

21. VÁLVULAS DE VACÍO

Ref.- ELECTRONyCOM-03

Historia temprana de las válvulas de vacío y principio físico: Las bombillas incandescentes fueron creadas por Humphry Davy (1802) y mejoradas posteriormente, entre otros, por Frederick de Moleyns (1841) y Joseph Swan (1860), pero sus diseños adolecían de una corta vida útil y poca eficiencia. A finales de 1879 y tras muchos intentos Thomas Alva Edison mejoró la tecnología de vacío y consiguió que el filamento de las lámparas alcanzara la incandescencia sin fundirse, utilizando para ello un filamento de bambú carbonatado, permitiendo su comercialización (patente de 27 de enero de 1880: EEUU. Nº 223898). Posteriormente Edison probó diferentes tipos de filamentos para evitar el oscurecimiento de su lámpara con el uso prolongado, que parecía deberse a la evaporación del filamento. Durante estos experimentos descubrió que al añadir un segundo filamento (placa) rodeando al cátodo y aplicarle un potencial positivo se observaba un flujo de corriente. Ambos terminales están mutuamente aislados en el interior de un tubo de cristal del que se ha extraído el aire. El filamento hace la función de cátodo

puesto que se caldea hasta la incandescencia haciendo pasar por él una corriente (corriente de caldeo) y emite electrones al vacío en un proceso llamado emisión termoiónica. La placa metálica o ánodo (segundo filamento) atrae los electrones y se origina un flujo de corriente eléctrica estable detectable a través del galvanómetro (Fig.1). Si se invierte

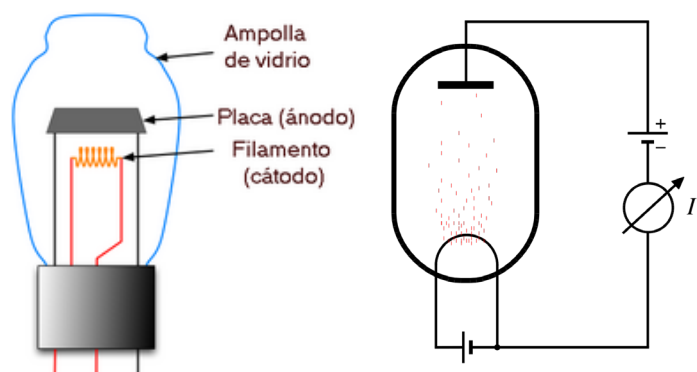


Fig.1. Lámpara de Edison. Esquema de funcionamiento del Efecto Edison.

la polaridad de la fuente los electrones son repelidos y la conducción se interrumpe dado que el ánodo frío no emite electrones. Esta válvula era de caldeo directo o en la que el filamento mismo actuaba de cátodo al elevarse su temperatura. Aunque Edison el 21 de octubre de 1884 (US307031) con la intención de que podría servir como un medidor eléctrico, realmente no comprendió completamente la naturaleza de este fenómeno, ni valoró sus potenciales aplicaciones. Este dispositivo fue exhibido en la Exposición Internacional de Electricidad en Philadelphia en septiembre de 1884. William Preece, un científico británico se llevó al Reino Unido algunas de las bombillas de Edison, y presentó un estudio sobre ellas en 1885, donde se refería a la emisión termoiónica como el "Efecto Edison." Posteriormente fue interpretado por William Thomson Kelvin y Owen Willans Richardson que publicó en 1901 los resultados de sus experimentos en los que la corriente procedente de un filamento calentado de forma controlada depende exponencialmente de la temperatura del alambre y el resultado de su trabajo en la emisión termoiónica es el fundamento de los tubos electrónicos de cátodo incandescente por el cual recibió un premio Nobel en 1928.

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Pocos años más tarde, en el Reino Unido, cuando John A. Fleming trabajaba para la compañía británica "Wireless Telegraphy" en la bombilla de "efecto Edison" añadió a modo de ánodo un cilindro metálico (de aluminio, platino) que rodea el filamento, pero sin tocarlo, abierto por la parte superior en inferior (Fig.2). Además, Fleming conectó el ánodo y el cátodo a un circuito externo y se dio cuenta que la lámpara de Efecto Edison podía tener un gran potencial para las comunicaciones. Verificó que permitía convertir una señal de alterna o AC en una señal continua o DC (denominada señal rectificada) y solicitó la patente de esta "válvula termoiónica" en el Reino Unido el 16 de noviembre de 1904. Este principio fue la base de los diodos de vacío, en

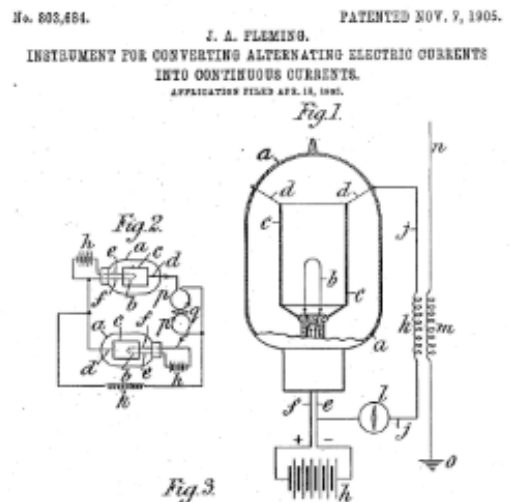
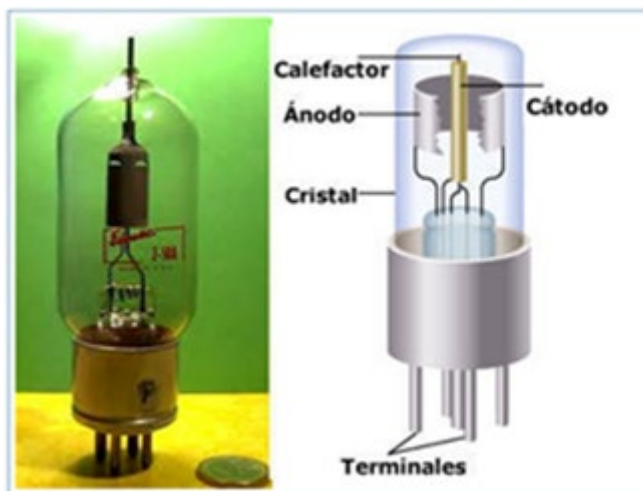


Fig.2. Diodo de vacío o Diodo de Fleming. Patente US803684 de John Ambrose Fleming de 7 de noviembre de 1905 en la que indica que es un instrumento para convertir corrientes eléctricas alternas en corrientes continuas.

los que la válvula actúa como un rectificador, es decir, permite la conducción en un sentido (del filamento, cátodo o emisor termoiónico hacia el ánodo), pero la impide en el contrario puesto que el ánodo está frío. Pocos meses después, en abril de 1905, solicitó la patente en USA de la Válvula Fleming (también rectificador de tubo de vacío de dos electrodos, diodo de vacío o diodo Fleming) al advertir que podía ser el dispositivo que Marconi necesitaba para detectar ondas de radio a mayores distancias, dado que rectificaba las corrientes alternas de alta frecuencia que las oscilaciones electromagnéticas inducían en la antena receptora. Sin embargo, si este avance realmente perteneció a John A. Fleming fue objeto de debate tanto científico como judicial. Fleming continuó trabajando en su diodo y lo utilizó en receptores de radio y radares durante muchas décadas. Posteriormente, en los años 60 fue reemplazado por la tecnología electrónica de rectificación de estado sólido.

Historia del primer amplificador: Desde la introducción del teléfono a finales de la década de 1870, ingenieros de muchos países buscaron incrementar el alcance de transmisión de las líneas telefónicas mediante un repetidor electrónico eficaz. Los primeros intentos de amplificación, como los de Thomas Edison en 1877 mediante su amplificación microfónica, que, aunque posteriormente inspiraría dispositivos como los micrófonos de carbón, resultaron poco prácticos como amplificadores debido a la degradación de la señal por el ruido y la distorsión introducidos por el micrófono. El avance crucial llegó con el tubo de electrones triodo, desarrollado de forma

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

simultánea y paralela por diferentes investigadores tanto en Europa (fundamentalmente en Alemania y Austria, y en el Reino Unido) como en Estados Unidos.

El cátodo del alemán Arthur Wehnelt, recubierto de diferentes metales como óxido de calcio o bario ideado en 1903 permitió a Robert von Lieben regular por primera vez en 1905 la corriente en el tubo de vacío o válvula mediante el efecto de un campo magnético y registró la patente alemana DRP179807 en marzo de 1906 (Fig.3). La patente también incluía la posibilidad de influir en el haz de electrones en el vacío mediante un control electrostático y para todo el rango de frecuencias. Este relé de rayos catódicos o relé telefónico tenía un gran tamaño y era poco práctico, por lo que Robert von Lieben junto con dos compañeros de la Universidad de Viena, Eugen Reisz y Siegmund Strauss y tras cuatro años de mejoras prescindieron de los imanes externos de modo que la carga aplicada a una rejilla de alambre entre el cátodo y el ánodo controla la corriente principal entre estos. Patentan la versión mejorada del relé en 1910 (DRP249142) en la que el haz es controlado electrostáticamente, como había hecho poco antes Lee de Forest, que como veremos posteriormente había utilizado la rejilla para suprimir la luz incandescente en el ánodo en sus detectores y no como dispositivo amplificador. El dispositivo mejorado fue patentado en 1912 (DRP254588) y aunque todavía era sensible a ciertos residuos de gas en el tubo fue preparado para comercialización bajo la denominación de válvula o relé LRS (Lieben, Reisz y Strauss), fabricado por Siemens & Halske y AEG/Telefunken, se usó ampliamente en circuitos telefónicos en Europa durante la primera guerra mundial.

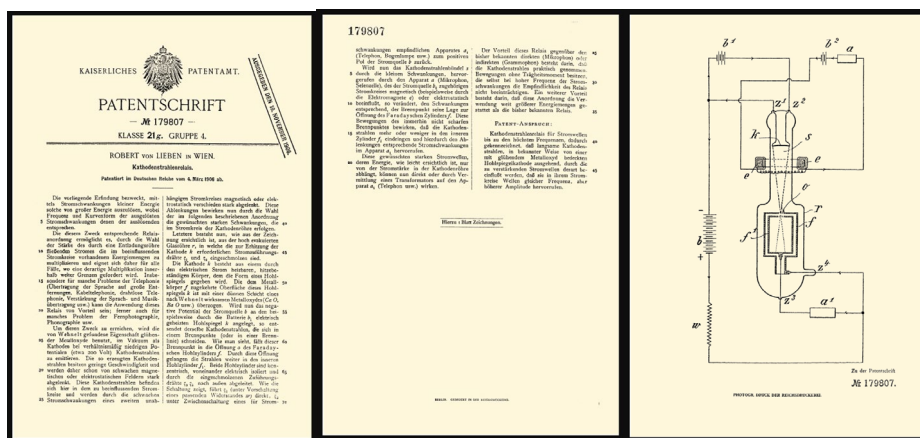


Fig. 3. Primera patente del relé de rayos catódicos de Robert von Lieben, de la altura de un hombre. El haz de electrones, proveniente de abajo, se desviaba hacia arriba mediante una bobina magnética (letra e). La válvula realizaba amplificación como lo confirmó su profesor de la universidad de Gotinga Walther H. Nernst.

<https://vacuumtubearchive.com/lieben-lrs-relay-2/>

Por otro lado, en Estados Unidos, Lee de Forest obtuvo la patente del "audión de tres electrodos" el 18 de febrero de 1908, solicitada el 29 de enero de 1907 (USN 879532), influenciado por el tubo de vacío de dos electrodos de John Ambrose Fleming que se utilizaba como rectificador demodulador en la telegrafía sin hilos (radio). De Forest realizó diferentes variantes a la válvula de Fleming, inicialmente rodeó el tubo detector por una bobina o lo situó entre las placas del condensador de sintonía, posteriormente encerró dos placas del condensador en el interior del tubo con el filamento entre ambas, finalmente sustituyó una

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

placa por un hilo en zig-zag entre el filamento y la placa. Por tanto, en este esquema añadió al diodo de Fleming una rejilla de control independiente como tercer electrodo en el espacio vacío entre la placa y el filamento, y demostró que el flujo de electrones (corriente) en el vacío podía ser controlada por medio de esta rejilla. Además, añadió una segunda batería entre la placa y el auricular y un auricular telefónico en lugar de un galvanómetro por lo que podía “oír” una señal, de ahí su nombre (Fig. 4). De Forest no comprendía el funcionamiento de su invención dado que su versión temprana no era muy eficiente debido a la presencia de gases residuales en el tubo. Inicialmente, pensó que funcionaba por ionización del gas en el tubo, cuando en realidad era un efecto termoiónico en un vacío parcial. No obstante, argumentó que el “audióon” era un “eficaz receptor de radio que funciona bajo un principio diferente”, comparándolo con “una curiosidad de laboratorio” (como denominó a la válvula de Fleming).

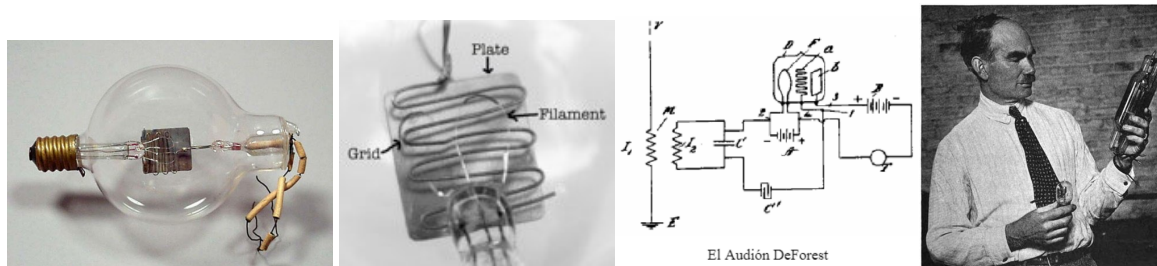


Fig. 4. Válvula de triodo de Lee de Forest de 1906. Consta de un tubo de vidrio que contiene tres electrodos, un filamento calentado (platino en los primeros prototipos y algunos con tungsteno), una rejilla de control y un ánodo (o placa). Ampliación de la rejilla (hilo en zig-zag), placa y filamento. Figura en la patente US879532 del tubo detector de tres electrodos que De Forest denominó Audióon. De Forest (fotografía tomada entre 1914 y 1922) con dos de sus “audióons”. A la izquierda una pequeña válvula receptora de 1 watio, y a la derecha un tubo de transmisión de 250 watios al que llamó “oscilóon”. Leedeforest.org.

Aquí comenzó el litigio entre la compañía Marconi, que tenía los derechos de la válvula de Fleming y que denunció a De Forest por infringir la patente de Fleming. En 1916, un tribunal en los EEUU sentenció que la Compañía Marconi había infringido la patente de De Forest y también el “audióon” de De Forest infringía la patente de la válvula de Fleming. Se llegó a un acuerdo temporal para que De Forest pudiera producir los tubos de vacío y la Compañía Marconi pudiera distribuirlos durante la I Guerra Mundial. También hubo problemas de derechos de patentes entre von Lieben y De Forest, mientras que el tubo de Lieben controlaba el flujo de electrones y generaba un refuerzo (o amplificación) de Forest pensaba solamente en la recepción de radio; por lo que los jueces dieron la razón a Lieben. Por tanto, el audióon de De Forest fue inicialmente planteado como detector de señales inalámbricas y su éxito no fue inmediato. No fue hasta 1910 que Fritz Lowenstein inventó una forma mejorada del audióon (US979275), eliminando parcialmente los gases residuales del tubo, que se pudo utilizar en sistemas de telefonía para llamadas de larga distancia. Lowenstein obtuvo buenos resultados al transmitir voz humana alta y clara, por lo que el audióon se convirtió en un amplificador/repetidor de señales de telefonía. Además, Lowenstein comprendió que para que trabajase de forma adecuada el voltaje a la rejilla tenía que ser alimentado con un voltaje constante negativo, o alimentación negativa, “bias”. Lowenstein proporcionó mucha información a Western Electric y a General Electric, de la cual Irving Langmuir era un ingeniero, físico y químico muy importante y que descubrió que el problema de fiabilidad de las válvulas se debía, efectivamente, al gas que contenían.

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

También en Reino Unido el capitán Henry J. Round, ingeniero eléctrico, trabajando para Marconi Wireless Telegraph Co. fue una figura clave en la empresa al diseñar su propia versión del triodo en 1911 (Fig.5). La válvula Round se basaba en el gran tubo de relé de Von Lieben con también una gran placa, pero incorporaba un sistema que mejoraba el vacío en la parte superior además de una rejilla de control de los audiones de De Forest (aunque éstos eran esféricos y pequeños) hecha con una malla de níquel que rodea el filamento y la placa es un cilindro sólido de níquel.

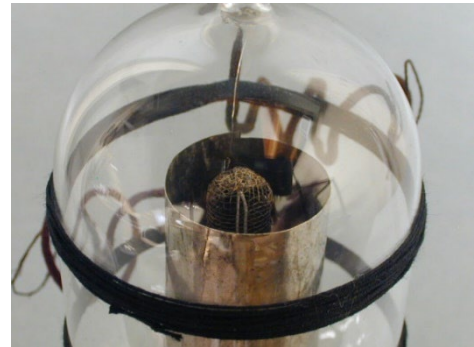


Fig. 5. Válvula tipo C de Round en la que se aprecia la malla (rejilla).

<https://vacuumtubearchive.com/henry-j-round-and-marconi/>

Fue un paso importante entre el tubo de Von Lieben y las válvulas modernas. Todos estos trabajos sentaron las bases para que en 1912-1913 AT&T (fundada en 1885 como la compañía subsidiaria de Bell Telephone Company que gestionaba la expansión de la telefonía en EE. UU.) y los ingenieros de la división de I+D y fabricación de AT&T, Western Electric, como Harold D. Arnold, lideraran la investigación y mejora de los tubos. Perfeccionaron el diseño de los filamentos de tungsteno y eliminaron la presencia de gases residuales mediante el uso mediante bombas de vacío más avanzadas, lo que permitió desarrollar la tecnología y estabilizar y mejorar el triodo para su uso como amplificador fiable en telefonía y radio. En 1913, un repetidor de triodo entró en servicio en la línea Nueva York-Washington, D.C., y posteriormente en la línea transcontinental Nueva York-San Francisco inaugurada en 1915. También en 1914, Harold D. Arnold diseñó un triodo de potencia para una transmisión de radio experimental que permitió realizar la primera transmisión radiotelefónica entre Arlington (Virginia) Washington y París. Gracias a las innovaciones de Arnold, las comunicaciones mundiales se hicieron viables y se sentaron las bases para la radiodifusión moderna. De Forest tubo la gran suerte que en el litigio entre Irving Langmuir (General Electric) y Harold D. Arnold (AT&T), el juez sentenciara que la única patente válida para el triodo pertenecía a De Forest.

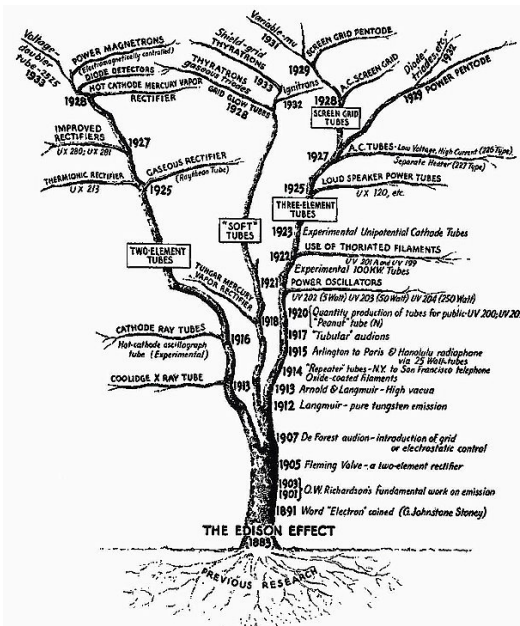


Fig. 6. Complicado árbol genealógico del desarrollo de la válvula electrónica, hasta 1930. Publicado en *Invention and Innovation in the Radio Industry* por W. Rupert Maclaurin, R. Joyce Harman, Macmillan, 1949 – 304 páginas. Massachusetts Institute of Technology

Resumiendo, a partir de 1912 diferentes investigadores reconocieron la capacidad de amplificación (Fig. 7) de señales eléctricas de este triodo para la tecnología de radio emergente (radio AM), por lo que revolucionó la radio y las telecomunicaciones, facilitando la creación de transmisores (moduladores) y receptores (demoduladores) más potentes que mejoraron la calidad y el alcance de las incipientes transmisiones de radiodifusión comercial de voz y música. Durante la I guerra mundial, muchas patentes relacionadas

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

con la radio y las válvulas electrónicas fueron ignoradas o directamente requisadas por los gobiernos para fines militares por lo que se aceleró la adopción de la tecnología de la radio, favoreciendo el desarrollo de nuevas mejores y la generalización de las válvulas electrónicas en telecomunicaciones.

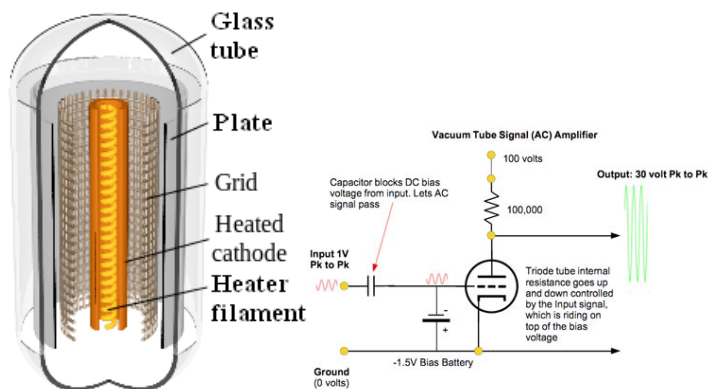


Fig. 7. Tubo de vacío de un solo triodo a la izquierda; observe su estructura tubular.

-https://robobinette.com/How_Tubes_Work.htm. Esquema del funcionamiento de un circuito amplificador con válvula de vacío o triodo de clase A donde la entrada o señal de AC aplicada a la rejilla (grid) y la salida se obtiene de la placa. Este circuito se llama "seguidor de placa" dado que la señal de salida "sigue" el voltaje en la placa.

<https://www.foxaudioresearch.ca/tubeamplifiers.htm>

Existe una gran diversidad de tipos de válvulas termoiónicas pero la mayoría comparten una serie de características comunes que se han ido potenciando con su desarrollo tecnológico (filamento, ánodo, cátodo, vacío, cerámicas). Al principio, las válvulas eran de caldeo directo la mayoría, pero después se introdujo en masa la fabricación de válvulas con caldeo indirecto, que es más fiable y duradero en el que el filamento está recubierto de óxido de bario e introducido en un pequeño cilindro de níquel (cátodo) que lo aísla eléctricamente del filamento (Fig.7).

- Patente de 1880 "Electric lamp" USN223898 de Thomas Alva Edison. <https://patents.google.com/patent/US223898A/en>
- Patente de 1884 "Electrical Indicator" USN307031 de Thomas Alva Edison. <https://patents.google.com/patent/US307031A/en>
- Patente de 1905 "Instrument for converting alternating electric currents into continuous currents" US802684 de John Ambrose Fleming. <https://patents.google.com/patent/US803684A/en>
- Patente de 1906 "Relé de radiación catódica" en Austria N179807 de Robert von Lieben <http://www.hts-homepage.de/Lieben/DRP179807.pdf>
- Patente de 1907 "Telegrafía Inalámbrica" US841386 de Lee De Forest. <https://patents.google.com/patent/US841386A>
- Patente de 1907 "Device for amplifying feeble electrical currents" US841387 de Lee De Forest. <https://patents.google.com/patent/US841387A>
- Patente de 1908 "Space Telegraphy" US879532 de Lee De Forest. <https://patents.google.com/patent/US879532A>
- Mike Adams, "Lee de Forest: King of Radio, Television, and Film" Springer-Verlag New York, 2011
- W. Rupert Maclaurin, R. Joyce Harman, "Invention and Innovation in the Radio Industry", Macmillan, 1949
- "De la caja negra de Marconi al Audió", https://archivo.ea4rch.com/archivo/00014/DeLaCajaNegraDeMarconiAlAudióTrad_EA2BRN.pdf
- Robert Von Lieben y el relevo LRS, J. Gruber (2024). <https://vacuumtubearchive.com/lieben-lrs-relay-2/>
- Henry J. Round y Marconi, J. Gruber (2023). <https://vacuumtubearchive.com/henry-j-round-and-marconi/>
- How tubes work. R. Robinette. https://robobinette.com/How_Tubes_Work.htm
- Cómo amplifica un tubo de vacío. Brian Fox de audio research. <https://www.foxaudioresearch.ca/tubeamplifiers.htm>

21. A. VÁLVULAS DE VACÍO: AZ11 DIODE

Ref.- ELECTRONyCOM-03

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). Posee 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 añade 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.8. Envoltorio original del AZ11 y aspecto del AZ11

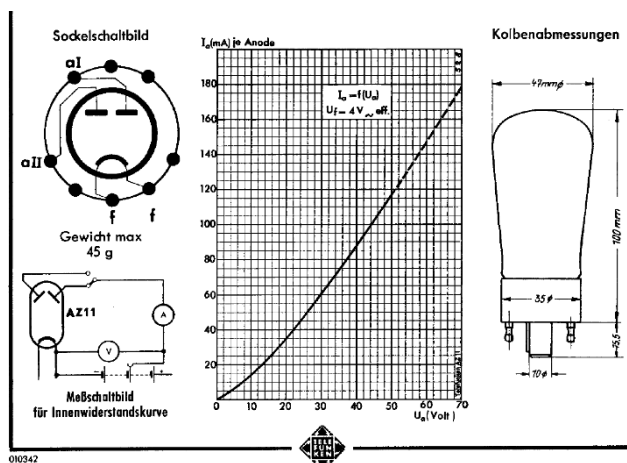


Fig.9. Conexión de los pines del AZ11, característica tensión-corriente (V-I) y dimensiones del AZ11. Detalle de la conexión de terminales

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

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

mantener el vacío. El *getter* adsorbe las moléculas de gas que puedan liberarse en el tubo, manteniendo la integridad del 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. 9.

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 principales eran:

- 1.- En los receptores de radio domésticos de los años 40 del siglo pasado para rectificar la corriente alterna y convertirla en directa (Fig. 10). El máximo valor del condensador de filtrado era de 60 μF .

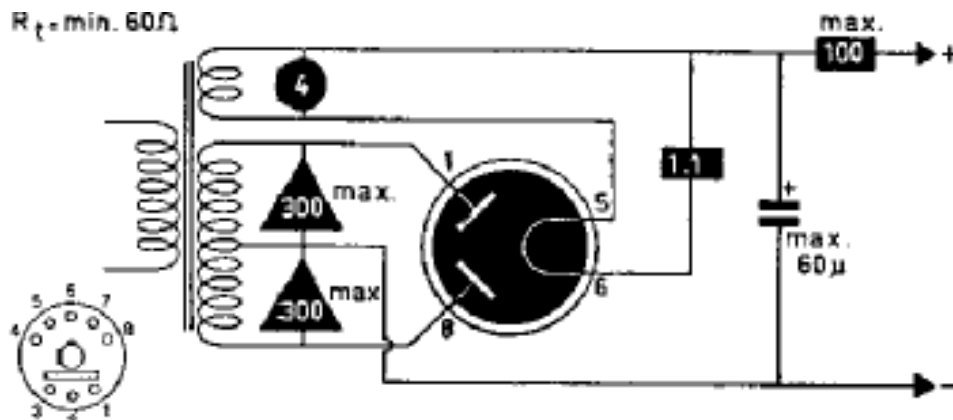


Fig.10. El diagrama de bloques del AZ11 utilizado como rectificador de onda completa (Courtesy Bureau Belper, De Muiderkring, Bussum). El símbolo de la Figura 3 indica una válvula rectificadora de onda completa con caldeo directo utilizada para rectificar la corriente alterna de red a gran potencia.

- 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 instructivo.
<https://www.youtube.com/watch?v=CvGIQGTv3uA>
https://www.youtube.com/watch?v=h0-U_Wl_uls

Fecha de última revisión: febrero de 2019

21. B. VÁLVULAS DE VACÍO. EM11 TRIODE (OJO MÁGICO)

Ref.- ELECTRONyCOM-04

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. DuMont¹.

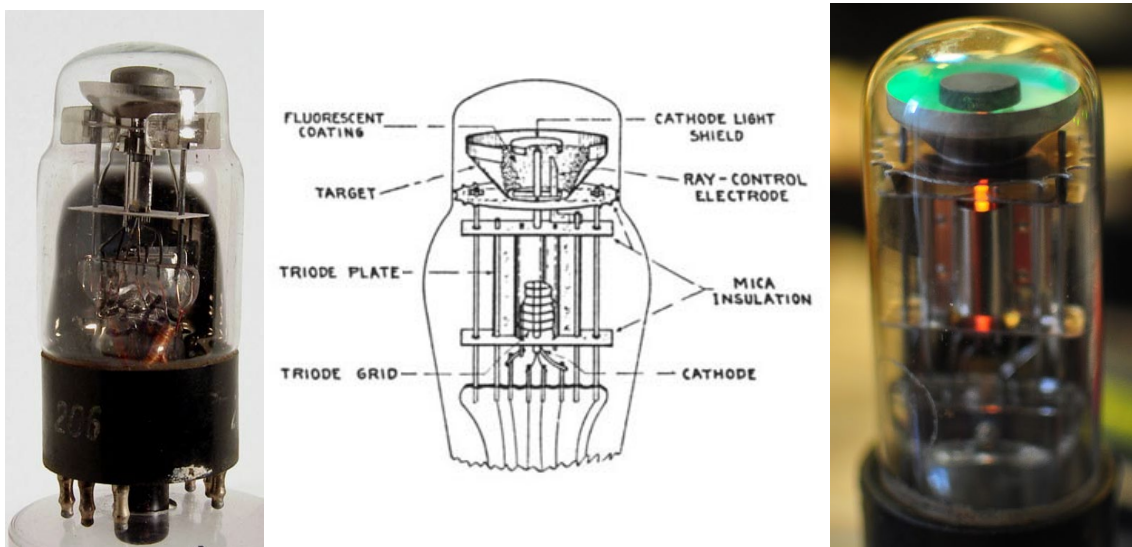


Fig.11. Triodo EM11 o indicador de sintonización (ojo mágico) y diagrama mostrando la construcción física de los componentes.

Aplicaciones: El EM1 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. 11). 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.12).

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

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

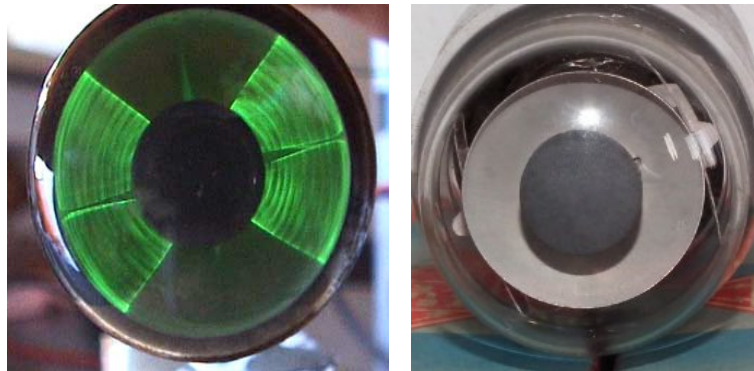


Fig.12. Región de visualización del ojo mágico en funcionamiento y en reposo.

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.

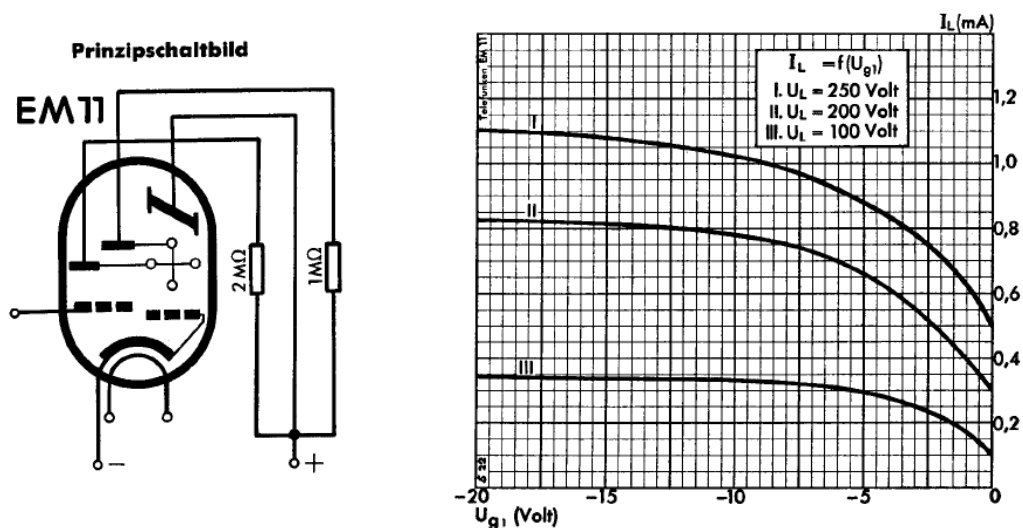


Fig.13. Principio de funcionamiento y características corriente-tensión de la válvula triodo del EM11.

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 (Fig. 13).

Otras aplicaciones: Además de su principal utilización, el ojo mágico fue utilizado para otras aplicaciones, como dispositivos de prueba 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

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

de ojo mágico. Entre ellos, indicadores de nivel de grabación para magnetófonos, puentes de inductancia (la mayoría de los puentes de capacidades y capacitómetros fabricados antes de la electrónica de estado sólido empleaban ojos mágicos como indicador de nulo, incluso aunque tuviera un medidor analógico incluido en el aparato de prueba).

Uno de los primeros equipos que utilizó el ojo mágico fue el RC-Rider Channalyst. Apareció en 1938 y era el sueño de cualquier 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 (derecha) no sólo proporciona instrucciones de uso del instrumento real, sino que también da grandes consejos para el diagnóstico y la reparación de equipos.

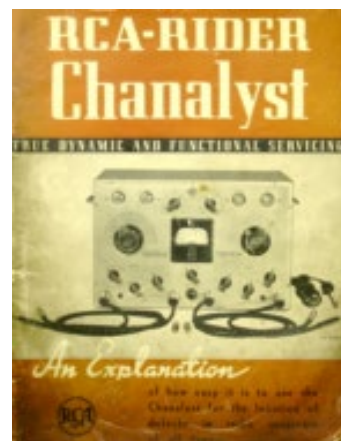


Fig 14. Manual del RCA-Rider Channalyst (arriba derecha) y frontal del equipo.

<http://antiqueradio.org/art/RCAChannalyst06.jpg>

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

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

Funcionamiento del EM11 en un receptor de radio:

³http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo_m%C3%A1gico#mediaviewer/File:Em11-ani.gif

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

Fecha de última revisión: febrero de 2019

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

21. C. VÁLVULAS DE VACÍO. EL11 PENTODE

Ref.- ELECTRONyCOM-05

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 Bernardus Dominicus Hubertus Tellegen en el año 1926¹.

La razón para añadir una tercera rejilla (rejilla supresora) a la válvula de cuatro electrodos (tetrodo) 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^{2,3}.

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

Fig.16. Figuras de la patente del pentodo de vacío

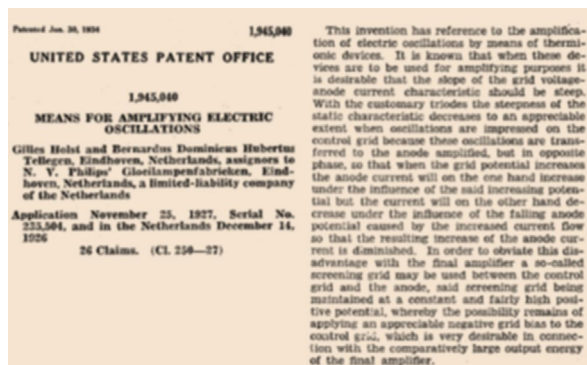
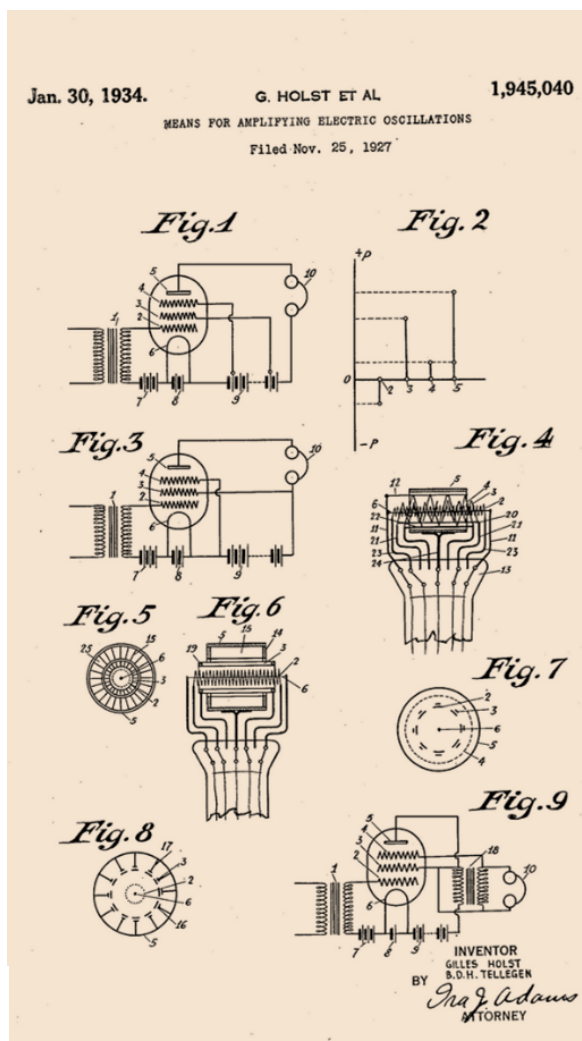


Fig.15. Patente del pentodo de vacío



ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

industriales y de consumo electrónicos, como los receptores de radio 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/coste⁴. Las grandes reservas de los países de la antigua Unión Soviética han proporcionado un suministro constante de este tipo de dispositivos.

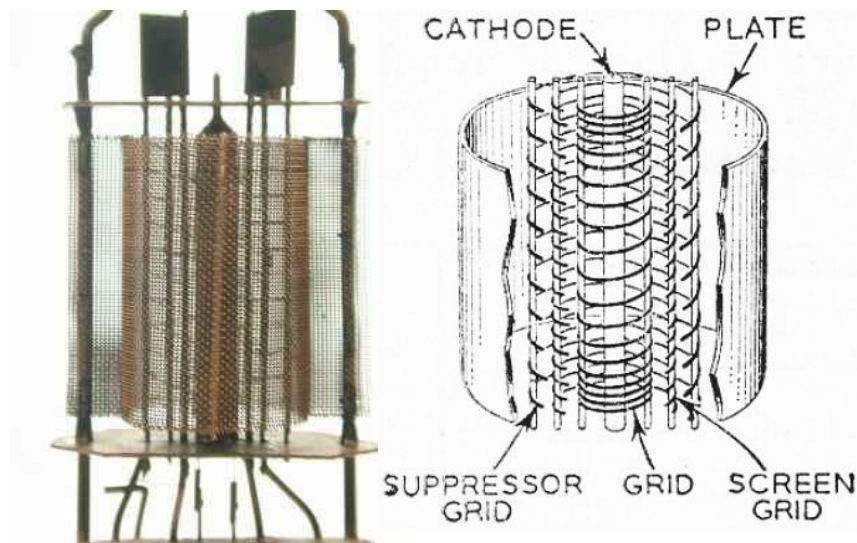


Fig.17. Aspecto interno del EL11. Colocación de las rejillas en un pentodo.

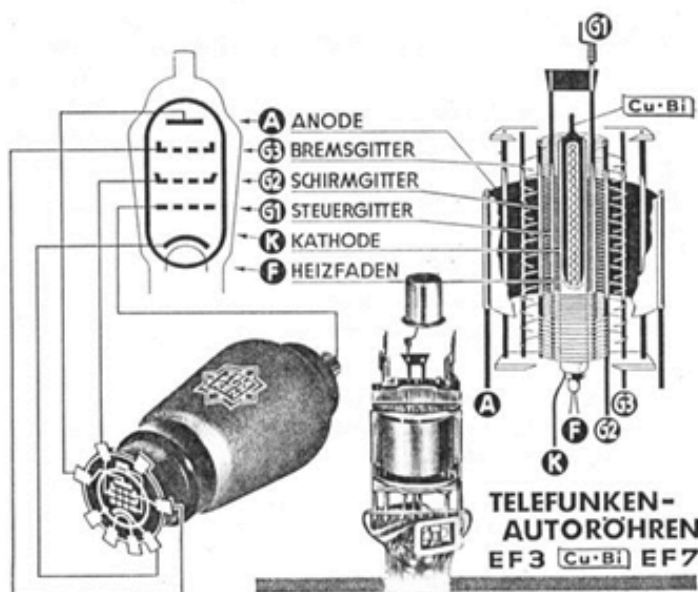


Fig.18. Esquema en publicidad de la época.

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

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 son 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.19. Aspecto exterior del EL11 de la USAL

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

²Stuart, 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

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

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