disponer de un goniómetro y un nivel de burbuja.

## MEDIDOR DE DECLINACIÓN E INCLINACIÓN MAGNÉTICAS

Ref.- EMEL-02-1

Tenemos aquí un antiguo aparato de este tipo fabricado hacia 1900 por la empresa Max Kohl A. G., fundada en 1876, en Chemnitz, Alemania. Consiste en una aguja ferromagnética imanada que puede girar libremente alrededor de un eje vertical (detectando la componente horizontal del campo terrestre) u horizontal (mostrando su dirección). La brújula está situada en el centro de una espira simple formada por dos bandas conductoras de latón que forman dos corrientes rectilíneas antiparalelas. Además de obtener con un limbo graduado los ángulos de declinación e inclinación, puede medirse la componente horizontal y el módulo del campo magnético terrestre. Para ello basta analizar el periodo de oscilación  $T$  de la brújula alrededor del eje vertical u horizontal, conociendo la



relación entre momento de inercia  $J$  y momento magnético  $\mathbf{m}$ , de acuerdo con  $T = 2\pi\sqrt{J/mB}$ . Para la componente horizontal  $B_h$  puede hacerse un estudio más detallado alimentando la espira con una corriente eléctrica que cancele esa componente, lo que se aprecia fácilmente por el comportamiento de equilibrio indiferente de la brújula, o medir  $B_h$  analizando el periodo alrededor del eje vertical, para diferentes valores de la intensidad de corriente eléctrica en la espira, es decir del campo magnético externo  $B_{ext}$ , con arreglo a la expresión  $T = 2\pi\sqrt{J/m|B_h \pm B_{ext}|}$ .



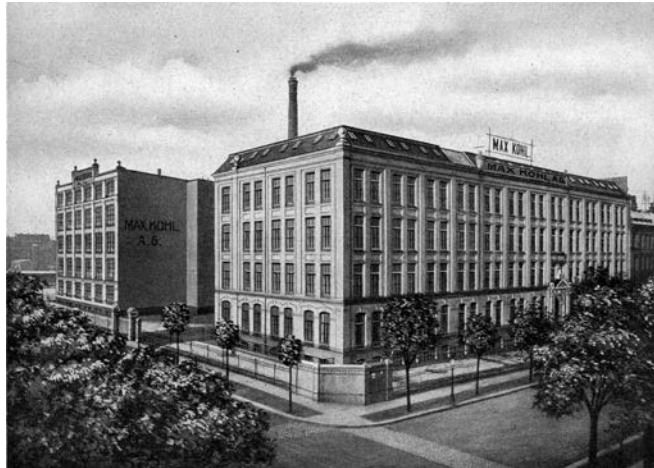
## GALVANÓMETRO DE CUADRANTE PARA DEMOSTRACIONES

Ref.- EMEL-04-1

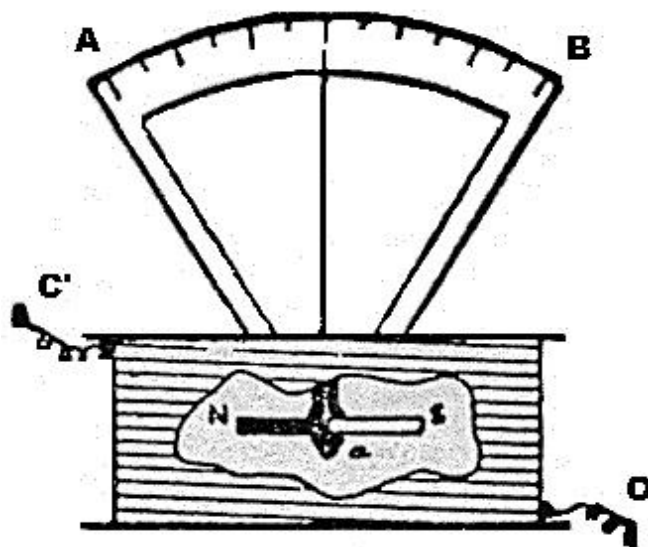
Tenemos aquí un galvanómetro de cuadrante de gran tamaño, propio de experiencias de cátedra en las que el profesor realiza un experimento ante un elevado número de estudiantes.

Fue fabricado hacia los años 1930-1940 por Max Kohl A. G. en Chemnitz, Alemania.

Es un aparato de imán móvil con eje de giro horizontal. Consta de un imán alargado de momento magnético  $\mathbf{m}$  que descansa horizontalmente en el centro de una bobina fija, siendo sus ejes perpendiculares. Solidaria con aquél y perpendicular al mismo se dispone una larga aguja indicadora. Cuando se aplica una corriente eléctrica  $I$  de DC a la bobina se genera un campo magnético  $\mathbf{B}$  vertical dirigido hacia arriba o hacia abajo según el sentido de la corriente. El imán experimenta un par de giro que trata de orientarlo paralelo a la dirección y sentido del campo magnético, girando a derechas o a izquierdas.



En muchos galvanómetros de imán móvil se aprovechaba la acción de un par antagonista producido por un muelle elástico en forma espiral para alcanzar la situación de equilibrio, pero su calibración (ángulo versus corriente) se apartaba de la linealidad. Esto es así porque mientras el par de giro es de la forma  $|\mathbf{m} \times \mathbf{B}| \propto m I \sin(\pi/2 - \theta)$ , el par recuperador elástico es  $\tau = k\theta$  siendo  $\theta$  el ángulo girado con respecto a la posición de equilibrio, sin corriente. Así pues, la escala no estaba calibrada linealmente en unidades de corriente eléctrica y en la práctica sólo valía para experiencias cualitativas. Todo ocurre como en una brújula de tangente en la que el par antagonista, antes asociado al campo magnético terrestre, se obtiene ahora mediante un muelle elástico. Este problema se solventó invirtiendo los papeles: Imán fijo y bobina móvil y disponiendo un cilindro ferromagnético en reposo como núcleo de la bobina que constituye el cuadro móvil.



## GALVANÓMETRO DE CUADRANTE PARA DEMOSTRACIONES

Ref.- EMEL-04-1

Por el contrario, en el galvanómetro de cuadrante que presentamos aquí el par antagonista está simplemente asociado a un contrapeso en la parte inferior del imán móvil de forma que en ausencia de corriente en la bobina la aguja descansa marcando el cero, en posición vertical.

Es un amperímetro muy robusto pero lento, consecuencia del elevado momento de inercia de su parte móvil, pero resulta muy adecuado para experiencias de cátedra, para realizar demostraciones en el aula o en el laboratorio, como corresponde a su gran formato.



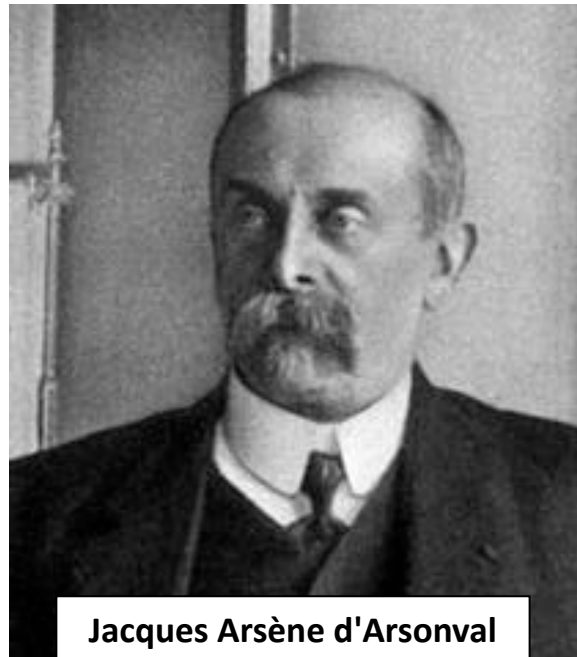


## GALVANÓMETRO MAGNETOELÉCTRICO DE ESPEJO

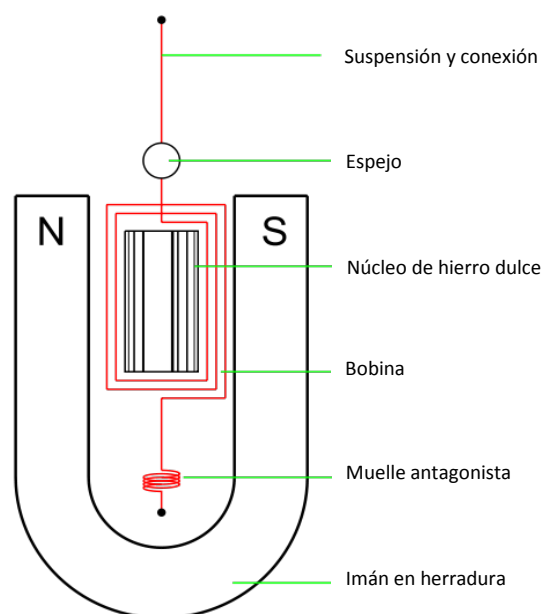
Ref.- EMEL-05-1

El modelo que se presenta está fabricado por la empresa Physikalische Werkstätten (Göttingen, Alemania), creada en 1918 y sucesora de la firma Gesellschaft zur Erforschung des Erdinnern. Posteriormente dio origen a Phywe y más recientemente a Lucas-Nülle.

El galvanómetro magnetoeléctrico fue desarrollado básicamente para la medida de intensidades muy débiles, del orden del  $\mu\text{A}$ , por Jacques-Arsène d'Arsonval (1851-1940) alrededor de 1880. Consta de un imán permanente en reposo que produce un campo magnético horizontal en cuyo seno puede girar un cuadro formado por varios cientos de espiras de hilo muy fino. El hilo de torsión del que se suspende el cuadro de la parte superior del aparato es utilizado también para su conexión eléctrica por lo que su manipulación es extremadamente delicada. Se ha previsto una suspensión rotatoria o ajuste de cero a fin de llevar la referencia de la medida a la posición angular deseada.



Con objeto de aumentar el par de giro sobre el arrollamiento y conseguir una deflexión proporcional a la corriente medida, se dispone un cilindro ferromagnético en reposo como núcleo de la bobina que constituye el cuadro móvil. Solidario con éste y muy cerca de él se puede colocar un espejo que al girar desvía el reflejo de un haz de luz sobre una regla graduada permitiendo así efectuar cómodamente la medida. En la mayor parte de los casos se diseña para tener una medida rápida y muy sensible por lo que el momento de inercia del sistema y la constante recuperadora elástica del hilo de torsión han de ser muy pequeños. Además, para acortar el tiempo de medida, el sistema debe operar en condiciones de amortiguamiento (por corriente inducida proporcional a la velocidad angular del



## GALVANÓMETRO MAGNETOELÉCTRICO DE ESPEJO

Ref.- EMEL-05-1

cuadro) débilmente subcrítico.

También es de resaltar la posibilidad de utilizarlo como medidor de carga, es decir como integrador de corriente eléctrica, lo que es especialmente aplicable a su uso como medidor de campo magnético o flúxmetro así como capacidad eléctrica. Para ello basta operar en condiciones de galvanómetro balístico, con un gran momento de inercia y par recuperador nulo.





## PILAS PATRÓN TIPO WESTON

Ref.- EMEL-06-3

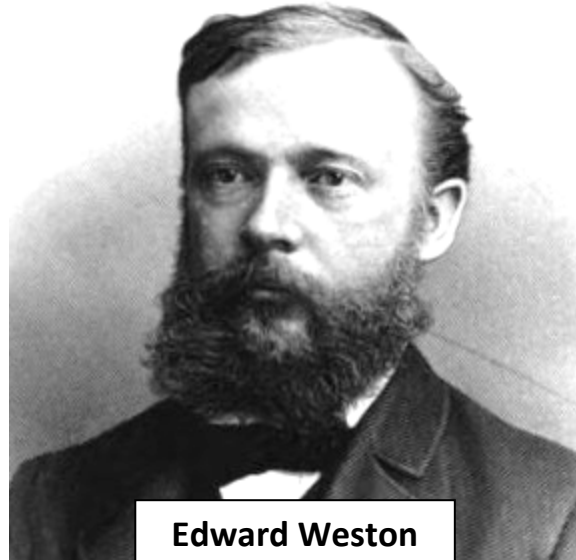
En 1893 Edward Weston (1850-1936) patentó la pila patrón que hoy conocemos con su nombre. Esta pila suministra una fuerza electromotriz extraordinariamente estable, 1.0183 V a 20°C, y fue considerada como patrón del voltio desde 1911 hasta 1990. Así, el voltio internacional (S.I.) se define como la 0.982028872 parte de la fuerza electromotriz de una pila de Weston a la temperatura de 20°C.

El ánodo está formado de una amalgama de cadmio y mercurio mientras que el cátodo es de mercurio puro cubierto por una pasta de sulfato mercurioso y mercurio. El electrolito es una disolución saturada de cristales de sulfato de cadmio hidratado ( $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ ), actuando como despolarizador el sulfato mercurioso.

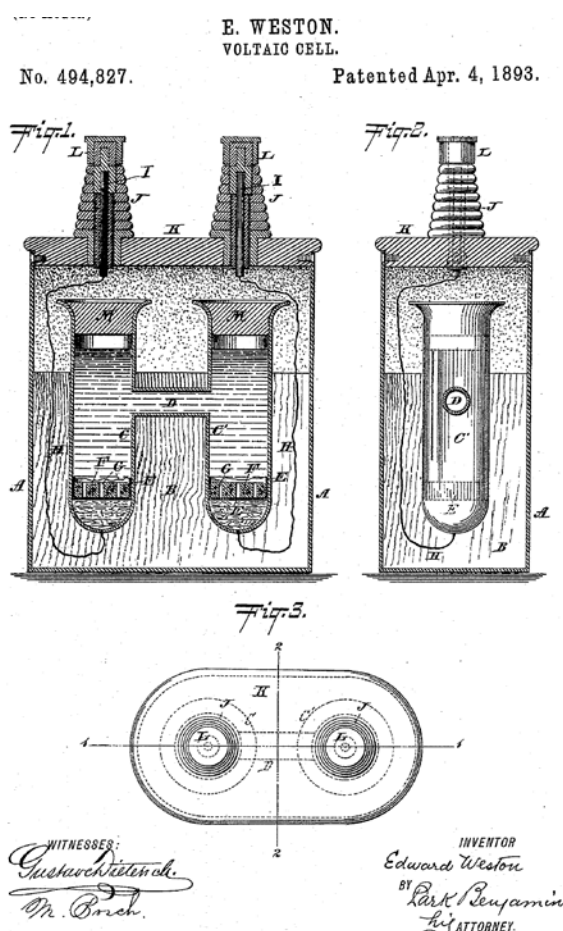
Como se ve en la reproducción del dibujo de la patente original de Weston, la pila está dispuesta en una ampolla de vidrio en forma de H con contactos eléctricos de platino en la base inferior de cada semicelda.

Cuando la disolución electrolítica está efectivamente saturada, el efecto de la temperatura en la fuerza electromotriz es de  $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  y debe operar sin corriente, a lo más  $100 \mu\text{A}$  durante un máximo de unos 5 segundos. Si no se respetan estas limitaciones no puede garantizarse la bondad y fiabilidad de este tipo de pila patrón.

El conjunto de pilas Weston que se presenta incluye tres modelos distintos. La más antigua está fabricada hacia 1925 en Newark (NJ, USA) por la firma Weston Electrical Instrument Co y se vendía por 25 USD. La que dispone de termómetro está hecha en Inglaterra por la empresa Cambridge Instrument Co. Ltd. y por fin otra más



Edward Weston



## PILAS PATRÓN TIPO WESTON

Ref.- EMEL-06-3

moderna, producida por TetteX AG en Zürich (Suiza), que tiene un orificio para introducir el termómetro.

Es de señalar que aunque hoy con un buen voltímetro podemos medir la fuerza electromotriz de una fuente con altísima precisión (prácticamente en ausencia de corriente), antiguamente esto no era posible y había que operar con técnicas potenciométricas conectando en oposición la fuente patrón (y luego la fuente a medir) con la diferencia de potencial producida por una fuente de laboratorio en una resistencia ajustable.



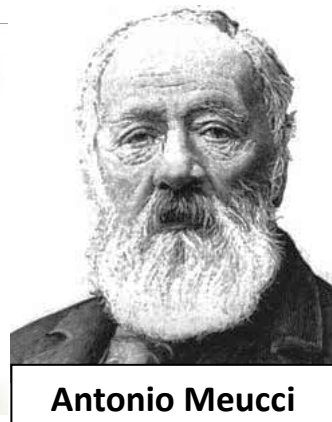
## GENERADOR DE AC A MANIVELA

Ref.- EMEL-08-1

El modelo que se presenta es del tipo de los utilizados en telefonía, para hacer la llamada al operador de la centralita. Esta patentado en USA (nº 112513) y fabricado muy probablemente entre 1890 y 1920, época en la que se construyó la mayoría de los generadores de este tipo.

Está formado por un rotor con núcleo de hierro sobre el que se ha bobinado un devanado de hilo fino con encamisado textil formado por dos secciones en serie. El estator consta de tres imanes permanentes con forma de herradura. Las escobillas deslizantes sobre discos están situadas en ambos extremos del rotor conectando éste a los bornes de salida a través de unos contactos metálicos deslizantes de presión. Accionado a mano enérgicamente, y gracias al engranaje multiplicador, se llegan a obtener 80 o 100 V en vacío y poco más de 100 mA en cortocircuito.

Posteriormente, entre los años 1940 y 1960 se construyeron muchos generadores a manivela similares al que aquí se presenta. Los había de AC y DC y algunos de ellos permitían entregar a la carga, típicamente una bombilla incandescente, algunas decenas de vatios. Incluso hoy podemos encontrar minigeneradores a manivela para recargar una linterna o un teléfono móvil.



**Antonio Meucci**

Durante muchos años se consideró que el inventor del teléfono fue Alexander Graham Bell. Esto no fue así, Graham Bell fue simplemente el primero en patentarlo, en 1876. Muchos años después, en 2002 el Congreso de Estados Unidos aprobó la resolución 269, por la que se reconocía que el inventor del teléfono había sido Antonio Meucci, que lo llamó teletrófono, y no Alexander Graham Bell.

En los primeros años de la telefonía el generador eléctrico para hacer la llamada a la centralita se disponía separadamente del teléfono y posteriormente se incorporó al propio terminal telefónico. Desde aquella época hasta la telefonía móvil de nuestros días el progreso ha sido imparable.

## GENERADOR DE AC A MANIVELA

Ref.- EMEL-08-1

Las primeras centrales telefónicas, hacia 1880, eran completamente manuales de forma que el operador tenía que poner en contacto las líneas de origen y destino conectando adecuadamente las clavijas correspondientes. El operador conectaba su propio teléfono a la línea de origen, preguntaba el número de la línea de destino y se ponía en contacto con la central del abonado solicitado. El operador de ésta determinaba la línea de conexión por la que iba a efectuarse la comunicación, le informaba de ello al operador de origen y por fin se realizaban las conexiones y se establecía el contacto solicitado. Mediante un contador de impulsos (*pasos de teléfono*) se establecía el coste de la llamada.

A medida que fue aumentando el número de líneas telefónicas la complejidad de las centrales fue creciendo y el trabajo del operador resultaba extenuante. Los conmutadores mecánicos dieron paso a los electromecánicos o relés electrónicamente controlados. Estas centrales semiautomáticas dieron lugar posteriormente a las centrales digitales.

La primera llamada desde un teléfono móvil se realizó en 1973 mediante un Motorola DynaTac 8000X que pesaba 794 gramos. Medía 33 cm de altura y aunque tardaba 10 horas en cargarse sólo permitía media hora de autonomía. Su precio equivalente a día de hoy sería de unos 7 200 €. La realizó Martin Cooper a su mayor rival en el sector, Joel Engel de los Bell Labs de AT&T, desde la Sexta Avenida de Nueva York. *¿A qué no sabes desde dónde te llamo?* Estaba a punto de dar una rueda de prensa en el hotel Hilton para anunciar que acababa de realizar la primera llamada de la historia desde un teléfono móvil.



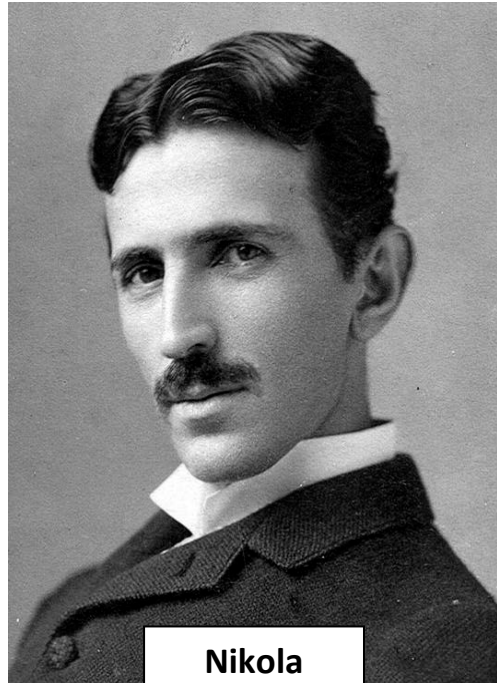


## MOTOR EDDY

Ref.- EMEL-09-1

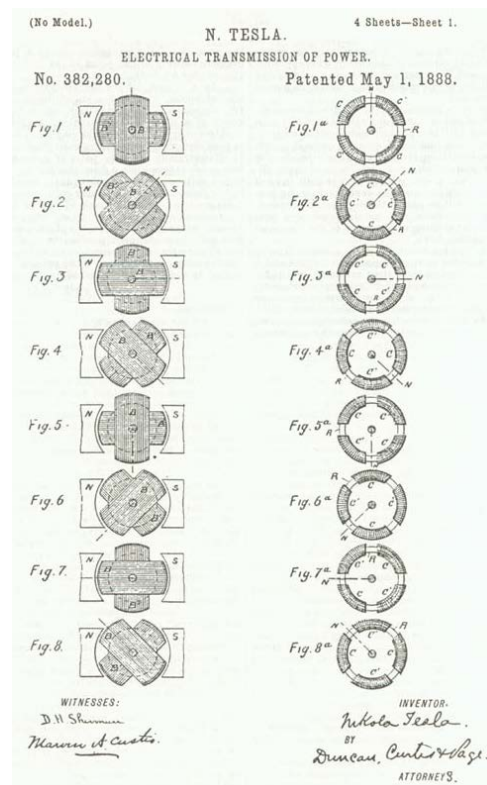
Los antiguos *contadores de la luz* eran de tipo electromecánico. Un disco muy ligero de aluminio (conductor no magnético) giraba alrededor de su eje impulsado por la fuerza de interacción entre la corriente inducida en él con el campo magnético inductor generado por unas bobinas estacionarias por las que circula la corriente alterna cuya potencia se desea medir. Gracias al efecto de un freno magnético sobre el disco, se consigue que su velocidad angular resulte proporcional a la potencia activa o potencia media en la carga. Así, el número de revoluciones del disco constituye una medida de la energía eléctrica (kWh) consumida. Un sistema de engranajes desmultiplicadores permite visualizar en un contador el consumo efectuado.

Se trata básicamente de un pequeño motor de inducción, concepto desarrollado por Nikola Tesla (1856-1943), también conocido como motor eddy.



La idea inicial fue de Galileo Ferraris en 1885, pero en 1893 Tesla patentó el descubrimiento del principio del motor de inducción. Hubo una demanda por infracción de patente pero Tesla ganó la prioridad y vendió su idea a George Westinghouse, ingeniero y empresario que con el apoyo del banquero J. P. Morgan impulsó la industria eléctrica. N. Tesla y G. Westinghouse

protagonizaron la *guerra de las corrientes AC-DC* durante la década de 1880, en abierta pugna con Thomas Alva Edison defensor a ultranza de la corriente continua.



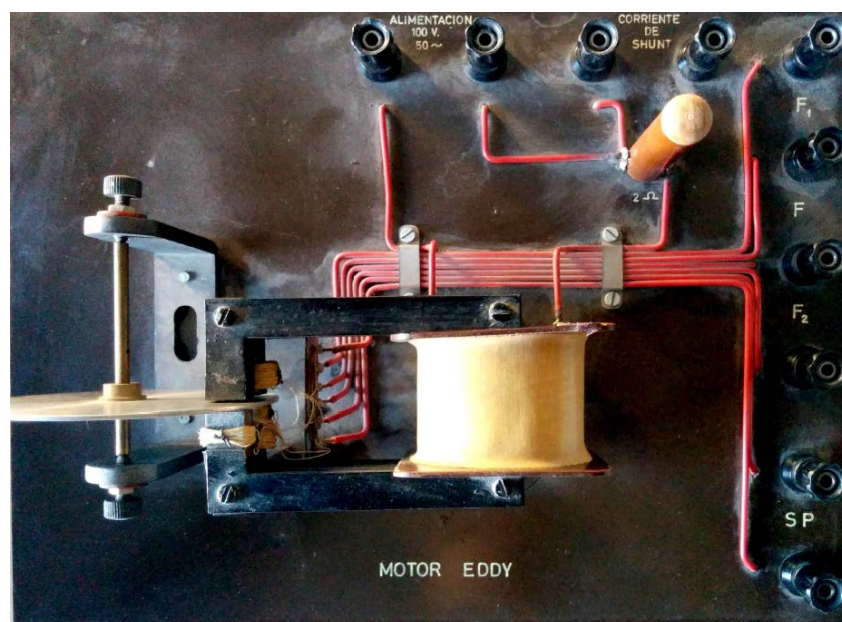
## MOTOR EDDY

Ref.- EMEL-09-1

Aquí se muestra un motor *eddy* que ilustra el principio del motor de inducción, también conocido como motor de polo en sombra o de polo blindado, idea que subyace en los pequeños motores de inducción monofásicos, también llamados de espira o fase partida. Vemos un disco de aluminio en el entrehierro del núcleo de chapa magnética y alrededor de él una bobina alimentada en AC de forma que en el entrehierro hay un flujo magnético alterno que induce corriente en el disco. Para hacerlo rotar se cubre parcialmente un polo del entrehierro o, como es nuestro caso, se añade un pequeño bobinado (que se cortocircuita conectando S y P en la figura) sobre una mitad del núcleo junto al entrehierro. La corriente inducida en él retrasa el flujo magnético de forma que todo ocurre como si hubiera un imán de anchura mitad del polo que continuamente se está moviendo desde la región sin *sombra* hacia la *sombreada*. De esta forma el campo magnético alterno interacciona con las corrientes inducidas (*eddy*) en el disco y produce el par motor que lo hace girar.

La mayoría de los pequeños motores de AC que tenemos hoy día son motores de inducción monofásicos. En ellos se consigue hacer rotar el campo magnético aprovechando esta misma idea o disponiendo un segundo bobinado que se alimenta desfasado gracias a la incorporación de un condensador de arranque que puede suprimirse mediante un contacto centrífugo una vez que está el motor en marcha. La ausencia de ese condensador en el arranque impide el correcto funcionamiento del motor, que no arrancarían o lo harían girando a derechas o izquierdas de forma aleatoria y con un par de arranque teóricamente nulo.

Por el contrario, los grandes motores de AC son siempre trifásicos, de forma que el campo magnético giratorio se consigue de forma elemental, de acuerdo con las ideas de Galileo Ferraris y Nikola Tesla.





## PUENTES DE DC

Ref.- EMEL-10-2

Tettex AG (Zürich, Suiza) y más adelante Tettex Instruments (Basilea, Suiza) desarrollaron multitud de técnicas e instrumentación de medida de precisión. Entre ellas destaca la parte relativa a calibración de componentes R, L y C en un amplio intervalo de frecuencias de operación, caracterización dieléctrica en sólidos y líquidos, campo de ruptura, análisis de aislamiento en transformadores, calibración general de aparatos de medida, etc.

Aquí presentamos dos puentes de medida de resistencias en DC, también conocidos como puentes de Wheatstone DC. Se trata de equipos de medida portátiles que se alimentan con una simple pila de 4.5 V alojada dentro del aparato y datan aproximadamente de 1960-1970.

En el primero, la resistencia a medir se conecta entre los terminales marcados con  $R_x$  y sólo hay que hacer girar el dial hasta llevar la aguja del aparato indicador a la posición de cero. Para evitar dañar el galvanómetro y gastar excesivamente la pila, se ha dispuesto un interruptor de pulsador (T) que activa la alimentación en el puente. El sistema mide valores de resistencia entre  $0.09 \Omega$  y  $110\,000 \Omega$ , para lo cual basta multiplicar la lectura del dial por el factor de escala elegido con la clavija blanca, que permite valores de 0.1, 1, 10, 100, 1 000 y 10 000.



El segundo es esencialmente idéntico al primero pero está diseñado para medir temperaturas entre  $15$  y  $155^\circ\text{C}$ . Se coloca una termorresistencia en los bornes de medida (1 o 2) del puente; en nuestro caso una resistencia de platino de  $100 \Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ .

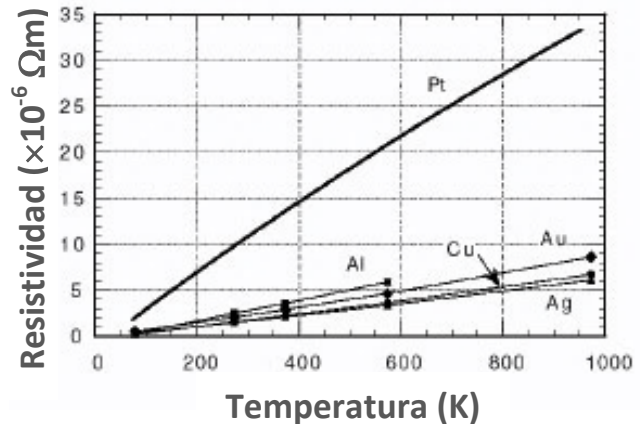
Mediante un conmutador se elige la medida a realizar (1 o 2), se equilibra el puente como se ha mencionado antes y se obtiene directamente en el dial la temperatura  $T$  de la sonda, que se supone satisface una ecuación lineal de la forma  $R(T) = R_0(1 + \alpha\Delta T)$  donde  $\alpha$  es el coeficiente de temperatura del material del que está fabricada. Interesa que éste sea grande y constante en un amplio intervalo de temperaturas; para el platino  $\alpha = 0.00385 \text{ K}^{-1}$  a  $0^\circ\text{C}$ .

## PUENTES DE DC

Ref.- EMEL-10-2

Conviene indicar que las termorresistencias de platino se utilizan muy frecuentemente debido a su baja reactividad química y a que soportan muy altas temperaturas manteniendo un valor elevado y comportamiento muy aproximadamente lineal del coeficiente de temperatura de la resistividad eléctrica. Es de destacar que para que la medida sea correcta debe operarse

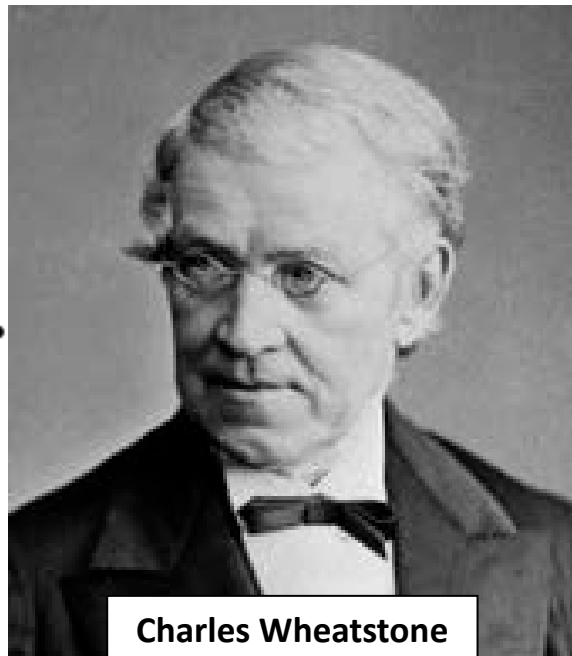
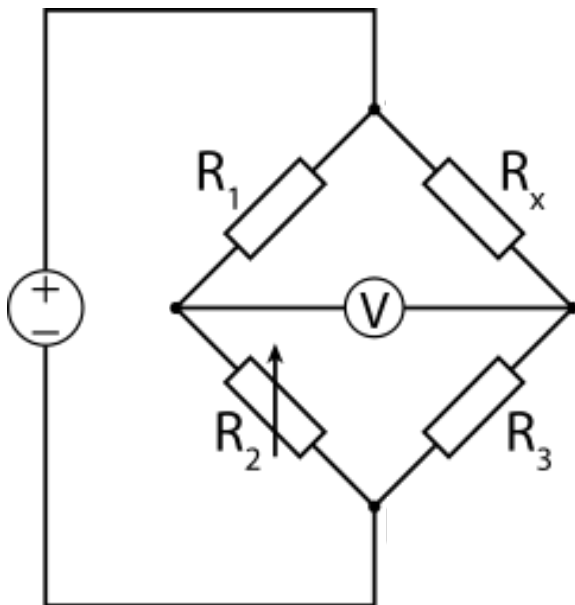
alimentando la sonda de platino con una corriente mínima, evitando así su autocalentamiento.



## PUENTE DE DC Y AC

Ref.- EMEL-11-1

El puente de Wheatstone (Charles Wheatstone, 1802-1875) fue diseñado para la medida de resistencias, operando indistintamente en DC y en AC a baja frecuencia. En este segundo caso su aplicación básica es la medida de conductividades de líquidos. El circuito de medida es muy elemental como se muestra en la figura. Consta de una fuente de alimentación, tres resistencias conocidas y un detector. Cuando se conecta en el cuarto brazo del puente la resistencia desconocida,  $R_x$ , y se equilibra el puente,  $V = 0$ , actuando sobre las otras ramas se encuentra una relación muy simple,  $R_x = R_1 R_3 / R_2$ , que permite calcular la resistencia desconocida.



Charles Wheatstone

El puente que aquí presentamos está fabricado en Zürich por la firma Trüb-Täuber hacia 1950. Para la alimentación de DC dispone de un alojamiento para una pila de 4.5 V en la propia tapa del equipo. Sus terminales se conectan a los bornes marcados con la letra B mientras que la resistencia desconocida se conecta en los bornes X. El puente se equilibra actuando sobre el dial giratorio hasta llevar la aguja del detector a cero y el valor de la resistencia se obtiene multiplicando la lectura del dial por el factor que corresponda (0.1, 1, 10, 100, 1 000, 10 000). Junto al galvanómetro hay un botón interruptor que sólo ha de pulsarse por tiempos cortos, cuando la aguja indicadora no llega al final de la escala y el puente está cerca del equilibrio. El aparato puede medir valores de resistencia entre  $0.05 \Omega$  y  $500\,000 \Omega$ .

Para trabajar en AC hay que alimentar entre los bornes B con un voltaje de baja frecuencia, típicamente entre 0.3 y 3 kHz. El funcionamiento es el mismo que se ha descrito, con la única diferencia que ahora la detección de equilibrio se realiza acústicamente. Para ello se conectan unos auriculares a los bornes T.

## PUENTE DE DC Y AC

Ref.- EMEL-11-1

La empresa Trüb-Täuber (Zürich, Suiza) fabricante de este puente, diseñó abundante instrumentación para radiofrecuencia y fue una de las primeras en comercializar equipamiento para NMR hasta que fue absorbida por Bruker Magnetics en 1964.



El puente de Wheatstone también tiene algunas aplicaciones interesantes en el ámbito de la industria y el laboratorio. Se puede utilizar como sensor de temperatura (termistor), presión (galga extensiométrica), luz (sensores LDR), etc. En el primer caso suelen utilizarse resistencias metálicas, fundamentalmente de platino. En el segundo caso se emplean extensiómetros piezorresistivos. Recuérdese que la piezorresistencia es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor de su resistencia cuando se someten a esfuerzos mecánicos y se deforman. Así, una pequeña variación en la temperatura del termistor o de presión en la galga extensiométrica producirá una notable variación en la resistencia eléctrica del sensor y por lo tanto una señal eléctrica muy apreciable en bornes del detector como consecuencia del desequilibrio del puente.

## PUENTE UNIVERSAL DE AC

Ref.- EMEL-12-1

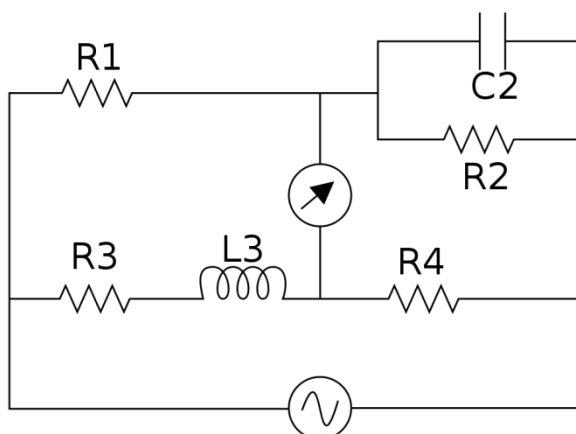
Henry Cavendish (1731-1810) fue el autor de las primeras medidas de conductividad eléctrica hacia 1775. Mucho más tarde Humphry Davy (1778-1829) y Peter Barlow (1776-1862) realizaron medidas sistemáticas en diferentes metales.

Pero hay que destacar muy especialmente a Georg Simon Ohm (1789-1854) que encontró la relación entre resistencia eléctrica (cociente entre diferencia de potencial e intensidad de corriente), longitud y sección transversal de un conductor filiforme,  $R = \rho L/S$ . La expresión  $R = V/I$  es precisamente la que denominamos ley de Ohm y simplemente pone de manifiesto el comportamiento lineal frente al campo eléctrico de multitud de materiales.



Los sistemas de medida de resistencia eran muy rudimentarios y siempre se basaban en técnicas de comparación. Uno de los primeros procedimientos fue el del galvanómetro diferencial; una aguja imanada sometida a la acción del campo magnético de dos bobinas en oposición. Más tarde surgió la idea de puente, como el de Charles Wheatstone (1833) para resistencias en DC o el doble puente de Kelvin (1862) para resistencias muy pequeñas.

Para la medida de componentes inductivos o capacitivos se desarrollaron puentes de AC, siendo entre ellos el más conocido el de Maxwell-Wien cuyo esquema reproducimos aquí. Cuando se alcanza el equilibrio se satisfacen dos ecuaciones que corresponden a igualar la parte real e imaginaria de los productos de las impedancias en brazos opuestos,  $R_1 R_4 = Z_2 Z_3$ .



$$R_3 = \frac{R_1 R_4}{R_2}$$

$$L_3 = R_1 R_4 C_2$$



## PUENTE UNIVERSAL DE AC

Ref.- EMEL-12-1

Este puente permite obtener simultáneamente y de forma sencilla la componente óhmica y la reactiva así como factor de calidad y coeficiente de disipación para frecuencias de hasta decenas de kHz. Todos estos puentes requerían una notable pericia del experimentador, básicamente una técnica iterativa, pues para equilibrar correctamente el puente hay que garantizar que se ha encontrado efectivamente el *minimum minimorum*. Hacia 1980 comenzaron a fabricarse puentes digitales automáticos de forma que hoy día podemos obtener espectros de impedancia en un amplio abanico de frecuencias de forma prácticamente inmediata.

Aquí vemos un puente universal LCR tipo Maxwell-Wien modelo Hewlett Packard 4265B de 1976, comercializado en España por Hucoa-Erlöss. Funciona con un oscilador interno de 1 kHz o externo de entre 50 Hz y 10 kHz. Además admite DC-bias para estudio de comportamiento no lineal y permite medir resistencias entre 1 m $\Omega$  y 1 111 M $\Omega$ , autoinducciones entre 1  $\mu$ H y 1 111 H y capacidades entre 1 pF y 1 111 mF con precisión mejor del 0.5 % a 1 kHz. También obtiene factor de calidad y coeficiente de disipación en configuración de equivalente serie y paralelo.

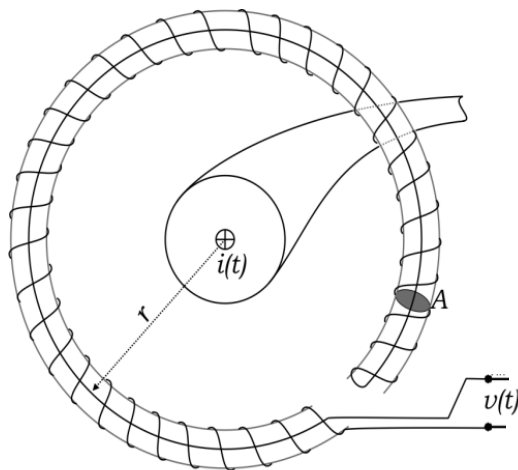




## TRANSFORMADOR DE MEDIDA DE INTENSIDAD

Ref.- EMEL-13-1

La medida de grandes intensidades de corriente en generadores y redes de distribución de AC constituyó un problema notable en los primeros años del desarrollo de la electrotecnia, pues la rectificación de corrientes elevadas no era simple. La medida es más sencilla mediante un transformador de intensidad, básicamente un transformador con primario de una sola espira (bobina de Walter Rogowski, 1881-1947).



$$v(t) = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\mu A}{2\pi r} \frac{di}{dt}$$

para  $r^2 \ll A$



Walter Rogowski



Resulta sencillo comprobar cómo, suponiendo excitación armónica, el valor eficaz del voltaje del secundario resultará proporcional a la intensidad del primario y a la frecuencia de operación, independientemente de que el conductor que medimos esté situado o no en el centro de la bobina, de acuerdo con la ley circuital de Ampère. Es éste el procedimiento utilizado siempre para la medida de grandes intensidades, y también para intensidades medias o bajas mediante la pinza amperimétrica, que no es más que una bobina de Rogowski con un secundario flexible que permite su apertura y cierre para abrazar al conductor cuya intensidad deseamos medir.

Se diseñan pinzas amperimétricas para AC y también para DC. Estas últimas no están basadas en la ley de inducción de Faraday sino en el efecto Hall y en este caso el sensor se sitúa en un estrecho *gap* en el núcleo ferrimagnético de la bobina de Rogowski. La elevada permeabilidad magnética del núcleo permite medir cómodamente sin ocuparse de centrar el conductor a medir.

## TRANSFORMADOR DE MEDIDA DE INTENSIDAD

Ref.- EMEL-13-1

Aquí vemos un transformador de medida de intensidad fabricado por la empresa SACI, fundada en 1941 en Madrid, en la línea de un modelo desarrollado por Trüb-Täuber en Zürich. Dispone de varios secundarios devanados sobre un toroide que permiten obtener varias escalas de medida. La ventaja de no tener que hacer conexiones en el primario (basta simplemente hacer pasar el conductor a medir por el toroide), hace de esta técnica una solución muy cómoda. Se trata del mismo principio de las sondas de corriente o de una moderna pinza amperimétrica de AC. El modelo aquí presentado también puede utilizarse empleando como primario y secundario un par de bobinados toroidales de los que incorpora.



También presentaba dificultades la medida de intensidades de corriente de DC elevadas pues los galvanómetros magnetoeléctricos de cuadro móvil están concebidos para medir corrientes débiles o muy débiles ( $\mu\text{A}$  o  $\text{nA}$ ). La posibilidad de poner una pequeña resistencia en paralelo es una alternativa que en casos límites hace que el resultado de la medida sea poco fiable. Para un galvanómetro de cuadro móvil de pequeña sensibilidad (centenas de mA y resistencia de decenas de  $\Omega$ ) con el que deseamos medir una intensidad de centenas de A (por ejemplo la corriente entregada por un generador dinamo de algunos kW), debemos elegir un shunt de muy pocos  $\text{m}\Omega$ . Por ello se diseñaron amperímetros de cuadro fijo e imán móvil (inicialmente llamados galvanoscopios), sobre todo del tipo de brújula de tangente con espira abatible o

## TRANSFORMADOR DE MEDIDA DE INTENSIDAD

Ref.- EMEL-13-1

brújula de coseno. También fueron muy importantes los amperímetros de gradiente en los que en lugar de hacer girar una aguja imanada, se colocaba un material ferromagnético sujeto por un muelle en el borde de la bobina por la que se hace pasar la corriente a medir. La fuerza que trata de introducirlo hacia el centro de la bobina (proporcional al gradiente de  $H^2$ , relacionado con  $I^2$ ), se leía en una escala graduada permitiendo así medir la intensidad  $I$ .

## VOLTÍMETRO DE DC DE 1910

Ref.- EMEL-14-1

Jules Carpentier (1851-1921) fue un ingeniero e inventor francés que construyó en París la primera fábrica de equipos cinematográficos. Además diseñó y fabricó diversos aparatos eléctricos y telegráficos, así como muy diversa instrumentación de medida.



Jules Carpentier

Toda su producción se caracterizó por su calidad, robustez y precisión. Baste citar como ejemplo sus microamperímetros de mesa de finales del siglo XIX (con el mismo formato del voltímetro que presentamos), capaces de medir una corriente eléctrica de fracción de  $\mu\text{A}$ . Era muy frecuente la construcción de estos aparatos de medidas eléctricas dentro de cajas de madera cuidadosamente terminadas y resulta muy típica la especial disposición de los aparatos de J. Carpentier dentro de esas cajas. El cuadro móvil está situado en una esquina para permitir el máximo espacio al imán de herradura que ocupa toda la diagonal de la caja.

Aquí vemos un voltímetro de DC de 150 V del año 1910 aproximadamente fabricado por Jules Carpentier, con número de serie 2022 B 37. Está formado por un galvanómetro de cuadro móvil y una resistencia en serie. Se caracteriza por disponer de un enorme imán permanente por lo que es un aparato muy pesado. La suspensión del cuadro está extraordinariamente cuidada y dispone de un regulador de posición de puesta a cero. Resulta curioso observar que en lugar de dar la información típica de un voltímetro como su característica  $\Omega/\text{V}$ , el fabricante ha preferido incorporar en el aparato la información de intensidad a fondo de escala o sensibilidad, 3.93 mA. Es decir, estamos ante un voltímetro de aproximadamente  $255 \Omega/\text{V}$ , valor que hoy nos parece muy pequeño pero que hemos de considerarlo en el contexto de la época en que se fabricó.



VOLTÍMETRO DE DC DE 1910

Ref.- EMEL-14-1



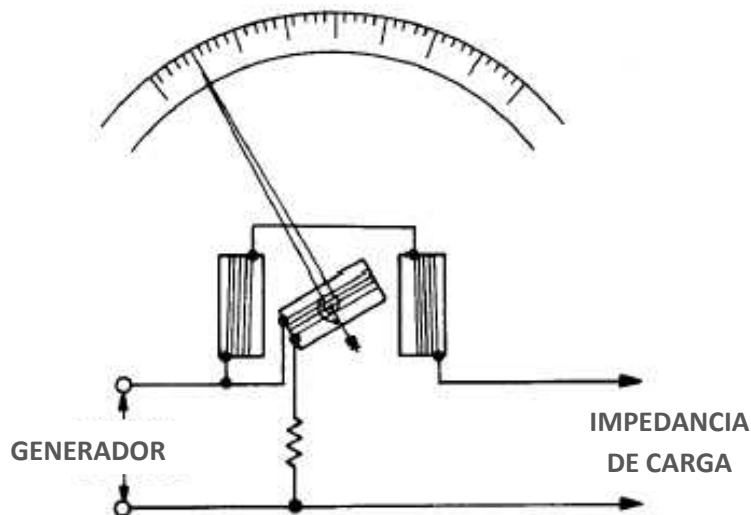
## MEDIDORES ELÉCTRICOS EN CAJA DE MADERA

Ref.- EMEL-15-4

Los primeros aparatos de medidas eléctricas eran muy costosos, poco robustos y delicados en su manejo. Se trataba fundamentalmente de medidas basadas en la deflexión de una aguja producida por la rotación de un cuadro en el seno de un campo magnético, es decir un sistema magnetoeléctrico. Por eso se protegían de forma muy cuidadosa en cajas de madera (para el caso de uso en el laboratorio) o de chapa de hierro (cuando se usaban en el exterior). Incluso, durante la segunda guerra mundial se construyeron robustos cajones, pintados en color verde oliva, donde se alojaba toda la instrumentación eléctrica. Aquí vemos un conjunto de medidores eléctricos que datan muy probablemente de los años 1950-1960. Están colocados en estuches de madera de diferentes calidades y todavía se encuentran en muy buen estado.

Un amperímetro de DC con cuatro alcances, 1 mA, 10 mA, 100 mA y 1 A, y un voltímetro de DC bastante elemental con un solo fondo de escala de 30 V.

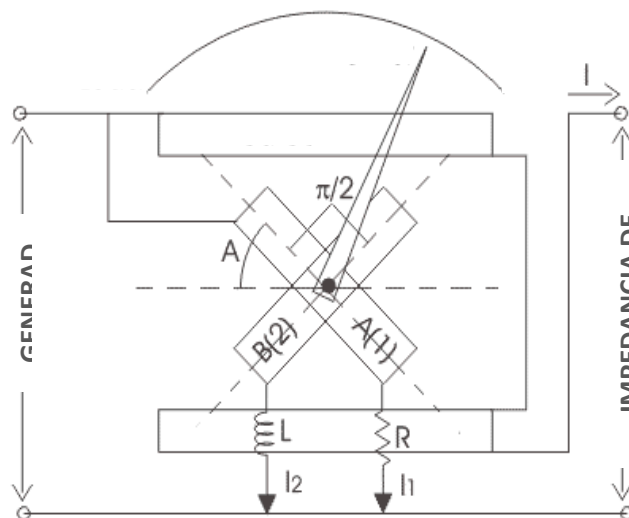
Un vatímetro monofásico de 600 W. Su funcionamiento se basa en la medida del par sobre un cuadro móvil alimentado con una intensidad proporcional al voltaje en la carga y en fase con ella. El cuadro puede girar en el seno de un campo magnético producido por una bobina en reposo alimentada por la corriente en la carga. El valor medio del par de torsión, y la posición de equilibrio de la aguja, resulta proporcional a la potencia media (activa) consumida.



Un medidor SACI de factor de potencia en circuitos trifásicos (220 V, 5 A). La aguja indicadora se mueve solidariamente con dos devanados ortogonales que forman el cuadro móvil. Están alimentados por corrientes iguales en amplitud; una en fase con el voltaje en la carga y la otra retrasada  $\pi/2$ . El cuadro gira libremente en el seno del campo magnético producido por una bobina en reposo alimentada por la corriente en la carga. Adquiere una posición de equilibrio, resultado del balance de los pares sobre los dos devanados del cuadro, que es proporcional a  $\cos \varphi$ , distinguiéndose el carácter inductivo o capacitivo. No es necesario muelle recuperador elástico y el sistema queda en una posición arbitraria en ausencia de excitación.

MEDIDORES ELÉCTRICOS EN CAJA DE MADERA

Ref.- EMEL-15-4



## MEDIDORES ELÉCTRICOS

Ref.- EMEL-16-4

En los años 1960-1970, la empresa española SACI comercializó abundante instrumentación eléctrica para laboratorio. Su precio era competitivo frente a otros fabricantes de más renombre, entre los que destacaba la firma japonesa YEW (Yokogawa Electric Works). Se trataba de una instrumentación robusta que fue muy apreciada en las Facultades de Ciencias y Escuelas de Ingenieros de España. Aquí vemos un conjunto de aparatos de medidas eléctricas para el estudio de circuitos de DC y AC que aun hoy se siguen empleando.

Un amperímetro de AC con dos alcances, 2.5 A y 5 A.



Un voltímetro de DC con dos escalas, 150 V y 300 V.



Un vatímetro monofásico de 750 W con escalas de 2.5 A y 300 V o 5 A y 150 V. Su funcionamiento se basa en la medida del par sobre un cuadro móvil alimentado con una



## MEDIDORES ELÉCTRICOS

Ref.- EMEL-16-4

intensidad proporcional al voltaje en la carga y en fase con ella. El cuadro puede girar en el seno de un campo magnético producido por una bobina en reposo alimentada por la corriente en la carga. El valor medio del par de torsión, y por tanto la posición de equilibrio de la aguja, resulta proporcional a la potencia media (activa) consumida.



Un frecuencímetro de lengüeta de 220 V en el intervalo de 47 a 53 Hz. Está diseñado para verificar la frecuencia de la red industrial de AC. Hay que señalar que antiguamente la estabilidad de la frecuencia de la red no era tan alta como en la actualidad. De hecho en la central hidroeléctrica de Aldeadávila se monitorizaba la frecuencia de los alternadores con frecuencímetros idénticos al que aquí se muestra. Su funcionamiento se basa en la resonancia de unas láminas de acero cuya longitud se ajusta para diferentes frecuencias de vibración. Se excitan mediante un electroimán alimentado por la corriente cuya frecuencia se desea medir. Aquella lengüeta cuya frecuencia propia de vibración coincida con la de la frecuencia a medir resonará y mostrará una amplitud de oscilación mayor que las restantes.



## MULTÍMETROS

Ref.- EMEL-17-3

La conveniencia de poder medir con un mismo aparato diferentes magnitudes eléctricas impulsó la fabricación de los llamados multímetros. Se trataba de disponer en un solo aparato de la posibilidad de medir diferencia de potencial e intensidad (tanto en AC como en DC) y también resistencia eléctrica.

Entre los primeros multímetros de laboratorio hay que destacar el AVOMeter, o simplemente AVO, cuyo primer modelo data de 1923. Se fabricó en Inglaterra hasta 2008 por AVO LTD., Londres. La evolución del modelo resultó espectacular y fue probablemente el multímetro más conocido en los laboratorios de física. Nuestro ejemplar es un modelo 8 MK II de 1953, fecha en la que su precio era de 23.5 £. Su característica voltimétrica es de  $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ , es decir  $50 \mu\text{A}$ . Destaca la protección de disyuntor rearmable contra sobrecargas (CUT-OUT), los ajustes de cero en todas las escalas de resistencia, la inversión de polaridad y la gran cantidad de alcances disponibles en DC y AC. Para las medidas en AC lleva un rectificador de óxido de cobre.



La necesidad de aumentar la resistencia de entrada en las medidas voltimétricas impulsó el desarrollo de los multímetros electrónicos. Primero los de electrónica de vacío y luego los de estado sólido. Aquí vemos un multímetro Grundig RV-11 de válvulas de vacío de 1955 cuya resistencia de entrada es  $10 \text{ M}\Omega$  en DC.

## MULTÍMETROS

Ref.- EMEL-17-3



También encontramos un polímetro Hewlett Packard 410C transistorizado, de 1972. Es extraordinariamente sensible con fondos de escala de  $1.5 \mu\text{A}$  y  $15 \text{ mV}$ . Dispone en su parte trasera de salida analógica proporcional a la medida y admite una sonda específica para medidas en HF que opera hasta  $700 \text{ MHz}$ . Su precio, incluida la sonda, era superior a  $2\,000 \text{ USD}$ , unas  $120\,000 \text{ pts.}$  o un utilitario de la época.

Actualmente podemos encontrar muy buenos y rápidos multímetros digitales de baja frecuencia (con verdadero valor eficaz hasta algunos kHz) y resistencia de entrada de  $10 \text{ M}\Omega$  o más en todas las escalas voltimétricas por menos de  $100 \text{ €}$ . Frecuentemente incorporan test de diodos, beeper de continuidad, medida de capacidad, temperatura, frecuencia, etc.

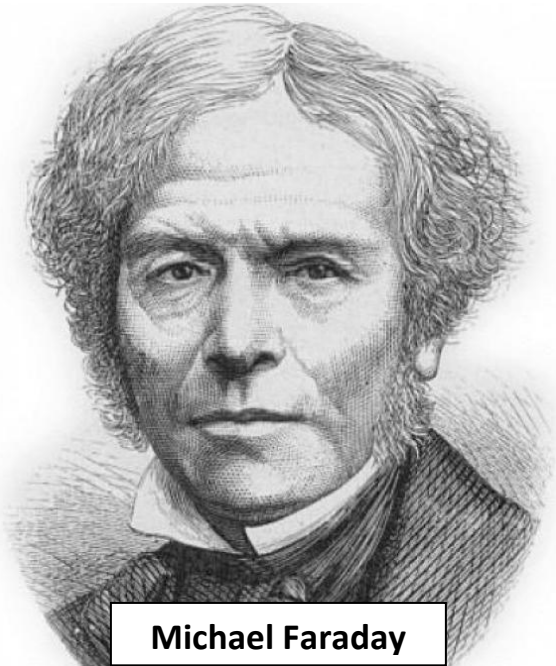


## FLÚXMETRO

Ref.- EMEL-18-1

Ernst Schiltknecht fundó en 1925 la compañía Schiltknecht Messtechnik AG en Zürich, fabricante del flúxmetro que presentamos. Se trata esencialmente de un galvanómetro balístico para medidas de flujo magnético, también conocido como flúxmetro. Se caracteriza por tener un par recuperador despreciable y un amortiguamiento muy elevado.

Está formado por un arrollamiento suspendido por un hilo entre los polos de un imán permanente. El cuadro puede girar y su posición queda reflejada en la escala graduada mediante una aguja indicadora. Si conectamos a sus bornes una bobina de medida de área y número de espiras conocidos a las que aplicamos un campo  $\mathbf{B}$  podremos leer en la escala la variación de flujo y por lo tanto  $\mathbf{B}$ . La ausencia de par recuperador exige disponer de un mecanismo para llevar a la posición de cero la aguja antes de cada medida. En nuestro caso, mediante una pequeña batería en el alojamiento del aparato se aplica una débil corriente cuyo sentido se elige a voluntad mediante dos pequeños pulsadores en la parte inferior del aparato.



Su funcionamiento es el siguiente: Además de la fuerza electromotriz (FEM) inducida por la variación de flujo magnético en la bobina externa de medida  $\varepsilon = -d\Phi/dt$  de acuerdo con la ley de Faraday, cuando el cuadro gira y como consecuencia de la fuerza de Ampère, se induce una nueva FEM  $\varepsilon' = -NAB' d\theta/dt$  que se opone a ese giro, donde  $N$  es el número de espiras del cuadro que forma el flúxmetro,  $A$  su sección,  $B'$  el campo producido por el imán permanente en el cuadro móvil y  $d\theta/dt = \omega$  su velocidad angular. El par de torsión sobre el cuadro satisface la expresión  $NAiB' = J d\omega/dt$ , donde  $i = (\varepsilon' - \varepsilon)/R$  es la intensidad y  $J$  el momento de inercia del cuadro. Integrando





## FLÚXMETRO

Ref.- EMEL-18-1

en el tiempo (mientras dura el transitorio),  $(NAB'/R)(\Delta\Phi - NAB'\Delta\theta) = J\Delta\omega = 0$  pues al final del proceso el cuadro vuelve a estar en reposo. Es decir,  $\Delta\Phi = NAB'\Delta\theta = k\Delta\theta$  donde  $k$  es una constante de calibración que puede obtenerse operando con una bobina externa de medida conocida (o con un condensador calibrado). La escala suele graduarse en unidades de flujo magnético, en nuestro caso Maxwell ( $1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{ Wb} = 10^{-8} \text{ T m}^2$ ).



Actualmente la medida de flujo magnético se realiza con circuitos integradores electrónicos si bien la deriva típica de estos sistemas exige depurar notablemente la técnica de medida que no siempre resulta aceptable.

En los últimos años el avance ha sido espectacular pero no tanto en la medida de flujo magnético sino en la del propio campo  $B$ . Además de la conocida técnica de efecto Hall cabe destacar los procedimientos magnetométricos tipo *fluxgate* y magnetorresistivas presentes en muchos *smartphones* y las de tipo VSM, SQUID, resonancia magnética de protones NMR, etc.

## ELEMENTOS R L C

Ref.- EMEL-19-9

El estudio del comportamiento armónico de circuitos se hace en términos de sus componentes R, L y C. Mientras que en baja frecuencia un elemento resistivo presenta una impedancia independiente de la misma, las capacidades y autoinducciones muestran una impedancia que es función de la frecuencia. Mostramos aquí varios elementos circuitales presentes en cualquier laboratorio, en este caso componentes R, L y C de los años 1950-1970.

Vemos una caja de resistencias de décadas con valores desde 1 hasta 10 000  $\Omega$  y un reostato de 500  $\Omega$  que admite intensidades de hasta 0.5 A.



Una vieja autoinducción sin núcleo de 5 mH, un antiguo condensador de 30  $\mu\text{F}$ , un autotransformador con entrada a 220 V y salida variable entre 0 y 260 V.



Un transformador didáctico de experimentación con varios bobinados y tomas intermedias.



## ELEMENTOS R L C

Ref.- EMEL-19-9

Una unidad desfasadora compuesta por cuatro condensadores de 135 nF y nueve autoinducciones de unos 20  $\mu$ H. No se han previsto conexiones intermedias por lo que esta unidad no es más que un conjunto fijo de elementos R L C entre sus bornes externos. Permite estudiar desfase entre corriente y voltaje así como la resonancia del sistema.



Un modelo de línea de transmisión realizada como discretización de seis secciones: siete condensadores de 0.5  $\mu$ F y seis autoinducciones con núcleo de chapa magnética (muy baja frecuencia) de 240 mH. Las pérdidas dieléctricas se representan con resistencias en paralelo con los condensadores. El comportamiento de la línea se analiza en los bornes intermedios.



Un circuito complejo formado por dos condensadores, dos autoinducciones con núcleo de chapa magnética, un transformador y varias resistencias. El reto, nada simple, es medir entre los terminales determinados por el profesor con un puente universal LCR de frecuencia variable y deducir la forma en la que están conectados los elementos correspondientes.



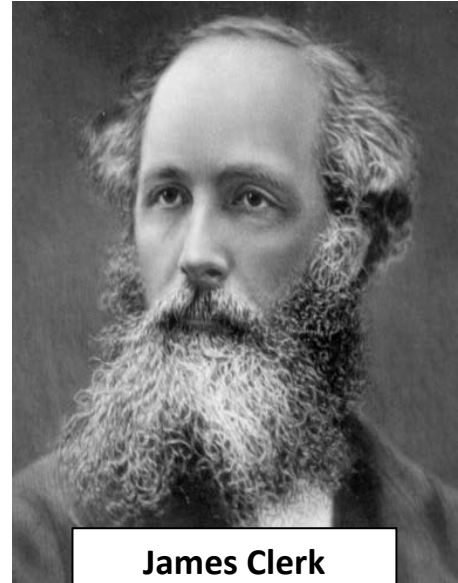
## BOBINA DE RUHKORFF

Ref.- EMEL-20-1

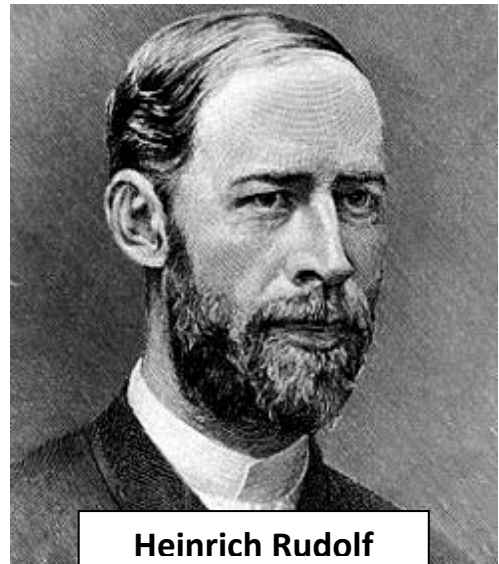
En 1851 Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877) diseñó un dispositivo para obtener elevados voltajes (de decenas de miles de voltios) apoyándose en la ley de inducción electromagnética descubierta por Michael Faraday veinte años antes. El aparato recibe el nombre de bobina de Ruhmkorff y con él se consiguió por primera vez obtener chispas eléctricas de notable longitud sin recurrir a las antiguas máquinas electrostáticas. Esas descargas eléctricas pulsadas fueron de interés en una incipiente electroterapia y por supuesto en física, para estudiar espectros de emisión a través de descargas en gases enrarecidos.

Pero su aplicación más notable fue la construcción de los primeros osciladores de radiofrecuencia descubiertos en 1888 por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). En efecto, nótese que la descarga en forma de chispa conlleva la producción de oscilaciones eléctricas de alta frecuencia a las que acompaña la radiación de ondas electromagnéticas previstas por James Clerk Maxwell (1831-1879) en sus ecuaciones del electromagnetismo veinticuatro años antes.

Su funcionamiento es exactamente el mismo que el de un transformador elevador, o más exactamente como la bobina de encendido de un motor de explosión. Sobre un núcleo de chapa magnética C se dispone un primario con varias decenas de espiras de hilo grueso A y un secundario con varias decenas de miles de espiras de hilo muy fino B. El primario se alimenta con una corriente eléctrica pulsada, controlada por un interruptor E, de forma que en los bornes H del secundario se obtiene un elevado voltaje proporcional a la derivada temporal de la corriente del primario y a la relación de espiras entre secundario y primario. Ruhmkorff, cuya profesión era mecánico de precisión, diseñó el sistema para producir chispas continuamente mediante el mismo principio que el de un timbre o zumbador electromagnético. La corriente eléctrica pasa a través de un contacto móvil sobre una lámina elástica ferromagnética D y alimenta el primario. El campo magnético producido por éste magnetiza el núcleo de la bobina C y atrae el contacto móvil E, anulándose así la corriente. El sistema vuelve a la posición de partida y el proceso se inicia de nuevo. Para evitar el fogueo del contacto conviene poner en paralelo con él un condensador F de algunos  $\mu\text{F}$ . La frecuencia de repetición (decena de Hz)



**James Clerk**

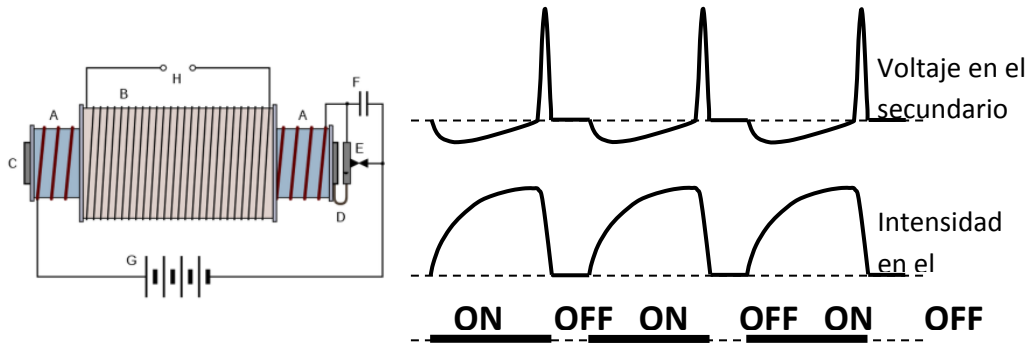


**Heinrich Rudolf**

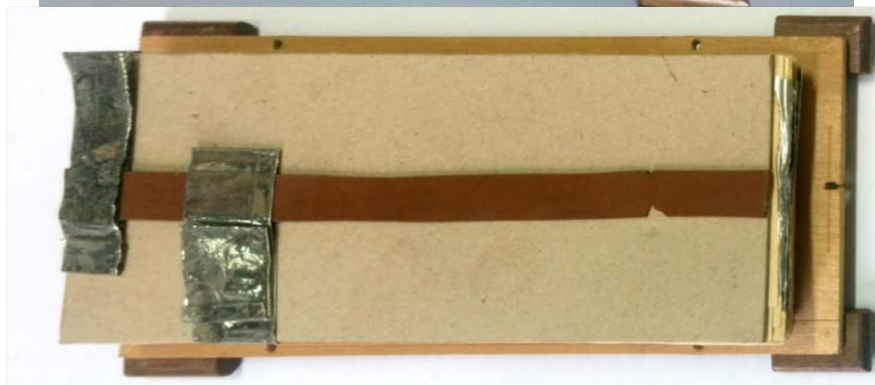
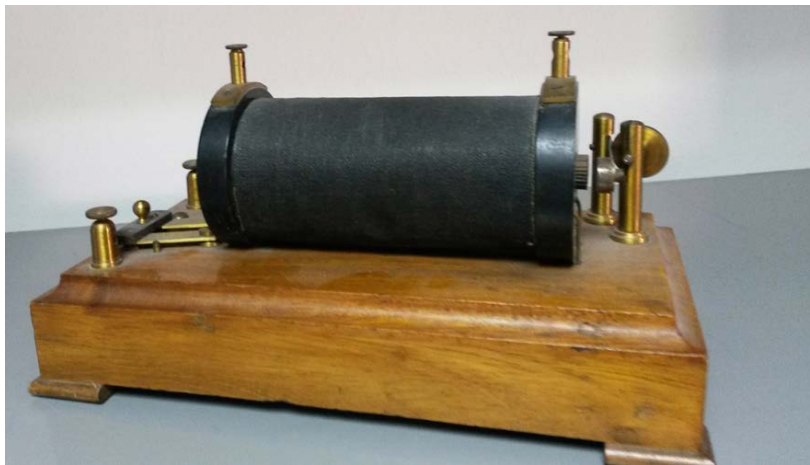
## BOBINA DE RUHKORFF

Ref.- EMEL-20-1

puede regularse con ayuda del tornillo que ajusta la posición del contacto en reposo, en ausencia de corriente.



El aparato que aquí se presenta fue construido hacia 1940. Es interesante observar también el condensador de algunos nF, claramente insuficiente, de fabricación casera realizado con papel de aluminio y cartón como dieléctrico y situado debajo del aparato, cerrando el interior de la caja de madera.

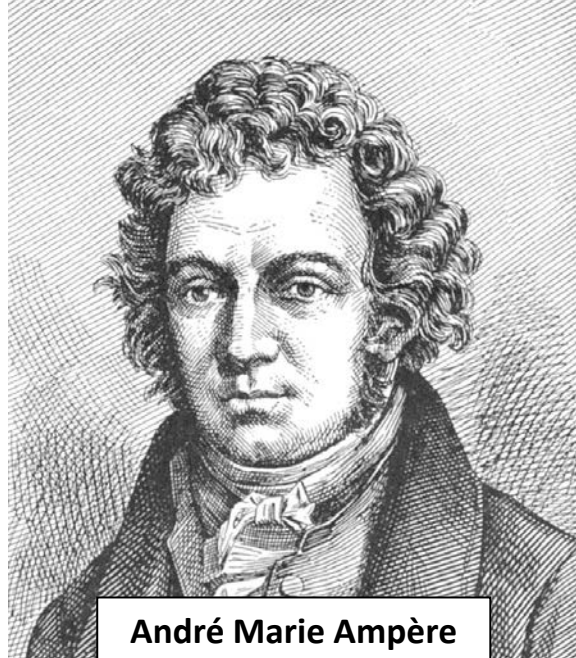




## PÉNDULO MAGNÉTICO

Ref.- EMEL-03-1

En 1824 A. M. Ampère (1775-1836) inventó el galvanómetro y estableció las leyes que gobiernan las fuerzas entre corrientes eléctricas y entre éstas e imanes. Es famosa la denominada mesa de Ampère, formada por un conjunto de cables, espiras, imanes y resortes, con la que investigó esas fuerzas. A partir de esa fecha surgieron diferentes tipos de galvanómetros pero también se desarrollaron los llamados galvanoscopios, que no pretendían efectuar medidas cuantitativas sino más bien experiencias y demostraciones cualitativas. Eran de tipo muy diverso y muchas de ellas mostraban el movimiento de conductores con contactos deslizantes sobre mercurio.



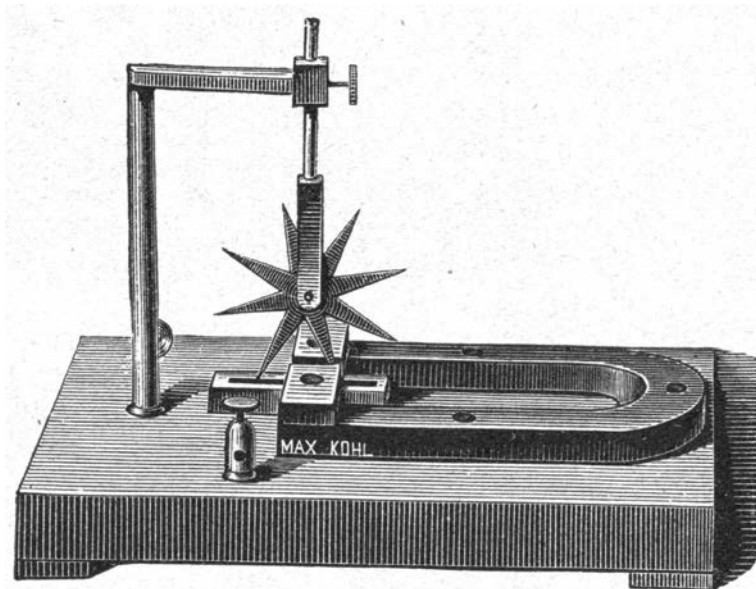
Aquí presentamos un aparato de ese tipo que hemos denominado péndulo magnético. Fue fabricado hacia 1900 por la firma Max Kohl A. G., Chemnitz, Alemania. Está formado por una base de madera sobre la que se ha dispuesto un imán en forma de herradura y cerrando el circuito magnético una armadura de hierro blando. Hay una navecilla de madera próxima a los polos del imán, con un hilo conductor unido a un borne de conexión. El otro borne alimenta un soporte del que se cuelga otro conductor (péndulo) que cierra el circuito tocando el mercurio que se coloca sobre la citada navecilla. El campo magnético en la región del mercurio es muy débil y no se observa prácticamente ningún efecto hasta que se suprime la armadura de cierre del imán. Entonces aumenta el campo notablemente y se desplaza el péndulo un pequeño ángulo a derecha o izquierda según el sentido de la corriente, de acuerdo con la expresión  $\mathbf{F} = I \mathbf{L} \times \mathbf{B}$ . El fabricante aconseja trabajar con una corriente de 4 A, muy pequeña para observar esas fuerzas ya que el campo magnético creado por ese imán es muy débil.



## PÉNDULO MAGNÉTICO

Ref.- EMEL-03-1

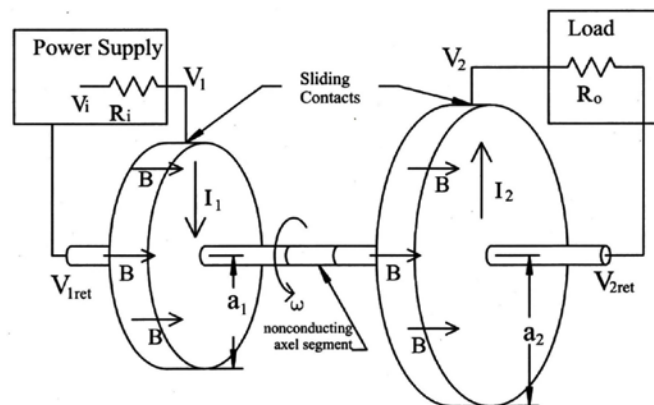
Realmente el sistema funciona como la rueda de Barlow que también podría incorporarse a este aparato, como se muestra en el grabado adjunto.



Es de señalar que la rueda de Barlow y el disco de Faraday son un mismo sistema con comportamiento recíproco. El primero es un motor homopolar y el segundo es un generador homopolar. Los motores y generadores homopolares se usan muy poco pues la presencia de un contacto deslizante en la periferia del disco (para evitar el tóxico mercurio) hace que presenten muy bajo rendimiento. Sin embargo su interés es indudable cuando se trata de generar intensidades de corriente continua extremadamente altas.

El estudio detallado de generador y motor da origen a múltiples discusiones acerca de la ley de Faraday. Especialmente famosa es la paradoja de Faraday en la que se dispone un imán cilíndrico y coaxial con él un disco conductor y un voltímetro.

Por fin, otro aspecto de interés es la posibilidad de hacerlos trabajar conjuntamente en el seno de un campo  $\mathbf{B}$  (ver figura) y diseñar lo que llamaríamos transformador de DC pues, en el caso ideal de velocidad constante y despreciando la fricción e igualando par motor y resistente,  $\tau_1 = \tau_2$ ,  $I_1 a_1^2 = I_2 a_2^2$ ,  $V_1 a_2^2 = V_2 a_1^2$  y  $I_1 V_1 = I_2 V_2$ , que es la conocida relación del transformación.



## MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA PARA ENFERMEDADES NERVIOSAS

Ref.- EMEL-07-1

El desarrollo de las máquinas electrostáticas de fricción comenzó a principios del siglo XVIII y muy pronto la medicina se interesó por la *nueva ciencia de la electricidad*. Comenzó una nueva forma de tratamiento médico llamada electroterapia que inicialmente se sirvió de técnicas electrostáticas con breves pulsos de corriente sobre el paciente y después con débiles corrientes mantenidas con pilas electroquímicas. El tratamiento abarcaba la parálisis, la gota, dolor de dientes, disfunciones nerviosas, etc. A partir del descubrimiento en 1831 de la ley de inducción por M. Faraday (1791-1867) se desarrollaron también máquinas de corriente alterna, lo que abrió un nuevo campo a toda esta difusa y poco explicada ciencia.



La historia de la electroterapia es muy antigua y se remonta a la aplicación de las descargas del pez raya o pez torpedo (hasta 200 V y 1 A) en la época griega y romana. Estos peces pertenecen al género de los elasmobranquios y poseen órganos capaces de producir descargas eléctricas que el animal utiliza para capturar sus presas y defenderse.

Durante muchos años se aplicaron descargas eléctricas sobre el cuerpo humano sin conocimiento suficiente produciéndose graves daños e incluso la muerte (tortura, silla eléctrica). Aparte del éxito de la desfibrilación ventricular, hay que señalar que actualmente, la tecnología ha desarrollado numerosos aparatos para la aplicación de la electroterapia sin correr riesgos de efectos secundarios, aunque quizá tampoco primarios. Los más importantes son los electroestimuladores de alta o baja frecuencia. Sus efectos son muy discutidos pero hoy día se usan en analgesia, potenciación muscular, termoterapia, etc.

Nuestra máquina magnetoeléctrica para enfermedades nerviosas se diseñó por Joseph Gray & Son en Sheffield, Inglaterra, hacia 1850. Consta de dos bobinas que giran en las proximidades de los polos de un gran imán en forma de herradura, por lo que se induce en ellas una fuerza electromotriz. Las bobinas con núcleo de hierro se disponen en serie sobre un eje formado por dos semiejes coaxiales aislados, conectados cada uno a un terminal. En los lados derecho e izquierdo de la caja donde se aloja el dispositivo hay unos bornes para conectar los electrodos que se llevan al paciente (véase el cajón inferior). La máquina, que ganó premios en Londres (1862) y Paris (1878), genera unos pocos voltios de AC en vacío y una corriente de cortocircuito



## MÁQUINA MAGNETOELÉCTRICA PARA ENFERMEDADES NERVIOSAS

Ref.- EMEL-07-1

de fracción de amperio, cuando se acciona enérgicamente. Dispone de un yugo de hierro movable para cerrar el circuito magnético cuando la máquina está fuera de uso. En la tapa de la caja el propio fabricante nos indica cómo operar.

**DIRECTIONS:** Connect two metallic cords or wires with the Sockets in the end of the Box, and apply the handles connected with the other ends of the metallic cords to any part of the person through which is desirable to pass the current of Electricity. Then turn the Crank regulating the strength of the current by the speed and by the Knob at the end of the Box; it being desirable to increase the strength only to that degree most agreeable to the patient. It is less unpleasant to the patient if wet sponges are placed in the ends of the Handles, and these are applied to the skin, as they prevent the prickling sensation. In applying it for toothache, tic-dolorous or Neuralgia, the operator takes one handle and places his fingers on sponge over the part affected, while the patient holds the other handle. In applying to the foot, place one of the handles in the water with the foot, and hold the other in the hand, or apply it to any other part of the person. The bearings only need to be oiled occasionally.



## DIODO AZ11

Ref.- EMEL-21-2

**Principio físico:** La válvula de vacío fue descubierta por Sir John Ambrose Fleming en el año 1.904 (también llamada diodo). Consiste en un cátodo calentado mediante un filamento que actúa como emisor de electrones (Ef. Edison) rodeado por un ánodo frío (o placa) que actúa como receptor de los electrones, ambos terminales mutuamente aislados encerrados en un tubo de cristal del que se ha extraído el aire (Fig. 1). Si se aplica un potencial positivo al ánodo, éste atrae los electrones que se desprenden del cátodo incandescente produciéndose un flujo de corriente. Si se invierte la polaridad de la fuente los electrones son repelidos y la conducción se interrumpe dado que el ánodo frío no emite electrones. En esta situación, la válvula actúa como un diodo, es decir, permite la conducción en un sentido pero la impide en el contrario. Existe una gran diversidad de tipos de válvulas termoiónicas pero la mayoría comparten una serie de características comunes que se han ido potenciando al ir avanzando su desarrollo tecnológico (filamento, ánodo, cátodo, vacío, cerámicas).

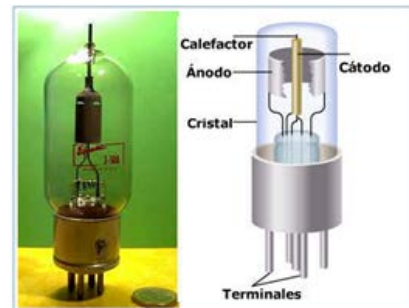


Fig.1. Válvula de vacío

**Fabricante:** Bajo el asesoramiento del Emperador Guillermo II, dos grupos de investigación rivales alemanes, el Siemens & Halske GmbH y el departamento de radiotelegrafía de AEG, se fusionaron el 27 de mayo de 1903, para formar la "Gesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH" (y la que a partir del 17 de Abril de 1904 sería "Telefunken, Gesellschaft für drahtlose Telegraphie").

**Características:** El AZ11 es un doble diodo de vacío, de potencia y rectificador de onda completa de marca Telefunken. Es similar al AZ1. Pertenece a la familia "Armonía" (1938) de TELEFUNKEN posterior a las series "Transcontinental" (1934) y "octal" (1936). Tiene un sistema de pines "G8A 8-pin" divididos en dos grupos asimétricos (5 y 3), por tanto, con alineación automática en el soporte. Además posee un eje central con un pasador. El modelo AZ11 tiene una envoltura de vidrio (diámetro de 35 mm y altura de 100 mm) y placas duales. La función de cátodo es realizada directamente por el filamento (válvula de caldeo directo) de 4 V y 1.1 A que tiene forma de V invertida recubierta con óxido y que está rodeada por el ánodo. La máxima tensión RMS permitida en el ánodo es 400 V y la corriente de 75 mA.



Fig.2. Envoltorio original del AZ11 y aspecto del AZ11

El AZ11 también se caracteriza por mostrar un halo *getter* redondo sobre el lateral. Un *getter* es un depósito de material reactivo o revestimiento (por ejemplo, magnesio) que se deposita en la superficie interior del vidrio formando un recubrimiento brillante, con el fin de completar y mantener el vacío. El *getter* adsorbe las moléculas de gas que puedan liberarse en el tubo, manteniendo la integridad del



## DIODO AZ11

Ref.- EMEL-21-2

vacío y si entrase aire en el tubo, el *getter* se vuelve blanquecino. Los compuestos absorbentes son especialmente importantes en los sistemas cerrados que debe mantener un vacío durante un largo tiempo (tubos de vacío, incluyendo tubos de rayos catódicos CRT, etc.). Además el tipo de depósito hace posible datar los tubos, y hacer que sea más fácil identificar tubos específicos. Este rectificador fue patentado por Robert Schmalstieg en 1942 y su hoja de especificaciones se muestra en la Fig. 3.

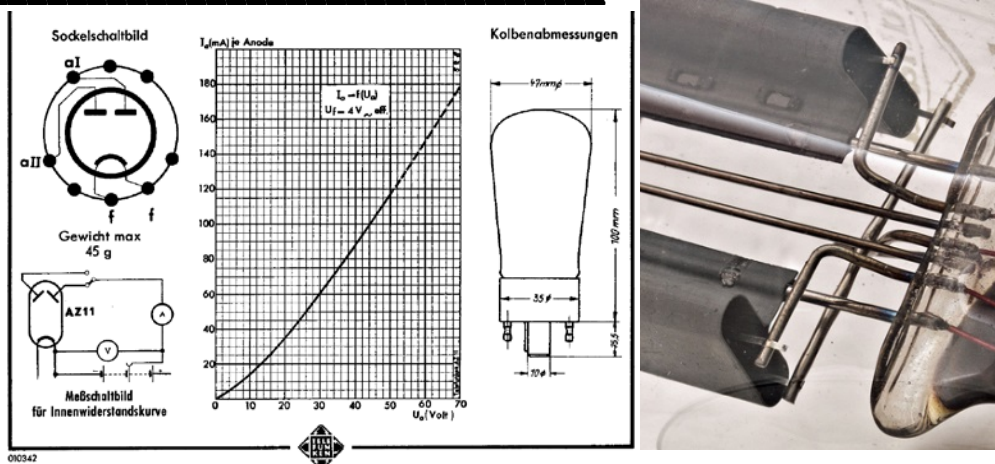


Fig.3. Conexión de los pines del AZ11, característica tensión-corriente (V-I) y dimensiones del AZ11. Detalle de la conexión de terminales

**Aplicaciones:** la “válvula diodo” fue uno de los primeros tipos de válvulas de vacío que se emplearon en el siglo pasado en los circuitos electrónicos analógicos. Sus funciones eran:

1.- En los radioreceptores domésticos de los años 40 del siglo pasado para rectificar la corriente alterna y convertirla en directa. El máximo valor del condensador de filtrado era de 60 uF.

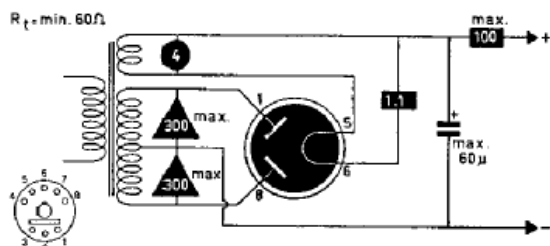


Fig.4. El diagrama de bloques del AZ11 utilizado como rectificador de onda completa (Courtesy Bureau Belper, De Muiderkring, Bussum). El símbolo de la Figura 3 indica una válvula rectificadora de onda completa con caldeo directo utilizada para rectificar la corriente alterna de red a gran potencia.

2.- Como “detectora” de las señales moduladas de alta frecuencia o radiofrecuencia que emiten las estaciones de radio, televisión y otras emisiones inalámbricas. La detección consiste en separar o demodular el sonido de baja frecuencia (audiofrecuencia) que viaja con las ondas portadoras de alta frecuencia, para que se puedan convertir de nuevo en audibles después de ser amplificadas.

**Fabricación:** Estos vídeos publicados por el veterano radioaficionado francés Claude Paillard, muestra las diferentes etapas de construcción de una válvula de vacío muy artesanalmente. Claude utiliza sus válvulas para montar su radio y comunicarse con radioaficionados de 4 continentes. No tiene explicaciones verbales pero el vídeo es detallado y muy

## DIODO AZ11

Ref.- EMEL-21-2

instructivo. <https://www.youtube.com/watch?v=CvGIQGTv3uA> y [https://www.youtube.com/watch?v=h0-U\\_WI\\_uls](https://www.youtube.com/watch?v=h0-U_WI_uls)

## TRIODO EM11 (OJO MAGICO)

Ref.- EMEL- 22 -2

**Principio físico:** El EM11 o indicador de ojo mágico (técnicamente tubo indicador de rayos de electrones, también llamado ojo de gato u ojo sintonizador *-tuning eye-* en Estados Unidos) es un tubo de rayos catódicos en miniatura que incorpora un triodo de amplificación de señal y que permite una indicación visual de la potencia de una señal electrónica iluminándose de color verde brillante. Fue inventado en 1937 por Allen B. DuMont<sup>1</sup>.

**Aplicaciones:** El EM11 de Telefunken se utilizaba como indicador de sintonización en los receptores de radio de gama alta, para dar una predicción cualitativa de la potencia relativa de la señal de radiofrecuencia recibida en una emisora cuando estaba sintonizada adecuadamente. Se utilizaron en los receptores desde 1938 hasta 1980 y fueron desarrollados como una alternativa más económica a los medidores de movimiento de aguja fabricados mediante el mecanismo de D'Arsonval. No fue década de 1960 que los medidores de aguja reemplazaron a los medidores de ojo de gato.

**Fabricación:** El dispositivo consta de una válvula con dos conjuntos de electrodos, un amplificador de triodo y una sección de visualización (Fig. 1). La forma de la dicha sección hizo que se acuñara la expresión de "ojo mágico" dado que consiste en un ánodo (target) de forma cónica fluorescente, recubierto con silicato de Zinc o similar, que solía estar directamente conectado a la plena tensión positiva receptor y una gorra o tapa oscura (final del cátodo común) que oculta la luz roja del cátodo caliente que posee una tensión de 150-200 V negativa con respecto al ánodo (Fig.1 abajo).

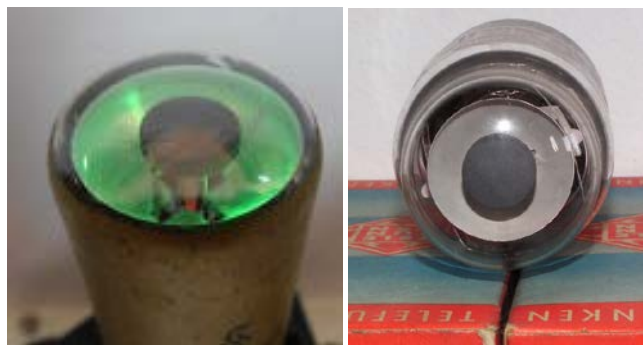
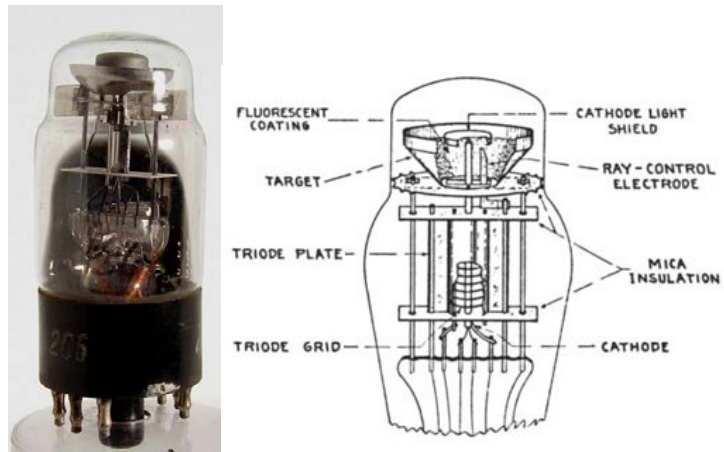


Fig.1. Triodo EM11 o indicador de sintonización (ojo mágico) y diagrama mostrando la construcción física de los componentes. Región de visualización del ojo mágico (abajo).

**Funcionamiento:** Cuando el receptor está encendido, el haz de electrones que sale del cátodo central incide en el ánodo fabricado con material fluorescente que forma el objetivo haciendo que se ilumine en verde

y creando una iluminación en forma de dos abanicos simétricos. La rejilla de control de la sección del amplificador triodo está conectada al mando de sintonización del receptor (potencia de la señal recibida) produciendo el efecto de que la zona luminosa crece o decrece según el nivel de señal. Al sintonizar correctamente la brecha en el ojo se vuelve más estrecha y la señal más luminosa lo que suponía una gran ayuda visual al oído. En la actualidad existen técnicos de radio que quieren incluir estas antiguas válvulas a los aparatos modernos de radio y de reproducción musical, como un elemento atractivo y al mismo tiempo funcional.

## TRIODO EM11 (OJO MAGICO)

Ref.- EMEL- 22 -2

**Aplicaciones:** Se utilizaba en receptores de radio de marca Blaupunkt, Schaub, Tesla, Grundig, Telefunken, Eldyn Radio Berlin, Telephon-Fabrik, AG vorm. J. Berliner, Ingelen, Minerva y otros muchos.

**Otras aplicaciones:** Además de su principal utilización, el ojo mágico fue utilizado para otras aplicaciones, como dispositivos de test o dispositivos de medida electrónicos. A finales de los años

30 y a principios de los 40 el tubo de ojo mágico fue una opción más atractiva para los inventores que el medidor de aguja. General Motors, RCA, General Electric, Raytheon y otras muchas compañías diseñaron y patentaron muchas piezas de equipamiento utilizando el tubo de ojo mágico. Entre ellos, indicadores de nivel de grabación para magnetófonos, puentes de inductancia (la mayoría de los puentes de capacidades y capacitores fabricados antes de la electrónica de estado sólido empleaban

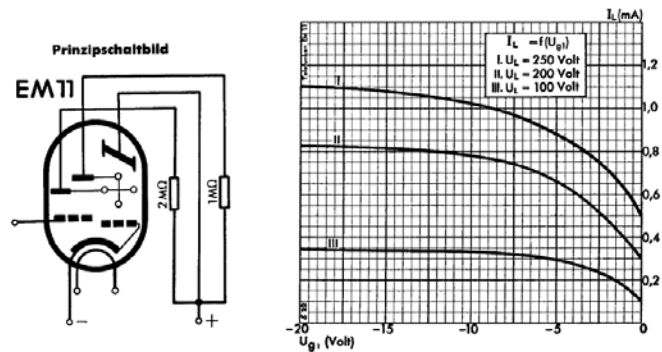


Fig.2. Principio de funcionamiento y características corriente-tensión de la valvula triodo del EM11.



Fig 3. RCA-Rider Chanalyst. <http://antiqueradio.org/art/RCACHanalyst06.jpg>

ojos mágicos como indicador de nulo, incluso aunque tuviera un medidor analógico incluido en el aparato de test).

Uno de los primeros equipos que utilizó el ojo mágico fue el RC-Rider Channalyst. Apareció en 1938 y era el sueño del técnico de radio. Cada uno de los tubos tenía una función de prueba incluidas en el receptor común: RF (radiofrecuencia), SI (frecuencia intermedia), y la AF (audio), el oscilador local, y una prueba de consumo de potencia (vatímetro). El manual no sólo proporciona instrucciones de uso del instrumento real, sino que también da grandes consejos para el diagnóstico y la reparación de equipos

<sup>1</sup>US 2098231, DuMont, Allen B., "Cathode ray device", published May 28, 1932, issued November 9, 1937

<sup>2</sup> Más información en: <http://vieux.postes.pagesperso-orange.fr/oeil/indicateurs.htm>

Funcionamiento del EM11 en un receptor de radio:

<sup>3</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo\\_m%C3%A1gico#mediaviewer/File:Em11-ani.gif](http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo_m%C3%A1gico#mediaviewer/File:Em11-ani.gif)

<sup>4</sup><https://www.youtube.com/watch?v=QsXyYC-4knc>



## TELÉGRAFO

Ref.- EMEL- 23-1

**Historia del telégrafo:** En la época moderna, durante siglos XVII y XVIII, se intentaron diversos experimentos de comunicación a distancia valiéndose de nuevos descubrimientos científicos. Fue en el año de 1794 cuando C. Chappe<sup>1</sup>, después de intentar construir un telégrafo eléctrico y otro acústico, construyó en Paris y Lille una línea telegráfica óptica. Este sistema se extendió rápidamente cubriendo en poco tiempo una longitud de 5.000 Km. El problema de este tipo de telégrafos era el tiempo consumido entre el origen y el destino.



Fig.1. Telégrafo de Chappe

La transmisión de mensajes de un modo semi-instantáneo sólo fue posible desde la aparición de la electricidad. Hubo que esperar a que Volta, a finales del siglo XVIII, descubriese la pila eléctrica y a que Ampère diese forma a las leyes que gobiernan el electromagnetismo. El telégrafo eléctrico fue inventado por el norteamericano Samuel Finley Breese Morse, en 1832 aunque no fue hasta 1940 (que presentó la patente del telégrafo eléctrico de código relativo y creó un alfabeto basado en la amplitud de las señales) que su invento no tuvo una verdadera capacidad de comunicación. Suponía un método fácil para establecer la comunicación entre dos puntos de una forma rápida y segura transmitiendo mensajes mediante impulsos eléctricos que circulaban por un único cable. El 6 de mayo de 1833, Carl Friedrich Gauss matemático, astrónomo y físico alemán en colaboración con otro físico, Ernst Heinrich Weber instalaron una primera línea telegráfica de 1000 metros sobre los tejados de Göttingen, Alemania (pueblo donde trabajaban) uniendo la universidad con el observatorio astronómico, y utilizándolo para comunicaciones regulares. El receptor Morse original disponía de un puntero controlado electromagnéticamente que dibujaba trazos en una cinta de papel que giraba sobre un cilindro. La longitud de los trazos depende de la duración de la corriente eléctrica que circulaba por los cables del electroimán, presentando el aspecto de puntos y rayas.



Fig.2. Samuel Finley Breese Morse

El telégrafo eléctrico fue el primer medio que tuvo rapidez en las comunicaciones, dejando de lado las distancias geográficas para lograr una comunicación instantánea, que fue la base de toda la evolución posterior de las telecomunicaciones. La primera línea telegráfica que unió Baltimore con Nueva York fue inaugurada en 1844. Y el éxito rápidamente coronó el invento y se extendió por todo el mundo. Ya en 1850 se intentaba extender un cable submarino que uniera a Inglaterra y Francia. El cable submarino a través del Atlántico fue una tarea mucho más ardua. Muchas

## TELÉGRAFO

Ref.- EMEL- 23-1

tentativas infructuosas se sucedieron hasta que en 1866 se logró unir las dos márgenes del Océano Atlántico conectando Europa y América. Antes de la muerte de Morse (2 de abril de 1872, Nueva York) el sistema se había generalizado como código americano. En 1851, una comisión de los estados europeos introdujo una serie de innovaciones destinadas a simplificar algunas de las firmas del código, con lo que surgió el llamado Código Morse Internacional o Continental. Para el año 1866, se establece el Departamento de Comunicaciones en Estados Unidos. Este incluía el servicio postal y el telégrafo<sup>2</sup>.

### Características y principio de funcionamiento del telégrafo de Morse:

Materiales: madera, metal, latón, acero, cobre, tela y papel. – El emisor del aparato de Morse, que emitió el primer telegrama público en 1844, tenía forma de conmutador eléctrico. Es básicamente un electroimán conectado a una batería por medio de un interruptor. Cuando el interruptor está abajo, la presión de los dedos permitía el paso de la corriente de la batería que pasaba a través de la llave por el hilo y alcanzaba el altavoz remoto al final de la línea y a continuación la anulaba. El telégrafo sólo puede, por tanto, transmitir dos estados: encendido y apagado. Es por ello que S. F. B. Morse inventó un alfabeto capaz de transmitir cualquier palabra a través de su invento codificando cada letra de una forma distinta, por ejemplo: la letra A se codificaba mediante un punto y una raya, es decir, una emisión corta de señal y otra larga.



Fig.3. Emisor MORSE

El receptor de cinta morse o telégrafo eléctrico se monta sobre una base de madera y se compone de una parte eléctrica y una parte mecánica. Es un electroimán que se activa al pasar la corriente; su armadura lleva una pluma entintada (en los primeros tiempos llevaba el punzón seco) que se apoya en una cinta de papel. Esta cinta, mediante un mecanismo de relojería, va deslizándose sobre un rodillo, de modo que si la pluma, o en su caso el punzón seco, permanece apoyada sobre ella en un tiempo corto, ya que el electroimán ha estado actuando poco tiempo, queda la marca de un punto, y si la pluma permanece apoyada más tiempo en la cinta se registra una raya. Los tiempos de actuación del electroimán los regula el manipulador que abre y cierra el circuito.



Fig.4. Receptor MORSE de la USAL

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=zfN3JmKqiKc> Telégrafo óptico o telégrafo de Chappé (telégrafo napoleónico)

<sup>2</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Telegraphy>

## PENTODO EL11

Ref.- EMEL- 24-2

**Principio físico:** Se denomina pentodo a la válvula termoiónica de vacío que contiene cinco electrodos en este orden: un cátodo calentado por un filamento, una rejilla de control, una rejilla de cuadrícula, una última rejilla supresora, y una placa (ánodo).. Muy parecida funcionalmente al triodo, salvo que posee tres rejillas en vez de una sola (llamado "amplificador de triple rejilla" en alguna literatura temprana). Fue inventado por Gilles Holst y Bernhard Dominicus Hunbertus Tellegen en el año 1926<sup>1</sup>.

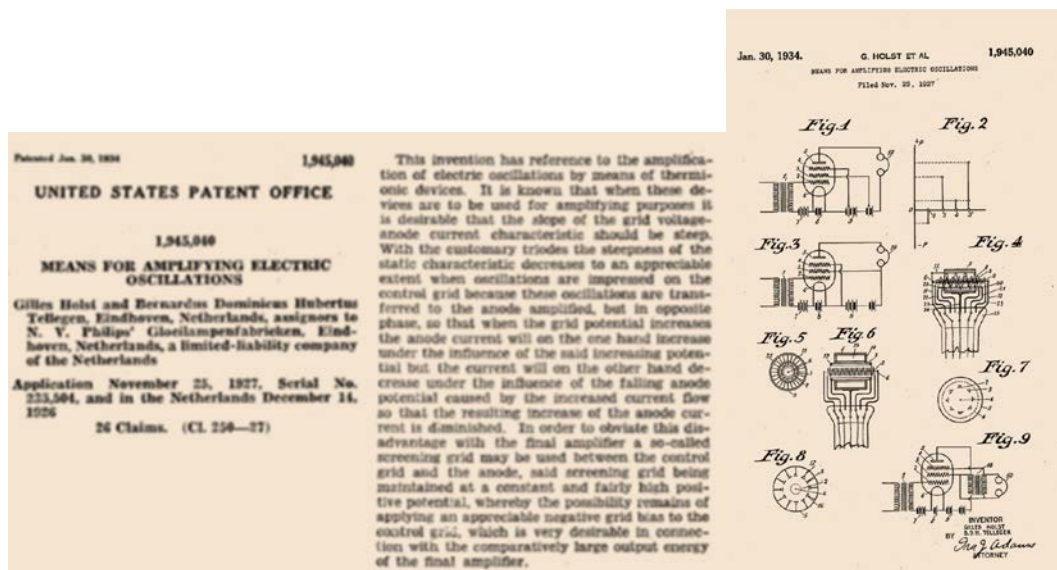


Fig.1. Patente Pentodo de vacío

La razón para añadir una tercera rejilla (rejilla supresora) a la válvula de cuatro electrodos (tetodo) es que aunque con la segunda rejilla se aumentaba la amplificación a frecuencias más altas, había un inconveniente: se producía una emisión secundaria en la placa que causaba inestabilidades y una gran distorsión en las señales amplificadas. En muchos pentodos la rejilla supresora va unida internamente al cátodo. De este modo el pentodo tiene una mayor corriente de salida y una mayor variación en el voltaje de salida, amplificando incluso cuando el voltaje en la rejilla es inferior al del ánodo/placa<sup>2,3</sup>.

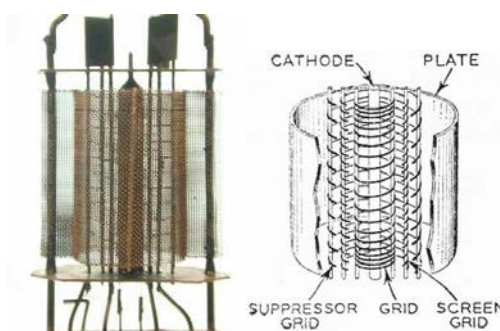


Fig.2. Aspecto interno del EL11. Colocación de las rejillas en un pentodo.

**Características:** Los pentodos fueron diseñados antes del comienzo de la II Guerra Mundial, y utilizados extensamente en equipos de radar y otros equipos electrónicos militares. Los pentodos contribuyeron a la preponderancia electrónica de los Aliados. Después de la Segunda Guerra Mundial, pentodos fueron ampliamente utilizados en equipos industriales y de consumo electrónicos, como los receptores de radio

## PENTODO EL11

Ref.- EMEL- 24-2

y de televisión, hasta la década de 1960, cuando fueron reemplazados por los transistores de estado sólido. Sin embargo, estos dispositivos se siguen utilizando en ciertas aplicaciones: aplicaciones industriales de alta potencia, transmisores de radio de gama alta y alta potencia y aplicaciones de audio profesionales, preamplificadores de micrófono y amplificadores de guitarra eléctrica. Son particularmente apreciados en las etapas de amplificación de potencia de los transmisores fijos de radioaficionados, donde se usan por varias razones: presentan una mejor linealidad que los amplificadores a base de transistores, son de construcción más sencilla y tienen una excelente relación potencia/coste<sup>4</sup>. Las grandes reservas de los países de la antigua Unión Soviética han proporcionado un suministro constante de este tipo de dispositivos.

**Fabricante:** EL11 de Telefunken fue fabricado por primera vez en 1938. El EL11 es un pentodo de salida de audio con una base G8A 8 continental. En un dispositivo de Clase A, se consigue una salida de 4.2 Watios (8.2 W en clase AB1) con una distorsión del 10% de distorsión. En Clase AB1 un par puede generar 8,2 vatios. Las dimensiones del tubo clásico es de 44 mm de diámetro, y (excluyendo sus patillas) 113 mm de altura. El EL11 es totalmente idéntico a la EL3N de la serie roja Philips que se fabricó en 1936.

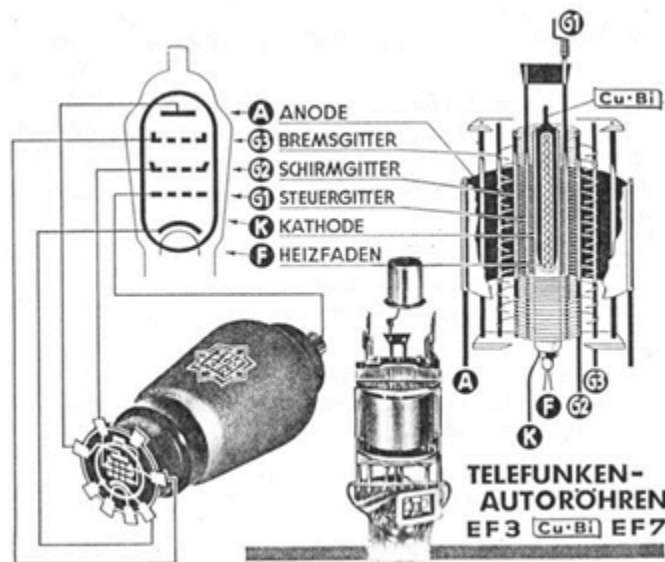


Fig.2. Aspecto exterior del EL11

<sup>1</sup> G. Holst and B.D.H. Tellegen, "Means for amplifying electrical oscillations", US Patent 1945040, January 1934.

<sup>2</sup>Stuart, B & Snow, H. A. (1930). Reduction of Distortion and Cross-Talk in Radio Receivers by Mean of Variable-Mu Tetrodes. Proc IRE, Vol 18, Issue 12, pp2102 - 2127

<sup>3</sup><http://w5jgv.com/downloads/RC-14.PDF>

<sup>4</sup><http://www.astrosurf.com/luxorion/qs1-amplifier-principle.htm>



## COLORIMETRO VISUAL de Gallenkamp-Heele

Ref.- EMEL- 25-1

**Colorímetro visual:** El término colorímetro se refiere a un instrumento utilizado para determinar la concentración de una especie coloreada en solución mediante la igualdad de su intensidad de color con la de una solución de concentración conocida para la misma especie. La ciencia o arte de su uso se denomina fotocolorimetría y está regida por leyes físicas muy estudiadas.

**Historia:** Desde la antigüedad se tiene conocimiento de sustancias que tienen color y que por medio de reacciones químicas los fluidos se pueden teñir específicamente. La intensidad del color es una medida de la concentración del componente: más fuerte es el color, mayor es la concentración de la sustancia a analizar. Los incipientes y multifacéticos ópticos, químicos y físicos de la época, fueron desarrollando instrumentos para poder cuantificar esos colores y determinar la concentración exacta en el que la intensidad de color de la muestra a determinar se compara con la de una solución patrón cuya concentración es conocida. Un gran adelanto fue el colorímetro del parisino Jules Duboscq (diseñado en 1868), quien desarrolló un instrumento para medir, variando la altura de las muestras, su relación entre el patrón y el desconocido. La luz necesaria era proporcionada por el sol mediante un espejo (situado en la parte inferior), como los primeros microscopios. Varios instrumentos se desarrollaron según ese principio, desde simples comparadores ópticos hasta complejos instrumentos de medición<sup>1</sup>. En 1879 un farmacéutico alemán, H. C. Wolff, sustituyó el sistema mecánico de variación de la posición de los émbolos por un sistema de evacuación de líquidos al emplear como recipientes contenedores de líquidos dos buretas especiales (denominadas cilindros Hehner), abriendo una u otra llave conseguía equilibrar las columnas de líquido de la muestra problema y de la disolución de referencia que producían una misma percepción óptica en el observador.

**Principio físico:** El colorímetro es un aparato basado en la ley de absorción de la luz habitualmente conocida como de "Lambert-Beer". Lambert (1728-1777) realizó sus principales contribuciones en el campo de la matemática y la física y publicó en 1760 un libro titulado *Photometria*, en el que señalaba la variación de la intensidad luminosa al atravesar un rayo de luz un cristal de espesor  $d$  podía establecerse como  $I = I_0 e^{-kd}$ , siendo  $k$  un valor característico para cada cristal<sup>2</sup>. En 1852, August Beer (1825-1863) señaló que esta ley era aplicable a soluciones con diversa concentración y definió el coeficiente de absorción molecular ( $k$ , coeficiente de absorción molecular, característico de la sustancia absorbente para la luz de una determinada frecuencia) con lo que sentó las bases de la fórmula que seguimos utilizando actualmente:  $\ln(I/I_0) = -k c d$ , siendo  $c$  la concentración molecular de la disolución y  $d$  el espesor de la capa absorbente. Esta propiedad comenzó a ser utilizada con fines analíticos gracias a los trabajos de Bunsen, Roscoe y Bahr, entre otros.

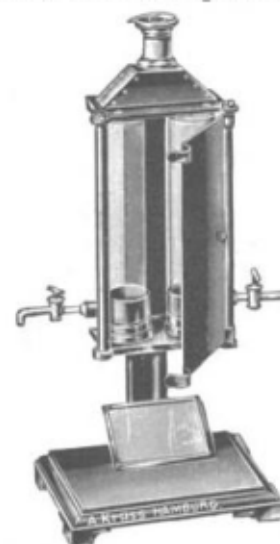


Fig.1. (Arriba) Colorímetro de Duboscq. (Abajo) Colorímetro de Wolff

## COLORIMETRO VISUAL de Gallenkamp-Heele

Ref.- EMEL- 25-1

**Fabricante:** W. Gallenkamp obtuvo su patente para la forma más básica de este colorímetro en 1891 y el artesano Hans Heele en Berlín hizo varios instrumentos de esta clase. El colorímetro contiene dos tubos huecos (cilindros de Hehner), uno que sostiene la muestra y el otro un líquido estándar por donde pasa la luz a través del espejo situado en la parte superior mientras que el visor está situado en la parte inferior del aparato.

Las firmas Richards&Co. de Nueva York y The Denver Fire Clay de Denver<sup>3</sup> (Fig. 2) ofrecían un "Gallenkamp-Heele's Colorimeter" (Fig. 4) en 1896 indicando: "con escala directa de porcentaje; ajuste fácil y rápido que permite lecturas muy precisas. Adaptado para las fábricas de azúcar, establecimientos de teñido, etc." y costaba \$ 85. Este instrumento está marcado "Hans Heele, Berlín". Debió de ser fabricado antes de 1923, cuando la empresa de Heele fue comprada por Bamberg.

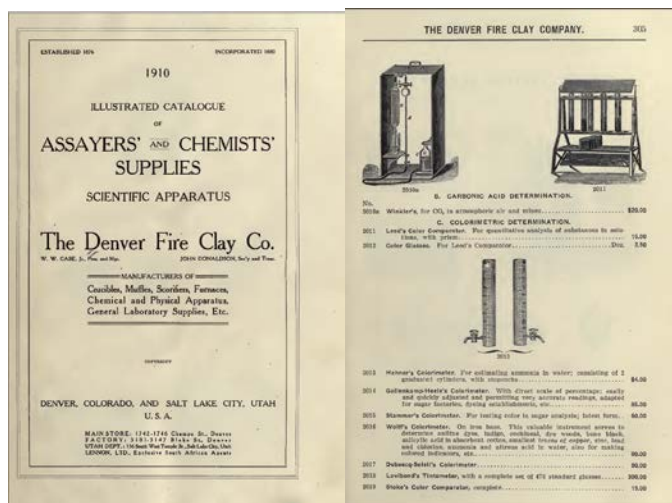


Fig.2. Catálogo visual de la Compañía "The Denver Fire Clay"<sup>3</sup>. Página donde se referencian las buretas de Hehner y el Colorímetro de Gallenkamp-Heele (aunque desgraciadamente no se muestra su fotografía).



Fig. 3. Portada del catálogo del artesano Hans Heele de 1907



Fig. 4. Colorímetro de Hans Heele

<sup>1</sup> Oesper Museum Booklets on the History of Chemical Apparatus. No. 4. COLORIMETERS. William B. Jensen. University of Cincinnati

<sup>2</sup> "Bioquímica práctica". David T Plummer; Luis Alejandro Barrera; Carlos Corredor. MacGraw-Hill Latinoamericana, Bogotá. 1981.

<sup>3</sup>The Denver Fire Clay Co. Illustrated Catalogue of Assayers and Chemist Supplies. Scientific Apparatus. 1910. Denver Colorado. USA.

## PLANO INCLINADO de Max Kohl

Ref.- EMEL- 26-2

**Descripción:** Consiste en un plano que se puede inclinar con ángulo de inclinación conocido. Se utiliza para el estudio de los movimientos.

**Material:** Madera y metal.

**Fecha de adquisición:** desconocida.

**Colección:** Mecánica de sólidos

**Funcionamiento:** Consta de una mesa, cuya horizontalidad se asegura mediante una plomada y unos tornillos de nivel, y de un cuadrante a lo largo del cual puede moverse un plano cuya inclinación se mide por las divisiones de aquel. 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, el peso que situamos en el carrito, y el peso que pende del extremo de la polea. El carrito y sujeto por un cordón que pasa por la polea, puede ser arrastrado a lo largo del plano por la componente tangencial del peso. Se demuestra que la fuerza que equilibra el carrito depende de la inclinación de éste<sup>1</sup>. En los libros de finales del XIX figura la ley del plano inclinado como  $\text{Potencia} \cdot \text{Longitud del plano} = \text{Resistencia} \cdot \text{altura del plano}$ . Los primeros estudios teóricos relacionados con el plano inclinado pueden remontarse a los trabajos, por ejemplo, de Leonardo da Vinci (1452-1519), Stevin y Galileo.

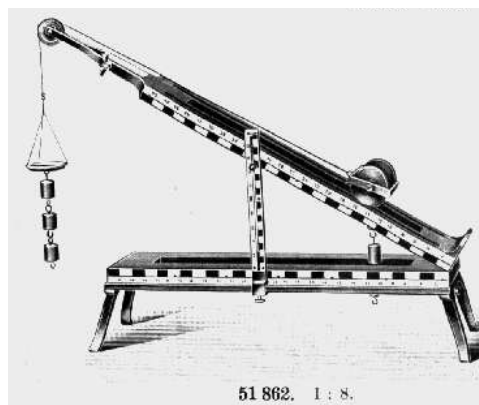


Fig. 1. Plano inclinado

### Así era descrito en los libros de la época:

- Muchos son los aparatos que se han ideado para demostrar las leyes de la caída de los cuerpos, y entre ellos citaremos el plano inclinado, la máquina de Atwood y el cilindro giratorio de M. Morin [...]. Plano inclinado es todo plano que forma con el horizonte un ángulo menor que un recto. Cuanto más agudo es éste ángulo, tanto más débil es la velocidad de un cuerpo que desciende á lo largo del plano inclinado<sup>2</sup>.
- Es una máquina que se reduce á una superficie plana formando con el horizonte un ángulo menor de 90º, sostenida convenientemente para que se puedan elevar o bajar por ella objetos pesados<sup>3</sup>.

**Fabricante:** Muchos de los aparatos de esta exposición llevan grabada la siguiente inscripción: Max Kohl, Chemnitz. Se refiere a la empresa que los fabricó. La empresa era utilizada por científicos de toda Europa y esto les permitía ir perfeccionando los aparatos y fabricando cada vez más modelos. Vendía al mundo entero y sus talleres en 1900 alcanzaban más de 6.500 metros cuadrados. (Max Kohl. Catálogo: Appareils de Physique. nº 22, abril de 1905). Su representante en España era Teresa Quesada, viuda de Aramburu con dirección en calle Príncipe 12, Madrid. Empresa muy destacada que recibió todo tipo de condecoraciones en las exposiciones de su época: 1893 en Chicago; en 1897 consigue medalla de oro en Leipzig ; en 1900, medalla de oro en la Exposición Universal de París; en 1903, diploma y medalla de oro en Aussig y en 1904 medalla de oro en Atenas. Los pedidos se hacían directamente a Max Kohl. Todos los gastos de embalaje y de transporte corrían a cargo del comprador, pero la empresa tenía acuerdos con transportistas y agentes de aduana para que facilitaran las adquisiciones.

## PLANO INCLINADO de Max Kohl

Ref.- EMEL- 26-2

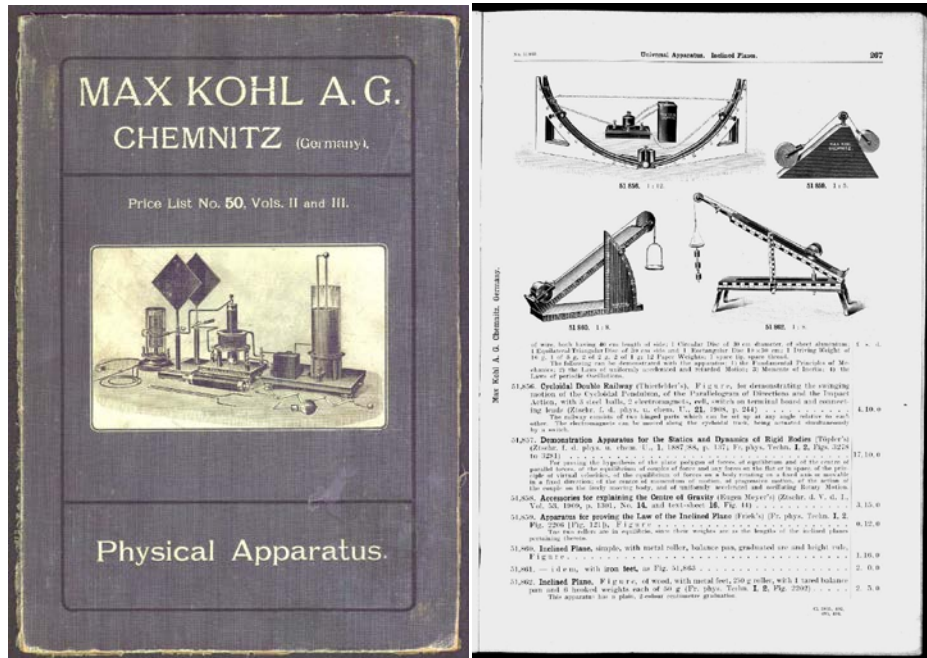


Fig. 2. Max Kohl A.G. Chemnitz. Catálogo: Appareils de Physique. nº 50, abril de 1911.



Fig. 3. El plano inclinado didáctico que se conserva similar al del catálogo de Max Kohl (Nº1862 Max Kohl p.267). La base se encuentra en buen estado pero no se conservan los pesos del carrito ni de la polea. Un plano inclinado similar se conserva en 4.

<sup>1</sup> Marcolain San Juan, R. Pedro. Curso elemental de Física moderna, ilustrado con 894 grabados de los mejores artistas y redactado con arreglo a los últimos puntos de vista científicos. 2ª edición. Tipografía de Emilio Casañal, Zaragoza, 1900.

<sup>2</sup> Ganot, A. (1862), Tratado elemental de física. Madrid, Carlos Bailly-Bailliére. pp. 36.

<sup>3</sup> Valladares, B. (1900), Tratado de física elemental. Bilbao, Imprenta del Corazón de Jesús. pp. 105.

<sup>4</sup> Catálogo del material antiguo de física y química del Museo Bartomé Cossio. Facultad de Educación. Centro del Profesorado. Universidad Complutense de Madrid.



## LÁSER DE HELIO-NEÓN de Leybold-Heraeus

Ref.- OPT-27-1

**Descripción:** Láser de helio-neón junto con su fuente de alimentación, de la casa Leybold-Heraeus.



Figura 1. Láser de helio-neón (izquierda) y fuente de alimentación (derecha)

**Fecha de adquisición:** 1973. Es uno de los primeros láseres que se adquirieron en la Universidad de Salamanca.

**Principio físico:** Un láser<sup>1</sup> es una fuente de luz que se basa en el proceso de amplificación de la radiación estimulada, a diferencia de las fuentes de luz convencionales, tanto naturales como artificiales, basadas en la emisión espontánea. En el mecanismo de emisión estimulada, un medio inicialmente excitado puede desexcitarse hacia un nivel de energía inferior por la interacción con un fotón de la frecuencia adecuada. En ese proceso de desexcitación el medio emite otro fotón idéntico al primero. Bajo ciertas condiciones la emisión estimulada puede amplificarse dando lugar a la radiación láser. Esta radiación se caracteriza por su monocromaticidad (un solo color puro), su direccionalidad (un haz bien dirigido) y su

## LÁSER DE HELIO-NEÓN de Leybold-Heraeus

Ref.- OPT-27-1

coherencia (una fase bien definida). Estas tres propiedades son esenciales en las aplicaciones de la radiación láser.

**Historia:** El primer láser en el rango visible fue construido por Theodore Maiman en 1960, aunque desde la década anterior existían los máseres, su equivalente en el rango de microondas. Aquel primer láser era de estado sólido, siendo su medio activo un cristal de rubí. A finales del mismo año 1960, Ali Javan y William R. Bennett Jr., de los laboratorios Bell, inventaron el láser de helio-neón, el primero de gas<sup>2</sup>. El láser de helio-neón tiene un funcionamiento relativamente sencillo. Se bombea con una descarga eléctrica en la mezcla de gases, lo que genera la inversión de población (alta excitación de los átomos de gas) necesaria para que se produzca la emisión láser. Puede emitir de forma continua en varias longitudes de onda, siendo la más habitual la de 633 nm, en el rojo.

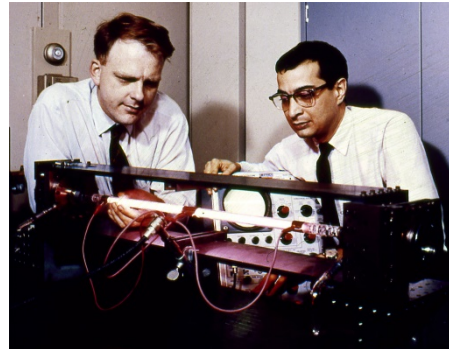


Figura 2. Javan y Bennett Jr. con el primer láser de helio-neón.

**Uso:** El de helio-neón es un láser relativamente barato, muy estable, que dura años y se ha utilizado ininterrumpidamente desde su invención en aplicaciones científicas (interferometría, holografía, alineamiento, etc.). En la vida cotidiana también ha tenido muchas aplicaciones (lectores de códigos de barras, impresión láser), aunque ha sido desplazado por láseres de diodo, más compactos y baratos.

**Fabricante:** Leybold fue una compañía fundada en Colonia (Alemania) por Ernst Leybold en 1850. A inicios del siglo XX se especializó en bombas de vacío y material didáctico. En 1967 se fusionó con Heraeus Hochvakuum, dando lugar a Leybold-Heraeus, que es el fabricante que aparece en nuestro láser. Actualmente la división de vacío pertenece al grupo suizo Oerlikon<sup>3</sup>, mientras que el material didáctico pasó a LD Didactic<sup>4</sup>, que sigue incluyendo láseres en su catálogo.

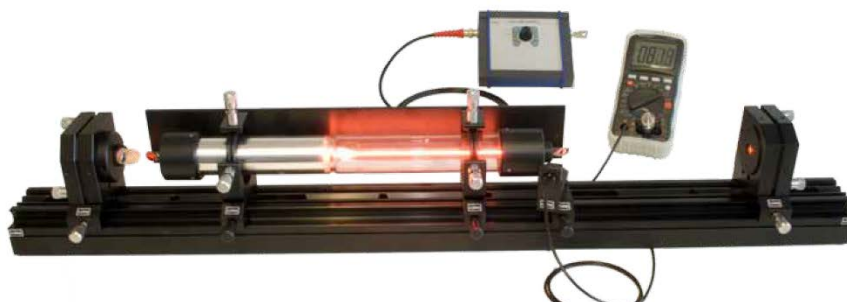


Figura 3. Láser de helio-neón de un catálogo actual de Leybold

<sup>1</sup> <http://optica.usal.es/gioe/libro.html>

<sup>2</sup> <http://physics.aps.org/story/v26/st24>

<sup>3</sup> <http://www.oerlikon.com/en/company/historical-milestones/>

<sup>4</sup> <http://www.ld-didactic.de/>

## MUESTRAS DE VIDRIO PARA REFRACTÓMETRO de Carl Zeiss

Ref.- OPT-28-1-

**Descripción:** Pequeñas muestras de vidrios ópticos de índice de refracción conocido en cajas de cartón. Estas muestras, de la casa Carl Zeiss, se utilizaban como patrones para calibrar un refractómetro de Abbe.



Fig.1. Muestras de vidrio para refractómetro

**Fecha de adquisición:** Desconocida.

**Principio físico:** El índice de refracción es una de las principales magnitudes ópticas de un material. Está relacionado con la velocidad de propagación de la luz dentro del material, es adimensional y no toma un valor constante, sino que depende de la longitud de onda de la luz, de la temperatura, de la presión, etc. Un refractómetro es un aparato empleado para medir índices de refracción<sup>1</sup>. Generalmente para dicha medida se hace pasar un haz de luz desde el medio cuyo índice se desconoce a otro de índice conocido o viceversa. El índice de refracción se halla a partir de la ley de la refracción, o ley de Snell,  $n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2)$ , siendo  $n_1$  el índice de refracción del medio de entrada,  $n_2$  el índice de refracción del medio de salida,  $\alpha_1$  el ángulo de incidencia en el primer medio y  $\alpha_2$  el ángulo de transmisión o refracción en el segundo, ambos medidos desde la dirección perpendicular a la superficie que separa ambos materiales. Para evitar tener que medir tanto el ángulo de incidencia como el de refracción para determinar el índice, puede medirse el llamado ángulo crítico de reflexión total, que verifica que  $n_1 = n_2 \sin(\alpha_c)$  cuando  $n_2 > n_1$ . A partir del ángulo crítico no hay refracción porque ningún ángulo de incidencia real puede cumplir la ley de Snell.

**Historia:** El refractómetro de Abbe<sup>2 3</sup> es uno de los primeros refractómetros de precisión que existieron. Creado por Ernst Karl Abbe en 1869, se ha seguido usando con pequeñas modificaciones y mejoras hasta nuestros días. En este aparato se sitúa el material cuyo índice de refracción se quiere determinar entre dos prismas de vidrio de índice conocido y se hace una medida del ángulo crítico de refracción entre ambos materiales. El medio que se caracteriza puede ser sólido, en forma de lámina, pero se utiliza más con líquidos que se depositan entre las caras de los dos prismas. Un refractómetro de Abbe suele tener un dispositivo que fija la temperatura de la muestra y permite determinar índices de refracción con precisión de hasta la cuarta cifra decimal. El índice de refracción hallado puede utilizarse como medida indirecta para conocer otras propiedades de la muestra, por ejemplo la concentración, en el caso de disoluciones, por ello estos instrumentos se han empleado mucho en el campo de la química.

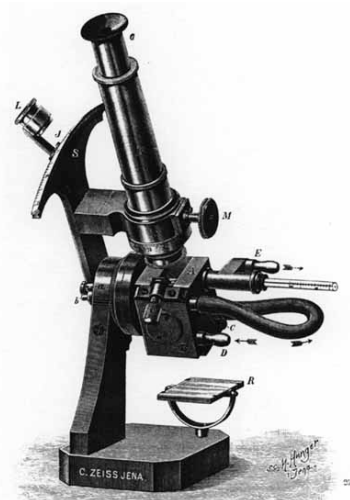


Fig. 1 (1/4 full size).  
ABBE Refractometer with Heatable Prisms.

Figura 1. Dibujo de refractómetro de Abbe de un catálogo de Carl Zeiss.

**Uso:** Las muestras de vidrio como las que se exhiben se utilizan como patrones de índice de refracción conocido para calibrar el ajuste del refractómetro antes de medir con él. Las muestras son de distintos vidrios ópticos de alta calidad y llevan inscrito el valor de su índice de refracción con cuatro cifras decimales,  $n_D$ , para la longitud de onda del doblete amarillo del espectro de emisión del sodio (589 nm).

## MUESTRAS DE VIDRIO PARA REFRACTÓMETRO de Carl Zeiss

Ref.- OPT-28-1-

Hasta la invención y el desarrollo del láser, las lámparas de sodio se han utilizado en los laboratorios de óptica como fuentes de luz casi monocromáticas y por ello esa longitud de onda era la de referencia.

**Fabricante:** Las muestras de vidrio son de la empresa Carl Zeiss. Se trata de una de las más importantes empresas de instrumentos y material óptico europeas<sup>4 5</sup>. Fundada inicialmente en 1846 como taller mecánico por Carl Zeiss en Jena, Alemania, pronto se convirtió en una respetada empresa por la calidad de sus productos. Carl Zeiss supo rodearse de grandes colaboradores, como el propio Ernst Abbe cuando era profesor en la Universidad de Jena, u Otto Schott, experto en la fabricación de vidrios ópticos. Abbe fue sin duda uno de los principales investigadores en el campo de la óptica en la segunda mitad del siglo XIX y a él se deben numerosas innovaciones en instrumentación y diseño óptico. Schott, con ayuda de Abbe, revolucionó la fabricación de vidrio óptico, que hasta aquel momento había sido una actividad artesanal basada en ensayo y error, para convertirla en algo científico. Con esa base creada en la segunda mitad del siglo XIX, y tras una historia llena de vicisitudes en el siglo XX, la empresa fundada por Carl Zeiss ha sobrevivido hasta nuestros días<sup>6</sup> y sigue siendo conocida por la calidad de sus productos.

No conocemos la fecha exacta de fabricación de los vidrios que se exponen, pero a partir de muestras similares y antiguos catálogos de Zeiss, datan posiblemente de los primeros años del siglo XX.



Fig. 02. The Zeiss Optical Works in Jena

Figura 2. Ilustración de las instalaciones de la casa Zeiss en Jena en 1902.



Fi

<sup>1</sup> <http://www.refractometer.pl/>

<sup>2</sup> <http://www2.humboldt.edu/scimus/Instruments/AbbeRefract-Zeiss/AbbeRefrZ07.htm>

<sup>3</sup> [http://www.musoptin.com/abbe\\_ref\\_2028.html](http://www.musoptin.com/abbe_ref_2028.html)

<sup>4</sup> <http://www.company7.com/zeiss/history.html>

<sup>5</sup> F. Auerbach, "The Zeiss Works and the Carl Zeiss stiftung in Jena; their scientific, technical and sociological development and importance", London, Marchall, Brookes & Chalkey, ltd. (1904). Existe un ejemplar online del catálogo de la Cornell University en <https://archive.org/details/cu31924012426841>

<sup>6</sup> <https://www.zeiss.com>



## TUBOS DE LÍQUIDOS FLUORESCENTES de Max Kohl

Ref.- OPT-29-1

**Descripción:** Caja de madera con seis tubos de vidrio que contienen líquidos fluorescentes: aesculina, eosina azul, eosina amarilla, fluoresceína, harmalina y rojo de Magdala.



Fig.1. Caja con tubos de líquidos fluorescentes.

**Principio físico:** La fluorescencia es la propiedad de ciertos átomos y moléculas de absorber luz de una determinada longitud de onda (fotones de “alta” energía) y reemitir poco después luz de longitud de onda más larga (fotones de “baja” energía)<sup>1 2</sup>. Cuando la reemisión se produce en escalas de tiempo mayores debido a la estructura de las moléculas se habla de fosforescencia. Tradicionalmente la fluorescencia en el rango visible se ha observado iluminando con luz ultravioleta ciertos compuestos que a continuación reemiten parte de la energía como luz visible. Dependiendo de los espectros de absorción y emisión del material fluorescente, muchas veces es posible utilizar luz visible en la zona del azul para desencadenar el proceso.

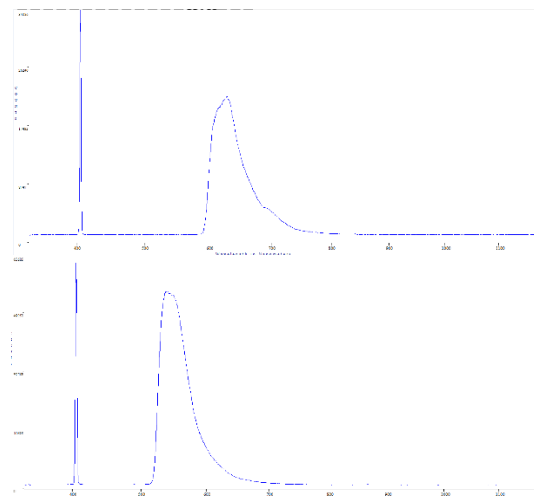
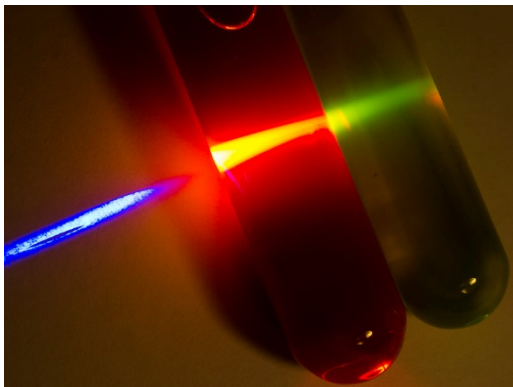


Fig.2. Fluorescencia del rojo de Magdala y la fluoresceína al iluminar las disoluciones con un láser azul. Izquierda: Fotografía del proceso de fluorescencia en ambos compuestos. Derecha arriba: Espectro de fluorescencia del rojo de Magdala en la zona roja del espectro visible (600-700 nm). Derecha abajo: Espectro de fluorescencia de la fluoresceína en la zona verde-amarilla del visible (500-600 nm). En ambas imágenes obtenidas con un espectrómetro puede observarse la línea de emisión del láser azul en 400 nm.

**Uso:** En la vida cotidiana estamos habituados al uso de materiales fluorescentes. El caso más familiar es el de las lámparas fluorescentes, que son lámparas de descarga que contienen vapor de mercurio. Al ser excitado el mercurio emite radiación que incluye luz ultravioleta. Esta luz genera un proceso de fluorescencia en unos compuestos fluorescentes situados en las paredes de la lámpara, que generan la luz visible blanca que observamos.

## TUBOS DE LÍQUIDOS FLUORESCENTES de Max Kohl

Ref.- OPT-29-1

Los líquidos fluorescentes tienen también aplicaciones científicas variadas. Una de las más importantes es la microscopía de fluorescencia, en la que tiñen las muestras que se quieren observar<sup>3</sup>.

Tubos como los de esta exposición, además de utilizarse para el estudio de espectros de absorción y emisión por fluorescencia, se emplearon también para realzar el efecto de iluminación de los “tubos de Geissler”<sup>4</sup>, versiones primitivas de lámparas de descarga en uso a finales del siglo XIX y principios del XX. Los líquidos fluorescentes podían rodear estos tubos para generar fuentes de luz coloreadas<sup>5</sup>.

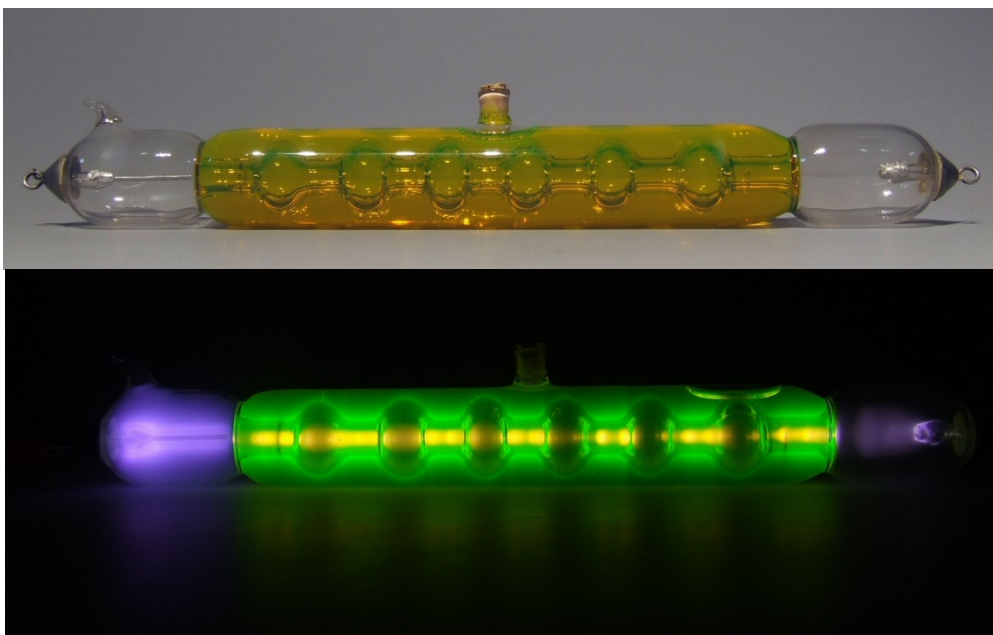


Fig.3. Tubo de Geissler con fluoresceína. Las imágenes del tubo apagado (arriba) y encendido (abajo) se han sacado de la web The Cathode Ray Tube site (<http://www.crtsite.com/page6-2.html>).

**Fabricante:** La caja de tubos fluorescentes está comercializada por Max Kohl, Chemnitz, importante fabricante alemán cuya historia se explica en otras fichas de esta colección. Cajas como esta de distintos tamaños (cuatro, seis, ocho, diez tubos) ya aparecen en catálogos de Max Kohl de la primera década del siglo XX<sup>6</sup>.



Fig.4. Inscripción en la caja.

<sup>1</sup> <http://www.webexhibits.org/causesofcolor/11AB.html>

<sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=CcssdJf0pKQ>

<sup>3</sup> <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/fluorescence/fluorhome.html>

<sup>4</sup> <http://www.crtsite.com/page6.html>

<sup>5</sup> <http://www.crtsite.com/tube%20info.html>

<sup>6</sup> <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/CF/Slsingle-record.cfm?AuthorizedCompany=Max%20Kohl%20%28Firm%29>

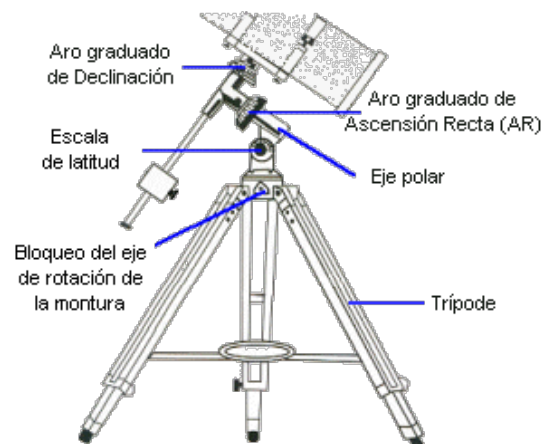
## TELESCOPIO de Max Kohl Chemnitz

Ref.- FISFUND-30-2

**Telescopio:** Se denomina telescopio (gr. τηλε 'lejos' y σκοπέω, 'observar') al instrumento óptico que permite ver objetos lejanos con mucho más detalle que a simple vista al captar radiación electromagnética, tal como la luz. Es una herramienta fundamental de la astronomía, y cada desarrollo o perfeccionamiento del telescopio ha sido seguido de avances en nuestra comprensión del Universo. Gracias al telescopio —desde que Galileo en 1609 lo usó para ver a la Luna, el planeta Júpiter y las estrellas— el ser humano pudo, por fin, empezar a conocer la verdadera naturaleza de los objetos astronómicos que nos rodean y nuestra ubicación en el Universo. Su invención no está clara, generalmente, se le atribuye a Hans Lippershey, un fabricante de lentes alemán, aunque recientes investigaciones atribuyen la autoría a un gerundense llamado Juan Roget en 1590. Galileo Galilei, al recibir noticias de este invento, decidió diseñar y construir uno y utilizarlo para la astronomía. Destaca la observación, el 7 de enero de 1610, de cuatro de las lunas de Júpiter girando en torno a ese planeta y obtuvo pruebas de que la Tierra orbitaba en torno al Sol. Desde aquel momento, los avances en este instrumento han sido muy grandes como mejores lentes y sistemas avanzados de posicionamiento.

Los dos tipos de telescopios típicos<sup>1</sup>: refractor (que utiliza lentes) y reflector (tiene un espejo cóncavo en lugar de la lente del objetivo y una lente correctora que sostiene además un espejo secundario) inventado por Isaac Newton en 1688. También hay dos tipos de trípode: Azimutal o Ecuatorial (de tipo alemán, de horquilla e inglés).

En la figura vemos una montura ecuatorial de tipo alemán apoyada, en este caso, sobre un trípode. En la unión del trípode y la montura observamos el tornillo de bloqueo del eje vertical de rotación de la montura. Este eje permite que todo el conjunto pueda rotar horizontalmente a derecha e izquierda y servirá para mover el telescopio en dirección de los polos celestes - Norte o Sur según el hemisferio en que nos encontremos- sin necesidad de mover la base (patas del trípode o cualquier otra estructura)<sup>2</sup>.



**Fabricante:** Max Kohl (1866)

Figura 1. Características de un telescopio con montura

**Descripción:** Telescopio Max Kohl, finales del siglo

XIX, de fabricación alemana, de bronce o latón y hierro, de dimensión media, con soporte o trípode. Todas sus piezas son las originales. Es un telescopio refractor, de montura ecuatorial, con ocular desmontable y buscador, con un trípode de apoyo y una barra de alza para apuntar en altura hacia el astro observado. Las dimensiones del tubo del telescopio son 96 cm de largo y \*\*\* cm de diámetro. Alto: 85 cm. El objetivo mide \*\*\* 10 cm, y el ocular, dotado de corrección cromática, 60 mm. Era un aparato muy frecuente en los observatorios de finales del siglo XIX y principios del XX. El modelo corresponde a un estándar común de la época, utilizado por varios fabricantes, sobre todo alemanes.

## TELESCOPIO de Max Kohl Chemnitz

Ref.- FISFUND-30-2

**Características:** “Telescopio astronómico, con montura ecuatorial y equilibrado, con trípode de tubo, suma a la creación la altura de la mesa, la tubería y el soporte de latón, con un trípode de hierro pesado y tornillos, sin visor; y caja con cerradura.”

Diámetro de la lente de 50 a 81 mm.

Precio: desde 260 hasta 630 Marcos Alemanes dependiendo del modelo. El visor costaba 40 Marcos adicionales

Aumentos: desde 30 a 55 terrestres y desde 40 hasta 240 astronómicos

Número de oculares: 1 terrestre y de 2 a 5 astronómicos.

Posibilidad de adquirirlo con un único ajuste fino o doble.



Fig. 2. Telescopio Max Kohl de la Facultad de Físicas y detalle de su montura.



Fig. 1570, No. 24098/103, 1/18 nat. Gr. Fig. 1571, No. 24104/109, 1/8 nat. Gr.

Figura 3. A la derecha artículo N° 24104 de la página 432 del catálogo n° 21 de Max Kohl<sup>3</sup>. Como puede observarse en el dibujo, al telescopio le faltan los contrapesos de la montura ecuatorial.

Durchm. des Objektivs	Anzahl der Okulare		Vergrößerungen		Ohne Feinbewegung, Fig. 1570		Mit doppelter Feinbewegung, Fig. 1571	
	astronomisch	terrestrisch	terrestrisch	astronomisch	Listen-No.	Preis	Listen-No.	Preis
50 mm	1	2	30	40, 80	24098	290	24104	390
57 "	1	3	35	50, 80, 110	24099	320	24105	420
61 "	1	3	40	60, 100, 140	24100	340	24106	440
67 "	1	3	45	65, 130, 150	24101	370	24107	470
75 "	1	4	50	70, 110, 185, 220	24102	410	24108	510
81 "	1	5	55	75, 100, 150, 200, 240	24103	530	24109	630

Mit Sucher kostet jedes Fernrohr M. 40.— mehr.

Figura 4. Características de diferentes tipos de telescopios Max Kohl (catálogo n° 21) Max Kohl<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.identi.li/index.php?topic=271700>

<sup>2</sup> <http://www.astronom.net/astronom/temas/alinea/alinea.htm>

<sup>3</sup> <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51636/index24.htm>



## NIVEL de LATÓN

Ref.- EMEL-31-2

**Principio físico:** Un nivel es un instrumento de medición utilizado para determinar la horizontalidad o verticalidad de un elemento. Existen distintos tipos y son utilizados por agrimensores, topógrafos, carpinteros, albañiles, herreros, trabajadores del aluminio, etc.

**Nivel de burbuja.** El nivel de aire está constituido por un tubo de vidrio transparente, cerrado por sus extremos. El tubo está casi lleno de líquido de escasa viscosidad (alcohol o éter), dejando una burbuja de aire en su interior, que ocupará siempre la parte superior del tubo. El tubo de vidrio va montado en un cilindro de latón abierto por la parte superior. Para comprobar la posición de la burbuja, el nivel está dividido por trazos transversales situados cada 2 mm. Cuando el centro de la burbuja coincide con el centro del tubo de vidrio se dice que el nivel está calado y se llama calar la burbuja a llevarla por movimientos de aquél a la posición central, lo que se comprueba por la disposición equidistante de sus extremos con relación a las divisiones. Si la burbuja si se desplaza hacia los lados cuando la horizontalidad no es perfecta.

**Descripción:** el nivel tiene marcas de referencia como suele ser habitual aunque se encuentran muy deterioradas. Probablemente de principios del siglo XX.

**Material:** latón y cristal.

**Tamaño:** El nivel mide 155 mm (largo) x 22 mm (ancho) x 20 mm (alto).



Figura 1. Nivel de burbuja de vidrio y latón.

**NIVEL de LATÓN**

**Ref.- EMEL-31-2**

## BALANZA Hidrostática de MAX HOHL

Ref.- EMEL-32-2

**Principio físico:** La balanza es básicamente, una palanca de primer género y de brazos iguales. Las balanzas de precisión se instalan dentro de cajas de cristal sobre apoyos aislados<sup>1</sup>. Su cruz se levanta, cuando no trabaja, por medio de una horquilla, a fin de evitar el desgaste de las cuchillas.

**Características:** Sencilla balanza de precisión fabricada a principios del siglo XX. La balanza llama la atención por el airoso diseño de la cruz y del soporte central, realizados en latón. Va montada sobre una base de madera de haya maciza forma rectangular sobre la que está situada una pequeña placa con la marca del fabricante.

**Funcionamiento:** Sirve para hallar la masa de los cuerpos, equilibrándolos con unidades llamadas pesas. Consiste en una barra llamada cruz, de cuyos extremos cuelgan platillos, y que oscila alrededor de una arista fina llamada cuchilla, que atraviesa la barra por su punto medio, apoyándose en un plano de acero o de ágata. Una aguja llamada fiel, situada en el centro de la cruz, indica en su posición vertical la horizontalidad de la barra y, por tanto, la igualdad de los pesos colocados en los platillos<sup>2</sup>. Su sensibilidad y su precisión dependen de muchos factores, pero los determinantes son la longitud y el peso total de los brazos y la exacta igualdad de estos<sup>3</sup>.

**Tamaño:** La balanza mide 52 cm (largo) x 29 cm (fondo) x 57 cm (alto).

**Fabricante:** Es un modelo procedente de Alemania, donde fue fabricado a principios del siglo XX por Max Kohl. La firma Max Kohl fue creada en Chemnitz, Sajonia, Alemania en 1876. Esta fábrica, según las propias palabras de Kohl en la presentación de su catálogo N° 21 (1905), estaba equipada con la maquinaria más moderna y con personal capacitado para la fabricación de aparatos para la enseñanza y demostración de las ciencias físicas. La fábrica se dirigía comercialmente a dos áreas bien definidas: las escuelas primarias y la enseñanza universitaria, esta diferenciación se hacía a través de la calidad y el precio de los instrumentos. Los aparatos más económicos y simples eran para uso escolar y los más costosos para instituciones de enseñanza superior con recursos donde las clases de física tenían una mayor extensión e importancia, estos últimos instrumentos eran recomendados por la mejor calidad de su madera, terminación y complejidad. Para que las escuelas y universidades pudieran hacer sus pedidos, la empresa enviaba en forma de catálogo una completa descripción de la fábrica y de todos los instrumentos de manera gratuita a los clientes interesados. Esta fábrica, destruida durante un



Figura 1. Balanza de Max Kohl. Está incompleta, falta un plato. Esta balanza está fabricada en latón dorado y conserva la cruz, el fiel, la escala, tiene dos platos de diferente altura, uno de ellos puede ser extraído puesto que cuelga de un gancho. Conserva el tornillo de equilibrado original, situado en el cajón justo delante de la cruz.

## BALANZA Hidrostática de MAX HOHL

Ref.- EMEL-32-2

bombardeo aliado a la ciudad de Chemnitz durante la segunda guerra mundial, se considera hoy como una de las productoras de instrumentos más famosos en los inicios del siglo 20.

226

Max Kohl, Präzisionsmechaniker in Chemnitz.

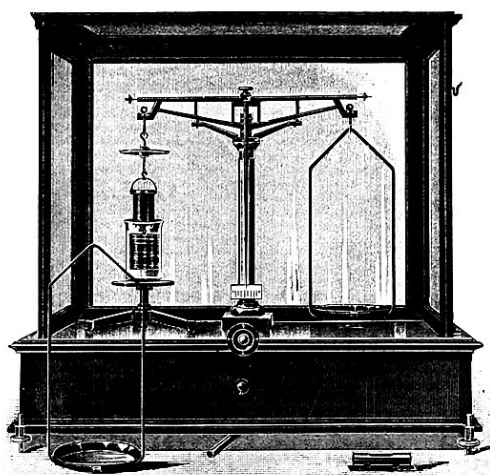


Fig. 754, No. 22169-22172,  $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{6}$  nat. Größe.

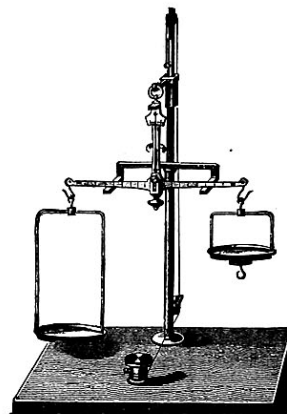


Fig. 755, No. 22173,  $\frac{1}{12}$  nat. Größe.

Figura 2. Si similar al modelo 22169-22172 del catálogo nº 21 de Max Kohl Chemnitz. sin la urna. "Balanza de precisión dispuesto tanto para el trabajo de química como para experimentos de hidrostática, de la más alta sensibilidad, con escalas"

La **balanza hidrostática** es un modelo que sirve para múltiples funciones. Por un lado, contribuye a la comprobación experimental del Principio de Arquímedes respecto a los cuerpos sumergidos en líquido y, por el otro, ayuda a determinar, también de una forma experimental, la densidad de los cuerpos sólidos. El principio en el que basa asegura que "todo cuerpo parcial o totalmente sumergido en un fluido experimenta un empuje ascensional igual al peso del fluido desplazado". En cuanto al sistema de operación de la balanza hidrostática<sup>4</sup>, cuenta con una cruz que puede ser elevada a partir del uso de una horquilla y de una cremallera mandada por un tornillo que se observa en la parte superior. Falta el plato con gancho de modo que pueda suspenderse de él un cilindro que pueda sumergirse en un recipiente con agua. El equilibrio se logra añadiendo pesas en el otro platillo hasta equilibrar la balanza.

<sup>1</sup>J. Salleron : Notice sur les instruments de précision construits, appliqués aux arts, aux sciences et à l'industrie. Paris. 24, Rue Pavée au Marais. 1864 . Pag. 316.

<sup>2</sup>José Alberto Maroto Centeno: Museo Mecánico virtual. Escuela politécnica de Linares. Universidad de Jaén.

<sup>3</sup>Abriendo las cajas negras: colección de instrumentos científicos de la Universitat de València. Edición: José Ramón Bertomeu Sánchez, Antonio García Belmar. Universidad de Valencia 2002 - 461 páginas.

<sup>4</sup>L. Fermi and G. Bernardini, Galileo and the Scientific Revolution. New York: Basic Books, 1961.



## BALANZA de precisión

Ref.- FISGER-33-1

**Principio físico:** La balanza es un instrumento destinado a equilibrar la fuerza de gravedad que actúa sobre la masa de un cuerpo con la que obra sobre otro, que se toma como referencia. Las balanzas se dicen sensibles, o de laboratorio, cuando aprecian pesos muy pequeños, como un miligramo, por ejemplo; estas balanzas son de construcción esmerada, y la sensibilidad se obtiene dando bastante longitud y pequeño peso a sus brazos y consiguiendo una gran aproximación del centro de gravedad al punto de sustentación, así como haciendo lo menor posible los rozamientos, para lo cual la cruz y los platillos se montan sobre prismas de acero que descansan por una arista en plano de ágata; estos aparatos, de empleo bastante delicado, se suelen guardar en vitrinas de cristal, para preservarlos de las acciones atmosféricas, y tienen una palanca, por la que se eleva la cruz a voluntad cuando la balanza no funciona, a fin de no gastar las piezas sobre que descansa<sup>1</sup>.

**Características:** Balanza de precisión realizada de metal con vitrina o cerramiento de madera de roble y cristal. Tobogán frontal, puertas laterales y base de mármol negro. Las vigas realizadas en forma triangular son de aluminio. Se conservan algunas pesas, pero falta su caja.

**Fabricante:** Con bastante probabilidad de la casa Sartorius-Werke // A-G// Gottingen.

**Historia:** A lo largo del siglo XIX, los constructores de balanzas europeos introdujeron numerosas innovaciones técnicas en sus modelos, impulsados por la creciente demanda de precisión, sensibilidad y rapidez en las pesadas impuestas en los trabajos químicos. Se generalizó el uso de urnas para proteger las balanzas de los efectos corrosivos de los gases emitidos



Figura 1. Balanza de precisión.

en los laboratorios, se añadieron sistemas para ajustar la longitud de los brazos, se introdujeron materiales más resistentes al deterioro como platino, cristal, nácar o níquel y se generalizó el uso del *reiter*, *rider* o jinete, un ingenioso dispositivo que permitía aumentar la sensibilidad de las balanzas hasta las décimas de miligramo. Fue el ingeniero alemán Paul Bunge (1839-1888) uno de los primeros en proponer este tipo de balanzas de brazos cortos, que el constructor alemán Florenz Sartorius(1846-1925) generalizaría en el último tercio del siglo XIX. Además, Sartorius incorporó nuevos materiales en

## BALANZA de precisión

Ref.- FISGER-33-1

su construcción, el más importante fue el aluminio, logrando grados de ligereza y rigidez mucho mayores que los permitidos por los metales tradicionales<sup>2</sup>. Las balanzas producidas por Sartorius se caracterizan por una viga de aluminio triangular.

La caja de pesas está incompleta y también falta el *reiter* (hilo metálico en forma de herradura, cuyo peso es de 1 cg) que cabalga a lo largo de uno de los brazos de la cruz. Estos están divididos, tanto el de la derecha como el de la izquierda, en diez partes iguales, existiendo a la vez diez divisiones dentro de cada una de éstas, de manera que se posibilita la adición de pesos con valores de miligramos o décimas de miligramos conforme a la situación del *reiter*. Este modelo cuenta con un dispositivo para la colocación y desplazamiento manual del *reiter* a lo largo de la escala grabada en el brazo de la cruz en forma de una barra deslizante accionada desde el exterior de la caja.



Figura 2. Se aprecia en las fotografías el resorte externo que permite el manejo del reiter

La sensibilidad está determinada por la aptitud de determinar con exactitud resultados de valores muy reducidos, y se acostumbra a indicarla como la variación que experimenta la posición de equilibrio cuando se coloca una sobrecarga de 1 mg en uno de sus platillos, es decir “divisiones/miligramo”. Las divisiones se leen sobre el fiel, a un lado y otro de la indicación de equilibrio o “cero de la balanza”. La sensibilidad elevada en una balanza de “precisión” o “analítica”, se consigue cuando: los rozamientos en el punto de apoyo y en los de suspensión de los platillos son mínimos, si los puntos de suspensión de los platillos y de la cruz están en línea recta y si la cruz es inflexible para la máxima carga que la balanza admite.

Con el modelo de balanza de precisión o analítica Sartorius que aquí se muestra, y que representa el prototipo de balanza que durante muchas décadas ha sido el emblemático en todos los laboratorios del mundo, es factible determinar la masa de un cuerpo con la precisión de una décima de miligramo, una parte o décima de miligramo, en un total de diez millones de partes o décimas de miligramo contenidos en los 100 g de masa a determinar.

<sup>1</sup>BLANCO, R. (1915), Elementos de física y nociones de meteorología. Madrid, Imprenta hijos de Gómez Fuentenebro. pp. ?.

<sup>2</sup>Abriendo las cajas negras: colección de instrumentos científicos de la Universitat de València. Edición: José Ramón Bertomeu Sánchez, Antonio García Belmar. Universidad de Valencia 2002 - 461 páginas.

## OSCILOSCOPIO COSSOR 1035 MKIII

Ref.- EMEL-34-1

**Principio físico:** Un osciloscopio es un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. Presenta los valores de las señales eléctricas en una pantalla reticulada, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina oscilograma. Los osciloscopios, clasificados según su funcionamiento interno, pueden ser tanto analógicos como digitales. En un osciloscopio existen dos tipos de controles. El primer control regula el eje X (horizontal) y aprecia fracciones de tiempo (segundos, milisegundos, microsegundos, etc., según la resolución del aparato). El segundo regula el eje Y (vertical) controlando la tensión de entrada (en Voltios, milivoltios, microvoltios, etc., dependiendo de la resolución del aparato). Estas regulaciones determinan el valor de la escala cuadrícula que divide la pantalla, permitiendo saber cuánto representa cada cuadrado de ésta para, en consecuencia, conocer el valor de la señal a medir, tanto en tensión como en frecuencia (en realidad se mide el periodo de una onda de una señal, y luego se calcula la frecuencia).

**Características:** 1950. Traza dual (dos canales verticales). Ancho de banda de 5MHz, 23 Válvulas. Hasta 500 V y de 15 us a 150 ms. Originariamente se vendía con su manual conteniendo el esquema de bloques del Sistema (Figura 1).

**Tamaño:** 42cm x 30.5cm x 51cm.

**Fabricante: A. C. Cossor. U.K.** El artesano Alfred Charles Cossor fundó una pequeña empresa científica en Clerkenwell (Londres) en 1890 produciendo instrumentos especializados, tubos de Crookes y tubos de rayos X. Tras los experimentos de Fleming en diodos de vacío en en 1904, comenzaron la fabricación de válvulas. Los diseños tempranos de válvulas de AC Cossor tenían ánodos parabólicos con rejillas en forma de abanico y filamentos arqueados para evitar la patente Marconi para la rejilla cilíndrica y el ánodo. Durante la década de 1930 esta empresa hizo un gran trabajo en el diseño de osciloscopios y los tubos de rayos catódicos suministrando casi todos los osciloscopios a los Servicios de británicos (especialmente la Marina) antes de 2ª Guerra Mundial (Figuras 2 y 3).

**Funcionamiento**<sup>1,2</sup>. En el TRC el rayo de electrones generado en el cátodo llega a la pantalla fluorescente (reticulada mediante divisiones en los ejes cartesianos) que se ilumina por el impacto de los electrones. La tensión aplicada cualquiera de las dos parejas de placas de deflexión produce una desviación del haz de electrones. A las placas de desviación horizontal se aplica una tensión en diente de sierra producida mediante un oscilador apropiado del que puede variarse su frecuencia (base de tiempos) que hace que



Figura 1. Osciloscopio Cossor 1035. Distribuido en España por PACISA.



Figura 2. Logotipo de los años 50 de la empresa A. C. Cossor. U.K.

## OSCILOSCOPIO COSSOR 1035 MKIII

Ref.- EMEL-34-1

el haz se mueva de izquierda a derecha. La tensión a medir se aplica a las placas de deflexión vertical del TRC (tubo de rayos catódicos) a través de un amplificador de ganancia ajustable y hace que se mueva la señal en vertical en la pantalla con mayor o menor amplitud dependiendo de la tensión aplicada.



Figura 3. Anuncio de la época del Oscillograph Cossor 1035.

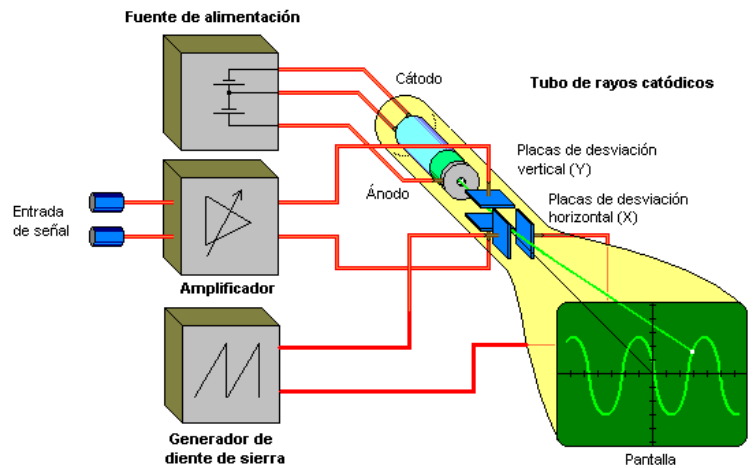


Figura 4. Representación esquemática de un osciloscopio.



Figura 4. Interior del Oscillograph Cossor 1035. Externamente es similar al Cossor 1049. Sin embargo, a nivel interno, es un modelo muy mejorado que utiliza válvulas de vacío en miniatura lo que se refleja en el rendimiento significativamente mejorada respecto al modelo 1049.

<sup>1</sup>Newton Braga, Cómo usar el Osciloscopio. En Saber Electrónica, Volumen 3, Nº 11, 1991.

<sup>2</sup>Agustín Castejón (1993) Tecnología Eléctrica. Madrid: McGraw-Hill.



## Balanza granataria

Ref.-FISAPL-35-1

**Descripción:** Una balanza de plato elevado (granataria o granatario) tiene un solo platillo sin cámara cerrada en torno suyo y puede manejar masas mayores que las balanzas analíticas e indicar las masas con una aproximación de 0.01 g o 0,001 g. Funciona correctamente.

**Material:** Metálica.

**Fabricante:** SARTORIUS-WERKE GMBH GOTTINGEN.Type: 2254 Fabr. Nr. 58070Made in Germany

**Colección:** Laboratorio de Termodinámica.

**Fecha de adquisición:** desconocida.

**Funcionamiento:** Existen distintos modelos, siendo uno de los más extendidos (el modelo 1106)<sup>1</sup>, representado en la figura 1 y al que nos referiremos a continuación:

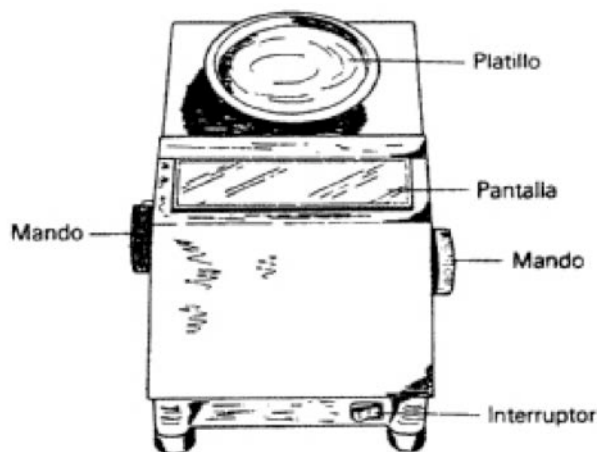


Fig. 1.-Esquema de una balanzagranatariaSartorius (modelo 1106)<sup>1</sup> e imagen de la balanzagranatariaSartorius

Se trata de una balanza monoplattillo cuya precisión es 0,01 g y su carga máxima 1000 g. La balanza granataria que aparece a la derecha en la figura 1 dispone de cuatro mandos, dos situados a la derecha y otros dos a la izquierda, para realizar diferentes funciones. El procedimiento para pesar es el siguiente:

1. El platillo debe hallarse inmobilizado normalmente, y se dejará libre desplazando hacia abajo el mando inferior de la izquierda, en el momento de realizar una pesada. En ese momento se libera el platillo desplazando hacia abajo desde su posición más elevada, la palanca que se halla situado en la parte inferior del lateral izquierdo de la balanza (1 en la figura 2). Si se desplaza este mando hasta su posición inferior se iluminará la escala que aparece en la parte delantera de la balanza, en la que se harán las lecturas correspondientes.

## Balanza granataria

Ref.-FISAPL-35-1

2. Antes de realizar una medida se debe ajustar el cero de la escala. Para ello se gira lentamente el botón situado en la parte inferior del lateral derecho (2 en la figura 2) de la balanza, hasta observar que el índice de la pantalla señale el cero de la escala.
3. Hecho esto, se coloca el objeto problema cuya masa se quiere determinar, en el centro del platillo; normalmente el índice de la pantalla quedará entre dos divisiones de la escala. Se gira el botón situado en la parte superior del lateral derecho (3 en la figura 2) hasta que el índice coincida con la división inferior de la escala. La masa del objeto es la indicada en dicha escala.
4. Cuando la masa problema supere los 99,99 g desaparece la escala en cuyo caso hay que accionar mediante un giro el botón que se encuentra en la izquierda (4 en la figura 2) hasta aparecer el dígito 1, ello permitiría que apareciera de nuevo la escala, si la masa a determinar estuviese comprendida entre los 100,00 g y los 199,99 g. Si no apareciera la escala habrá que girar de nuevo el botón de la izquierda las veces que fuese precisa hasta hacer aparecer a la mencionada escala.

En la base están dispuestos unos tornillos para nivelar la balanza. Esto se consigue situando la burbuja de aire entre las marcas que aparecen en la parte superior de la misma.



Fig. 2.-Detalle de los mandos de la balanzagranatariaSartorius.

**Historia:** En la década de 1960 a 1970, las balanzas analíticas de un solo platillo llegaron a ser un instrumento común en los laboratorios de química. Con estas balanzas se podía establecer la masa de una muestra con una aproximación de 0,1 mg. Estas balanzas analíticas agregaban o quitaban masas mecánicamente a un brazo compensado. Para mediados de 1980 se pudo disponer de balanzas electrónicas de platillo elevado (granatarias) y balanzas electrónicas. Estas últimas, balanzas de lectura digital, abreviaron aun más el procedimiento de pesaje.

<sup>1</sup>[http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/ap-teclabquim-1/07.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/ap-teclabquim-1/07.html) (consultada en abril de 2015)

## Equivalente mecánico del calor- Máquina de Callendar

Ref.- FISAPL-36-1

**Descripción:** La Máquina de Calendar<sup>1</sup> permite determinar el equivalente mecánico del calor, es un variación del experimento de Joule (rueda de paletas). El objetivo del mismo es establecer la relación entre dos tipos de energía, la energía mecánica asociada al trabajo mecánico y la energía calorífica asociada al calor.

**Material:** Metal, cuerda (cobre, nylon, etc.).

**Fabricante:** Desconocido.

**Colección:** Laboratorio de Termodinámica. **Fecha de adquisición:** desconocida.

**Funcionamiento:** Este aparato de extrema robustez está constituido por un cilindro calorimétrico de latón, soportado por cojinete de bolas. Sobre él está enrollado una cinta de la cual se ha colgado una carga de 5 kg.

Por causa de la rotación, el agua contenida en el cilindro se calienta, por lo cual, midiendo el trabajo realizado y el calor producido es posible determinar el equivalente mecánico de la caloría<sup>1</sup>.

El dispositivo experimental está constituido por una manivela que haremos rotar manualmente (derecha de la figura 1) y un eje en donde fijaremos el recipiente que contiene el agua. El conjunto de ambos está situado sobre una base o soporte que habilita, mediante unos tornillos, el anclaje a la mesa, como se puede observar en la figura 1.



Fig. 1. Equipo experimental para la determinar el equivalente mecánico del calor. A la derecha detalle del instrumento utilizado.

Mediante el uso de una cuerda (cobre, nylon, etc.) atada a un peso conocido produciremos una fricción de magnitud controlada en el recipiente. Para un determinado número de revoluciones del cilindro,  $n$ , se calculará el trabajo generado  $W_m$ , en función del diámetro del cilindro,  $d$ , y de la fuerza,  $F$ , debida al peso que cuelga de la cuerda. El trabajo mecánico realizado es

$$W_m = Fn\pi d. \quad (1)$$

Por otra parte, el calor absorbido por el agua en el interior del cilindro, debido a la fricción, es

$$Q = m_a c_a (T_f - T_i), \quad (2)$$

## Equivalente mecánico del calor- Máquina de Callendar

Ref.- FISAPL-36-1

donde  $m_a$  y  $c_a$  son la masa y el calor específico del agua contenida en el recipiente, y  $T_i$  y  $T_f$  son las temperaturas inicial y final alcanzadas por el agua después de las  $n$  revoluciones.

En esta simulación del experimento de Joule se desprecian los equivalentes en agua del cilindro y del termómetro.

La ecuación de balance de energía permitirá determinar el equivalente mecánico del calor  $J$ , ( $W_m = JQ$ ). Es decir, el equivalente mecánico del calor vendrá dado por la expresión:

$$J = \frac{Fn\pi d}{m_a c_a (T_f - T_i)} \quad (3)$$

<sup>1</sup>[http://www.euro-didactica.com/product\\_info.php?products\\_id=926](http://www.euro-didactica.com/product_info.php?products_id=926) (consultada en abril de 2015)



## Método de Rüchardt

Ref.- FISAPL-37-1

**Descripción:** Material empleado para realizar la medida del coeficiente adiabático del aire  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ , mediante el Método de Rüchardt.

**Material:** Frasco y tubo de vidrio, bola metálica.

**Fabricante:** desconocido.

**Colección:** Laboratorio de Termodinámica. **Fecha de adquisición:** desconocida.

**Funcionamiento:** En 1929 Rüchardt propuso un método para la medida del *coeficiente adiabático del aire*,  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ , basado en consideraciones elementales de mecánica<sup>1</sup>. A partir de la expansión y compresión adiabática de una masa de gas, contenida en un recinto se evalúa  $\gamma$ .

Se considera el gas contenido en un recinto de gran volumen,  $V_0$  (almenos 5 l)<sup>2</sup>, el cual tiene adosado un tubo de vidrio muy bien calibrado, de sección transversal conocida y longitud aproximada de 50 cm. Se introduce en este tubo una masa  $m$  esférica con un diámetro tal que se ajusta perfectamente al tubo como un pistón. La figura 1 muestra un esquema de sistema descrito.

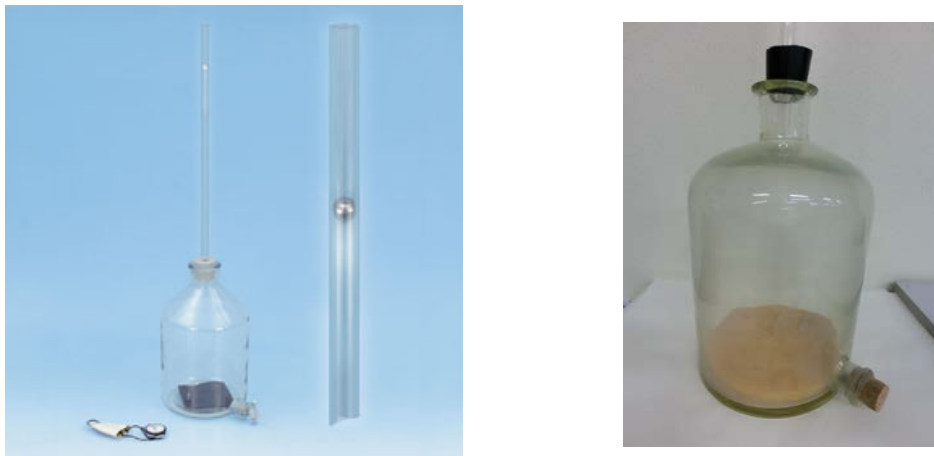


Fig. 1. Equipo experimental para la realización de la medida del coeficiente adiabático del aire mediante el Método de Rüchardt<sup>3</sup>. A la derecha detalle del recipiente de 5l utilizado.

En el equilibrio, la presión del aire encerrado en el recipiente es

$$P_0 = P_a + \frac{mg}{A} \quad (1)$$

siendo  $P_a$  la presión atmosférica. Si se actúa sobre la masa  $m$  desplazándola ligeramente hacia abajo y se suelta (sin empujar), se observa un movimiento oscilatorio, de período  $\tau$ , que acaba desapareciendo debido al rozamiento. En otras palabras, como consecuencia de la pequeña perturbación inicial, la masa  $m$  realiza un movimiento oscilatorio amortiguado.

Desígnese por  $z$  el desplazamiento de  $m$  respecto de su posición de equilibrio (siendo  $z$  positivo o negativo según que la  $m$  se encuentre por encima o por debajo de dicha posición de equilibrio). En cualquier momento, la presión del gas contenido en el matraz depende de la altura del pistón,  $P = P(z)$ . El movimiento de la masa  $m$  viene dado por la segunda ley de Newton

## Método de Rüchardt

### Ref.- FISAPL-37-1

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = F(z) = [P(z) - P_0]A. \quad (2)$$

Supóngase que las oscilaciones son lo suficientemente lentas para considerar que en cualquier instante el gas contenido en el matraz está en equilibrio (esta condición se cumple si la velocidad del pistón es muy inferior a la del sonido en el aire), pero suficientemente rápidas como para poder considerar que los cambios de volumen son adiabáticos. En este caso teniendo en cuenta la *ecuación de Poisson*

$$PV^\gamma = \text{cte}. \quad (3)$$

se verifica que

$$P_0 V_0^\gamma = P(z) V(z)^\gamma, \quad (4)$$

para cualquier desplazamiento del pistón  $z$ . Dado que el volumen que ocupa el gas en el matraz es  $V(z) = V_0 + Az$ , se tiene que la presión  $P(z)$  se puede escribir como

$$P(z) = P_0 \left( \frac{1}{1 + \frac{Az}{V_0}} \right)^\gamma, \quad (5)$$

por lo que la ecuación (2) para la masa  $m$  toma la forma

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = P_0 A \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{Az}{V_0}\right)^\gamma} - 1 \right]. \quad (6)$$

Es posible simplificar notablemente la ecuación (6) si se tienen en cuenta que  $(Az/V_0)$  se puede despreciar frente a la unidad, ya que si las oscilaciones son pequeñas,  $Az$  es un volumen mucho menor que  $V_0$ , de modo que realizando un desarrollo en serie de Taylor se llega al siguiente resultado

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = - \frac{\gamma P_0 A^2}{V_0} z. \quad (7)$$

Esta ecuación diferencial es la de un oscilador armónico con frecuencia angular

$$\omega = \sqrt{\frac{\gamma P_0 A^2}{m V_0}} = \frac{2\pi}{\tau} \quad (9)$$

donde  $\tau$  es el período de oscilación. Por último, despejando el coeficiente adiabático  $\gamma$  se obtiene

$$\gamma = \frac{4\pi^2 m V_0}{A^2 \tau^2 P_0} \quad (10)$$

de este modo, conocidos,  $m$ ,  $A$ ,  $V_0$  y  $P_0$ , la medida del período  $\tau$  permite la determinación de  $\gamma$ .

<sup>1</sup>Velasco, S. y Faro, J. (3ª edición, enero 2005) Manual de técnicas experimentales en termodinámica. Ediciones Universidad Salamanca pp 155-163

<sup>2</sup>Baro, M.D., Ibáñez, J.A., Llebot, J.E., Suriñach, S. (1980) "Prácticas de Termología", Universidad Autónoma de Barcelona (Bellaterra) pp 71-76

<sup>3</sup><http://www.leybold-shop.com/vp2-5-3-1.htm>

# **APARATOS DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

---

## **Agradecimientos:**

Proyectos de Innovación y Mejora Docente (ID2014/0227). Convocatoria Curso 2014-2015.  
Vicerrectorado de Política Académica. Planes de Formación e Innovación. Programa de Mejora  
de la Calidad. Plan Estratégico General 2013-2018

Decanato de la Facultad de Ciencias.

Departamentos de Física Aplicada y de Física Fundamental.

ESPACIO DE CULTURA CIENTÍFICA. Servicio de Actividades Culturales. UNIVERSIDAD DE  
SALAMANCA