

HISTORIA DE LA INVENCION DEL TRIODO AMPLIFICADOR

LA VÁLVULA FLEMING, EL AUDIÓN Y LA VÁLVULA LIEBEN

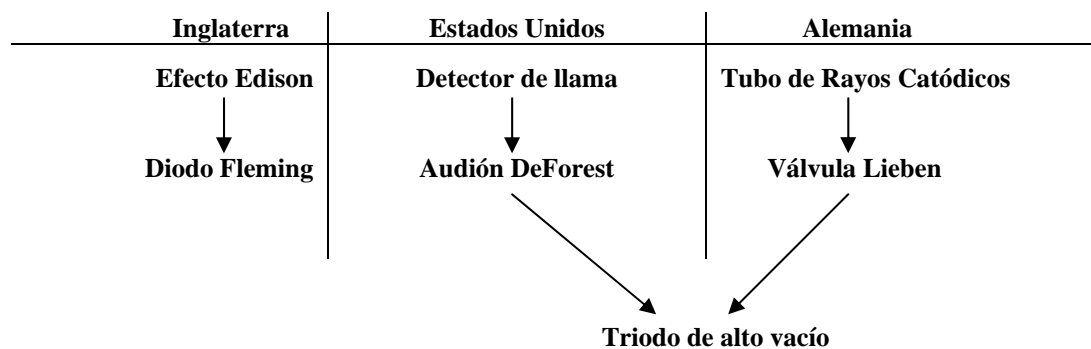
Por: José Carlos Gambau EA2BRN.

Introducción

En todo el mundo está muy extendida la versión académica que afirma que la válvula amplificadora (tríodo) fue inventado por Lee DeForest en 1906 a partir del diodo Fleming. Basta con hojear cualquier enciclopedia para encontrarse la siguiente cadena de hechos:

Thomas A. Edison descubre en 1883 el efecto Edison (el paso de una corriente eléctrica por el vacío), John A. Fleming se aprovecha del efecto Edison para inventar en 1904 el diodo rectificador, y Lee DeForest añade en 1906 una rejilla para controlar la corriente que circula a través del diodo Fleming inventando de esta forma el tríodo.

Todo esto estaría muy bien... si hubiera sido así de sencillo, pero la historia verdadera es mucho más complicada y diferente. Los litigios por las patentes y la I Guerra Mundial han complicado sobremanera la visión histórica, y la tendencia natural humana de simplificar y resumir la historia han acabado dando por buena esta versión sencilla. Básicamente se llegó al tríodo siguiendo simultáneamente dos caminos diferentes y partiendo de orígenes distintos. En los EE.UU. Lee DeForest partió del detector de llama (no de la válvula Fleming, como se indica erróneamente) en la búsqueda de un detector de ondas de radio que no infringiera ninguna patente y acabó inventando el detector Audiión. El otro camino lo marcó en Alemania un hoy olvidado Robert von Lieben que partió del tubo de rayos catódicos de Braun para desarrollar un amplificador de corrientes ondulantes (relé telefónico) sin inercia hasta llegar al dispositivo conocido como válvula Lieben. Siguieron una evolución por completo independiente hasta 1911, después se entremezclan bastante (sobre todo en Europa, donde se conocían los trabajos de ambos inventores) y acabaron convergiendo en el tríodo de alto vacío. El objetivo de este trabajo es aportar algo de luz al proceso real de invención del tríodo, lo que implica en cierto modo la desmitificación de la figura de Lee DeForest; recorreremos las diferentes vías de investigación dando una rápida visión del panorama histórico de esta invención.



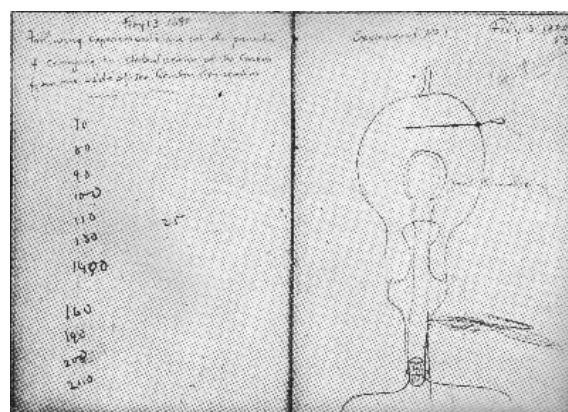
Recorrido esquemático muy simplificado de la invención y desarrollo del tríodo

LA VÁLVULA FLEMING.

Thomas A. Edison había fabricado en 1879 una bombilla eléctrica práctica junto con los elementos necesarios para su uso doméstico (zócalo a rosca, portalámparas, contador eléctrico, etc.) Esta bombilla tenía el filamento de carbón por ser el material con el punto de fusión más elevado que se disponía de forma abundante en aquellos días (todavía no se sabía trabajar de forma industrial con el wolframio). Edison observó que con el tiempo se formaba una película oscura el interior de la bombilla que reducía la luminosidad de la misma. Edison supuso que este ennegrecimiento se debía a la deposición de una capa de partículas de carbón que salían despedidas del filamento, además apreció que el oscurecimiento era más acusado en el lado más próximo al lado del hilo positivo mientras que si se alimentaba la bombilla con corriente alterna este ennegrecimiento era similar en toda la bombilla. Sus notas de laboratorio indican que estudió este problema entre el 13 y el 18 de Febrero de 1880. Pero este trabajo sufrió frecuentes interrupciones debido a la instalación de sus primeras centrales eléctricas y del servicio de alumbrado. En el verano de 1882 volvió a ocuparse del tema. Pensó que esta asimetría del ennegrecimiento se debía a que las partículas estaban cargadas negativamente, y que si insertaba una varilla en el interior de la bombilla conectada al polo positivo atraería a las partículas lo que evitaría su deposición en el vidrio. No pudo experimentar esta hipótesis hasta Marzo de 1883 en que construyó una bombilla con una varilla metálica de platino situada en medio de la horquilla del filamento. Conectó la bombilla e insertó un galvanómetro en serie entre la varilla y el terminal positivo de la bombilla. Su intención era medir la pequeña carga eléctrica que transportaban las partículas de carbón, sin embargo se encontró que la corriente era mucho más intensa de lo que se esperaba. Además sólo pasaba corriente cuando se conectaba la varilla al polo positivo de la batería, si conectaba la varilla al polo negativo no pasaba ninguna corriente en absoluto. Aquello era desconcertante; una corriente eléctrica pasaba por el vacío y sin necesitar cables. Además esta intensidad dependía de la temperatura del filamento. En Noviembre de 1883 patentó esta bombilla como indicador de voltaje por la que recibió la patente 307.031. En realidad Edison no sabía qué hacer con este invento inesperado, sin embargo llamó la atención entre los científicos, aunque fue un interés pasajero. William Preece viajó a los EE.UU. tan sólo para adquirir varias de estas bombillas y experimentar con ellas, John Ambrose Fleming, que era profesor de electricidad en la Universidad de Londres y asesor científico de la compañía Edison Electric Light de Londres también experimentó con esta bombilla sin acabar de comprender lo que tenía entre manos. Cuando se resolvieron los problemas que planteaba la metalurgia industrial del wolframio y los filamentos



Thomas A. Edison (1874 – 1931)



Página del cuaderno de notas de Edison cuando estaba experimentando con el "Efecto Edison". En la parte superior derecha se puede leer la fecha "13 Febrero 1880"

pasaron a fabricarse con ese material desapareció el problema de la deposición de carbón.

En 1899 John A. Fleming se convirtió en asesor científico de la Compañía Marconi y participó en la construcción de la estación de Poldhu. Al mismo tiempo experimentaba para encontrar un detector de las ondas de radio que fuera eficaz. En aquellos días había dos teorías sobre el proceso de detección. Una teoría indicaba que el paso de una onda de radio a través de algunos cuerpos alteraba sus propiedades eléctricas, y esta alteración era la que se ponía de manifiesto por medio de un instrumento receptor (un impresor Morse o un auricular telefónico). La otra teoría defendía que la detección de una onda de radio se debía únicamente al proceso rectificador que presentan algunos cuerpos. Fleming creía en esta segunda teoría y recordó los experimentos que había hecho en 1873-74 con la bombilla de efecto Edison. Esta bombilla dejaba pasar la corriente en un sólo sentido, si la teoría de la rectificación era correcta debía detectar las ondas de radio. Recuperó del baúl

LA VÁLVULA FLEMING.

de los recuerdos una de las viejas lámparas y la conectó en un circuito resonante. Inmediatamente comenzó a leer desviaciones en un galvanómetro. La teoría de la rectificación era la correcta. Después hizo una serie de modificaciones en la forma de la varilla destinadas a aumentar el efecto y observó que los mejores resultados se obtenían con un cilindro metálico rodeando al filamento. Fleming patentó este dispositivo el 16 de Noviembre de 1904 con el nombre de *válvula oscilante*. En los Archivos de la Compañía Marconi se conserva la carta fechada el 30 de Noviembre de 1904 que escribió Fleming a Marconi contándole la invención del diodo. En esa carta dice:

...También citaré que he hecho un descubrimiento interesante. Estoy orgulloso de poder rectificar las oscilaciones eléctricas, es decir, hacer que el flujo de electricidad pase siempre en la misma dirección. De esta forma puedo detectarlas con un galvanómetro normal de espejo. He recibido señales sin nada más que una antena, el galvanómetro de espejo y mi dispositivo. Hasta ahora los experimentos han sido a escala de laboratorio. Esto abre un amplio campo de trabajo, ya que ahora puedo medir exactamente los efectos de un transmisor. Todavía no he mencionado esto a nadie ya que podría ser muy útil.¹

La Compañía Marconi adquirió la patente de la válvula de Fleming y la empleó como detector en algunos receptores, pero su mayor aplicación se encontró en los instrumentos destinados a tomar mediciones precisas de la energía radiada por la antena, ya que las desviaciones de la aguja del galvanómetro eran exactas y proporcionales a la intensidad recibida. Fleming se daba cuenta que la válvula era de gran importancia para la naciente industria de la radio, sin embargo no llegó a imaginarse el alcance real, puesto que no solicitó ninguna compensación a la Compañía Marconi por su invención. No se comprendió la importancia de la "válvula oscilante" hasta la aparición del triodo, lo que originó uno de los litigios más importantes en la industria electrónica entre Fleming y DeForest.

Visto desde la perspectiva actual sabemos que en el diodo de Fleming se encontraba el germen de la electrónica, y nos sorprende que se dejara dormir durante varios años dejando pasar una oportunidad única en la historia, pero debemos de recordar lo fácil que es opinar después de saber la solución



John A. Fleming (1849 – 1945)

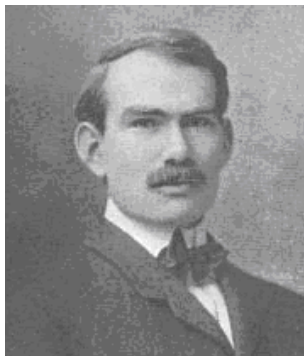


Válvula experimental que usó Fleming en 1904



Receptor con válvula Fleming

EL AUDIÓN DeFOREST.

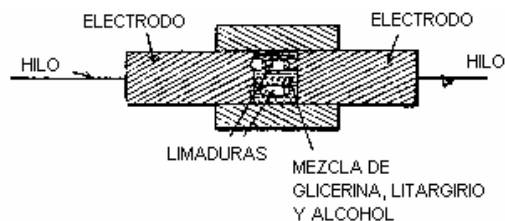


Lee DeForest (1.873 – 1.961)

Lee DeForest era un ingeniero mediocre con una gran pasión por la radio y que cuando lo veía necesario no dudaba en absoluto aprovecharse de las invenciones de otras personas sin su permiso, lo que le ocasionó más de un problema.² Eligió socios poco recomendables (que en ocasiones acabaron en la cárcel por fraude) y su nombre solía aparecer unido a empresas que se movían en la frontera de los negocios fraudulentos cuando no caían por completo en el fraude (el propio DeForest se libró por el grueso de un cabello de ir a la cárcel en 1911 bajo la acusación de venta fraudulenta de acciones). A pesar de este cuadro que acabo de bosquejar, DeForest siempre trató de trabajar en la medida de sus posibilidades procurando mantenerse al margen de los turbios negocios de sus socios. Tropezó con el audión por casualidad mientras buscaba un detector que no infringiera ninguna patente, pero no supo reconocer sus inmensas posibilidades hasta que la patente pasó a manos de AT&T. Siempre vio al audión como un detector y no reconoció sus propiedades amplificadoras hasta que se lo indicaron otras personas (La patente básica de 1906 es por *un detector, no por un amplificador*). En diversos momentos reconoció que no sabía realmente como trabajaba. Tuvo la gran suerte que en el litigio entre Irving Langmuir (General Electric) y Harold D. Arnold (AT&T) por el triodo de alto vacío, el juez sentenciara que no habían inventado nada, y que la única patente válida para el triodo pertenecía a DeForest, que se convirtió del día a la noche en el poseedor de una de las patentes más importantes en la historia de la electrónica.

Nuestra historia comienza en 1903, en ese año el joven ingeniero Lee DeForest, recién salido de la Universidad de Yale, estaba haciendo algunos experimentos de radio telegrafía con dos socios más (Clarence E. Freeman y Edwin Smythe). Habían formado la pequeña compañía Wireless Telephone Company of America, cuando se les acercó Abraham White, un personaje de dudosa reputación. White vio en esta invención una máquina de hacer dinero y deslumbró al joven DeForest con los

castillos en el aire que trazaba el propio White. DeForest olvidó socios y amigos y partió con White hacia Chicago. Crearon la compañía DeForest Wireless Telegraph Co. con sede en Nueva Jersey, Abraham White de presidente y Lee DeForest como director técnico. White orientó la compañía hacia la venta de acciones y no dudó en emplear cualquier medio, lícito o ilícito, para promocionar la venta.³ El detector que usaba Lee DeForest (le llamaba go-responder) era una mezcla de litargirio, glicerina, alcohol y limaduras en el interior de un tubo de vidrio con dos electrodos. En condiciones normales era un buen conductor, cuando llegaba una onda electromagnética aumentaba la resistencia de esta mezcla. Los impulsos se recibían con un auricular. Este detector dejaba mucho que desear y cuando White decidió que había que participar en la Feria de San Louis de 1904 para promocionar la venta de acciones DeForest no dudó en emplear una copia del detector electrolítico de Fessenden (barreter), muy superior a su go-responder. El detector electrolítico DeForest consistía en un pequeño recipiente de vidrio que contenía una disolución de potasa cáustica como cátodo, y el agua actuaba de ánodo del circuito. En esta solución se sumergía un cátodo en forma de punta y la onda que entraba se rectificaba por la acción electrolítica. Fessenden empleaba un hilo fino bañado con plata que sumergía en ácido nítrico para quemarlo hasta hacer una punta muy fina. DeForest usaba un electrodo diferente que llamaba “electrodo de pala” por la forma del terminal. Según DeForest su detector era más práctico y sensible sin emplear ningún “quemado de puntas”, además afirmaba que se basaba en un principio diferente al detector de Fessenden. El resultado inmediato de la exhibición de San Louis fue un incremento en la venta pública de acciones y un contrato con el gobierno para construir una cadena de cinco estaciones en el Caribe para la Marina Americana. White no dudó en trompetear el contrato con el gobierno hasta niveles que llegaron a molestar a la propia Marina, y todo ello pensado para aumentar la venta de las acciones. Fessenden estalló encolerizado al enterarse del plagio que estaba haciendo DeForest, acusó al gobierno de plagio de patentes y presentó una demanda ante los tribunales contra la compañía DeForest. En Octubre de 1905 el tribunal decidió a favor de Fessenden. DeForest tenía que buscar otro detector.

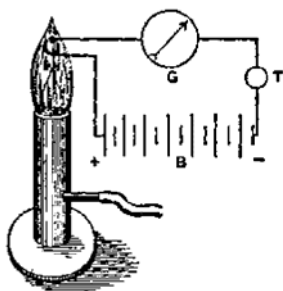


El “go-responder” DeForest

EL AUDIÓN DeFOREST.

Mientras improvisaba un detector con un mineral cristalino para cumplir con el contrato de la Marina le vino a la mente un experimento que había hecho en su época de estudiante en la Universidad. En sus primeras experiencias con las ondas de radio, mientras estaba experimentando con su detector gorrer, se dio cuenta que cuando ponía en funcionamiento el transmisor de chispa se alteraba el brillo de la lámpara de gas. Ajustando el flujo de gas y aire en la lámpara podía aumentar estas variaciones de brillo, pero unos días más tarde descubrió decepcionado que los efectos desaparecían cuando encerraba el transmisor en la habitación contigua y cerraba la puerta. DeForest acabó deduciendo que la variación de la intensidad de brillo la causaba el sonido de las chispas.⁴ (En realidad la radiación ultravioleta de las chispas favorece las reacciones químicas de la llama y aumenta su brillo.)

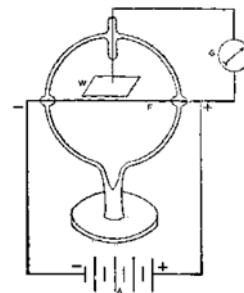
Acuciado por los Tribunales necesitaba encontrar urgentemente un detector completamente nuevo y volvió a experimentar con la llama de gas. Esta vez buscó una respuesta en las propiedades eléctricas de la llama de gas. Introdujo dos electrodos en la llama y observó que podía hacer pasar una débil corriente eléctrica empleando una docena de pilas secas (18 V). Insertando un auricular en el circuito era capaz de obtener una débil respuesta a las ondas. Sorprendido por este comportamiento experimentó con electrodos de diversas formas e incluso cubiertos por sales de metales alcalinos. Finalmente llegó a una forma que le daba una buena respuesta. El electrodo negativo tenía una pequeña copa en la que se ponía una pequeña cantidad de una sal de sodio o potasio, y el electrodo positivo era una simple varilla de platino. El electrodo negativo se ponía en la parte interior o más oscura de la llama y el electrodo positivo en la parte superior o más luminosa. El detector de llama funcionaba bastante bien siempre que la tensión aplicada no fuera suficiente elevada para ionizar los gases calientes, en este caso desaparecía el efecto rectificador. DeForest siempre creyó que el efecto rectificador se debía a la diferencia de velocidad en la recombinación de los iones positivos y negativos. Sin embargo tenía un efecto indeseable y más preocupante: su sensibilidad ante las corrientes de aire más débiles y el ruido de



El detector de llama DeForest

fondo causado por las imperfecciones de la llama. Por esta razón no era práctico su uso comercial.

Estos experimentos le hicieron pensar a DeForest en los gases calientes, y pasó a experimentar con los gases calientes de un arco eléctrico. Insertó un hilo de platino en el centro de un arco eléctrico y lo conectó con un auricular, una batería local y el electrodo negativo del arco. El nivel de ruido que se escuchaba por el auricular era demasiado grande para poder servir como detector. Esto le llevó a probar un tercer sistema; calentar con un filamento el gas encerrado en un globo de vidrio. Sabía que los gases se ionizaban con mayor facilidad a baja presión y probó con un globo de vidrio en que había un gas a baja presión (el aire), un filamento y una placa. Al principio usó un filamento de carbón bañado con una solución de sales de potasio, pero no tardó en descubrir que el tantalio proporcionaba mejor resultado y lo adoptó. Este montaje demostró ser un excelente detector, pero tenía un gran problema: se parecía sospechosamente al diodo de Fleming. En aquellos días la compañía DeForest estaba en medio de una batalla legal con la Compañía Marconi por una reclamación de patentes relativas a la antena y no podía arriesgarse a abrir otro frente de batalla. Sin embargo DeForest estaba plenamente convencido de que su detector funcionaba de forma distinta a la válvula de Fleming. Siguió experimentando en busca de una forma diferente de conectarlo a un circuito receptor y que evitara toda reclamación posterior.

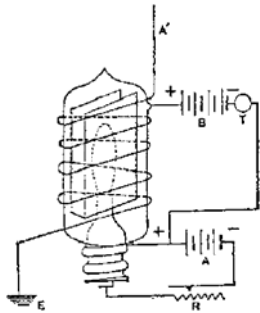


"Diodo" DeForest

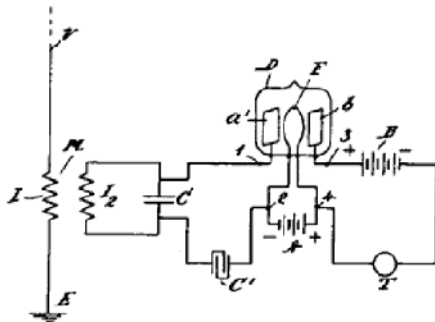
La primera variante que probó fue rodear el tubo detector por una bobina, un extremo de la misma conectado a tierra y el otro extremo a la antena, de tal forma que las ondas captadas por la antena pasaban a través de la bobina. Según su explicación, los iones respondían al campo magnético de las ondas que pasaban por la bobina. También probó a situarlo entre las placas del condensador de sintonía y obtuvo una cierta respuesta. Esto le sugirió otra variante, encerrar las dos placas del condensador en el interior de tubo con el filamento entre ambas placas. La señal de la antena se aplicaba a una placa y el auricular se conectaba a la otra. Por último, en un momento de inspiración, y sin saber exactamente por qué lo hacía, sustituyó la placa que conectaba a la antena por un hilo en zig-zag entre el filamento y la placa. Este

EL AUDIÓN DeFOREST.

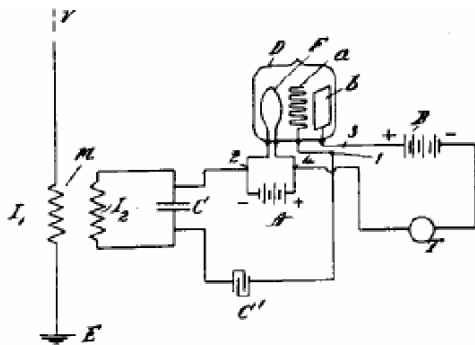
dispositivo le proporcionó una buena respuesta en el auricular, que era lo que estaba buscando, y el 25 de Octubre de 1906 solicitó la patente por el tubo detector de tres electrodos que llamó Audión, un dispositivo que según explicaba a todo el mundo, se basaba en unos principios de funcionamiento completamente diferentes a la válvula de Fleming, pero confesaba que todavía no sabía cuáles eran esos principios.⁵



Detector con control magnético externo.



El "diodo de doble placa" DeForest.



El Audión DeForest

A finales de 1906 fue expulsado de United Wireless (antigua Compañía DeForest) ofreciéndole en total una recompensa de 500 dólares por todas sus patentes y trabajos, excepto por el audión, que se consideraba un dispositivo inútil. DeForest se asoció inmediatamente con otros promotores de dudosa reputación (James Dunlap Smith, Elmer Burlingame y W.W. Tomkins), formando la compañía Radio

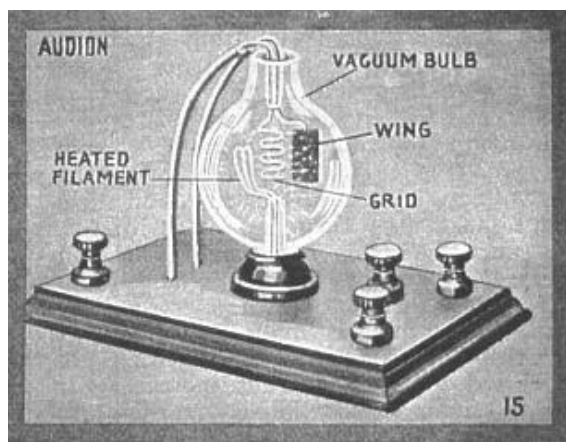
Telephone Co. con el objeto de desarrollar la radiotelefonía, pero la realidad es que también se dedicaba a la venta de acciones asegurando que la compañía había iniciado una investigación que prometía algo parecido a la telefonía móvil de hoy día. DeForest intentó desarrollar un sistema de radiotelefonía basado en el detector audión y el transmisor de arco de Poulsen (nunca admitió que la invención pertenecía realmente a Poulsen). Uno de sus contratos más importantes fue la entrega de 26 radioteléfonos a la Marina. Estos radioteléfonos se instalaron en la Flota para su viaje alrededor del mundo, pero las pruebas no fueron satisfactorias y acabaron desmontados. Eran difíciles de mantener, poco fiables, de escaso alcance y una importante fuente de interferencias para los demás equipos de comunicación. Sin embargo la compañía Radio Telephone hizo una gran publicidad de ello con vistas a la venta de acciones. Se hicieron demostraciones públicas de radiotelefonía y se intentó establecer un sistema de radiotelefonía entre los barcos de los Grandes Lagos, todo ello con una gran fanfarria de trompetas. Finalmente, en 1911 el FBI hizo una gran redada contra el fraude en general, y se detuvo y sentenció por estafa a los directivos de Radio Telephone Co. Lee DeForest también se vio involucrado en la redada y escapó por los pelos de ir a prisión, se libró pagando una fuerte multa. En el juicio que siguió se acusó a DeForest y sus socios de:

"...la venta de acciones de una compañía con un capital de dos millones de dólares y cuyo único activo es un extraño dispositivo similar a una lámpara incandescente que él llama Audión y que no ha mostrado tener valor alguno".⁶

DeForest se trasladó a California y entró a trabajar en la compañía Federal Telegraph Co. que se dedicaba de forma honrada a construir estaciones radiotelegráficas basadas en las patentes de Poulsen para comunicar la costa oeste con Hawai. La primera indicación del audión como amplificador la dio Fritz Lowenstein, un ingeniero que trabajaba en la compañía Hammond en Massachussets y que se dedicaba al control remoto por radio.⁷ Lowenstein fue el primero en usar en 1911 un audión DeForest como amplificador, pero nunca se preocupó en solicitar patente alguna por ello. Este dato llegó a oídos de Beach Thompson, el presidente de Federal Telegraph, que informó inmediatamente a DeForest y le pidió que prosiguiera la investigación del audión. Le asignaron dos ayudantes, Charles V. Logwood y Herbert van Etten. En Julio de 1912 conectó dos audiones en cascada, es decir, la salida de un audión a la entrada de otro por medio de un transformador, y consiguió una amplificación mayor. En Octubre de 1912 De Forest modificó la patente del audión para añadir el efecto de amplificación y seguidamente viajó a Nueva

EL AUDIÓN DeFOREST.

York para presentar el amplificador de dos etapas a AT&T. El amplificador todavía daba aullidos indeseables y era inestable,⁸ sin embargo AT&T adquirió rápidamente los derechos de patente del audión, reservándose DeForest unos pequeños derechos sobre él. Estos derechos permitían que DeForest pudiera fabricar un máximo de 500 audiones al año con fines de experimentación. El dinero que recibió de AT&T lo empleó para independizarse de la Compañía Federal Telegraph y establecer su propia compañía DeForest Radio Tel & Tel en Nueva York para la investigación, fabricación y venta del audión a los amateurs. A partir de ese momento el audión DeForest sigue tres vías diferentes de evolución en tres compañías distintas: DeForest, AT&T y General Electric.



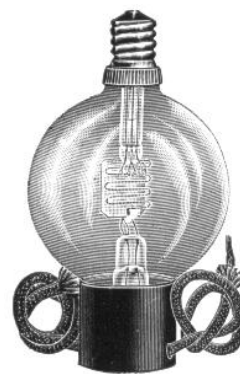
El detector audión.

DeForest:

Lee DeForest seguía sin comprender realmente cómo funcionaba el audión, pero veía en él un medio para rehacer su economía y hacerse un nombre. Durante muchos años fue la única fuente de suministro que tuvieron los amateurs ante la negativa de AT&T primero y después de la RCA para la venta al público. DeForest seguía manteniendo erróneamente que el audión era un dispositivo de gas y que el alto vacío era perjudicial, los fabricaban a mano siguiendo reglas empíricas y el resultado era que no había dos audiones con las mismas características. El contenido de gas interior hacía que fuera inestable, se precisaba ajustar con gran exactitud la tensión de filamento y de placa para evitar el embalamiento causado por la ionización del gas. (Basta recordar el principio de funcionamiento del tiratrón) Al ignorar la relación entre la geometría de sus electrodos y su respuesta eléctrica no estaba fabricado con la forma más adecuada y su amplificación era escasa, además el filamento de tantalio tenía una vida corta. Para paliar algo este problema los audiones se fabricaban con dos filamentos, uno de ellos de reserva en caso de que fallara el primero. El manual de instrucciones

que entregaba DeForest indicaba los siguientes puntos como de gran importancia:

- 1) Cuidar la tensión de la batería de filamento. Una tensión incorrecta puede quemar el filamento con rapidez.
- 2) Ajustar con cuidado la tensión de la placa. Usar una serie de pilas secas e ir conectando celda a celda hasta encontrar la repuesta más fuerte. Una vez que se ha encontrado el número de pilas, conectar en serie un potenciómetro para hacer un ajuste fino.
- 3) El audión ha de trabajar con una temperatura externa de 60°.
- 4) El condensador en serie con la rejilla ha de ser variable y de gran calidad. Un condensador con fugas hace bajar la sensibilidad del audión.
- 5) Algunas veces se aumenta la sensibilidad situando cerca un imán, pero si el imán es demasiado potente puede doblar el filamento o la placa.
- 6) Reducir la corriente de placa cuando aparece la descarga azul brillante en el interior del tubo. La descarga azul reduce la presión de gas y arruina el audión.⁹



List No. 309.

Detalle del audión.

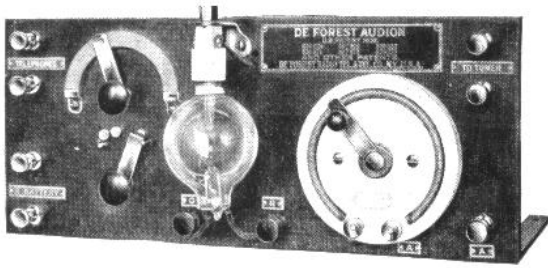
En cuanto al control de calidad y clasificación del audión se hacía de la siguiente forma:

Una vez terminado de fabricar el audión, se comparaba con un detector de galena estándar. Si el audión proporcionaba la misma señal que un detector de galena se clasificaba como grado "S" y se destinaba a detector. Si la señal que entregaba el audión era superior se clasificaba como "X" y se destinaba a ser amplificador. Se podrá tener una idea de la calidad de estos audiones indicando que durante la I Guerra Mundial la Marina firmó un contrato con DeForest para la adquisición de 2.000 audiones, de los cuales rechazaron el 90% por deficientes.¹⁰

AT&T:

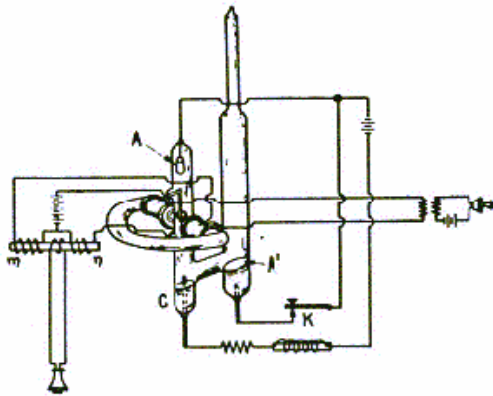
AT&T tenía la necesidad de un buen amplificador (relé telefónico) para poder establecer líneas telefónicas de larga distancia. Se conocían los

EL AUDIÓN DeFOREST.



Receptor audión RJ9 DeForest con sus potenciómetros de ajuste

amplificadores electromecánicos de Shreeve y otros, pero no cumplían con las necesidades. En 1911 se recibió un libro inglés que mencionaba un extraño dispositivo alemán que se estaba experimentando como amplificador telefónico: la válvula Lieben. Inmediatamente se solicitó a Inglaterra más información. Mientras tanto se encargó una investigación a Harold D. Arnold sobre dispositivos amplificadores. Hacia esos momentos se tuvieron noticias del audión como amplificador. Arnold examinó el audión y recibió algo de información sobre la válvula Lieben. El audión le pareció un dispositivo débil y de poca potencia, y siguió la recomendación de Peter Cooper-Hewitt, que le indicaba que investigara el arco eléctrico en vapor de mercurio. Arnold consiguió desarrollar un tubo amplificador de vapor de mercurio basado en la lámpara de mercurio de Hewitt pero resultó ser muy ruidoso e inestable,¹¹ así que concentró sus esfuerzos

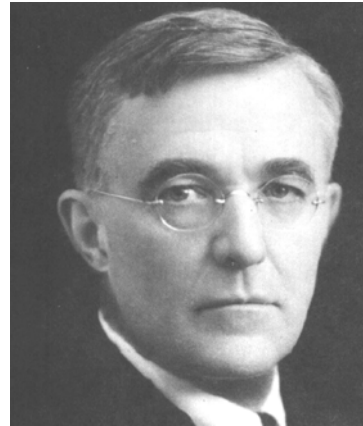


Amplificador de vapor de mercurio de H. D. Arnold

hacia el audión. En sus experimentos con la lámpara de Cooper-Hewitt había descubierto que la presión del vapor de mercurio afectaba mucho a la estabilidad de su tubo amplificador y decidió probar a variar la presión de los gases internos del audión hasta llegar a un alto vacío. Este resultó ser el camino correcto. El audión de alto vacío era estable y muy adecuado para la amplificación. Se hizo una prueba comparativa entre el audión de alto vacío y su prototipo de amplificador de vapor de mercurio, el vencedor fue el audión perfeccionado. En 1913 solicitó una patente por el audión de alto vacío, pero

se enteró con sorpresa que se le había adelantado Irving Langmuir que trabajaba para General Electric.¹²

GENERAL ELECTRIC:



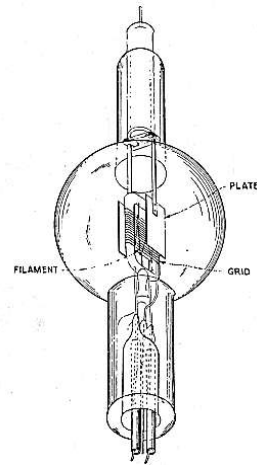
Irving Langmuir (1881 – 1957)

Irving Langmuir era un ingeniero experto en muchas áreas (metalurgia, física y química) pero sobre todo era un científico. Langmuir trabajaba en el Laboratorio de General Electric de forma libre. Era experto en la descarga de gases y aplicó sus conocimientos para perfeccionar diversos dispositivos, como el tubo de rayos X. Tuvo su primer contacto con el audión por medio de John Stone que le entregó uno. Inmediatamente le llamó la atención y decidió desentrañar su principio físico de funcionamiento. Hacia 1913 había resuelto todos los problemas teóricos del audión. Había demostrado matemáticamente que el audión de alto vacío era perfectamente estable, y lo más importante, se podían relacionar las características constructivas del audión con las características eléctricas que presentaba. Por primera vez se podían fabricar los audiones a medida para cumplir las necesidades. General Electric aplicó los estudios de Langmuir para fabricar el primer tríodo moderno verdadero, el Pliotron.

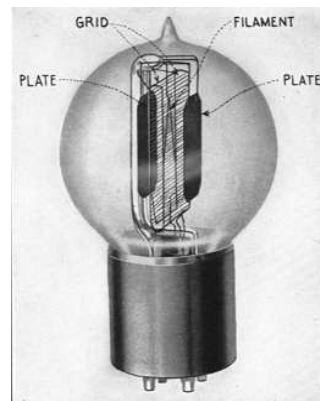
Este tríodo consistía en un filamento de platino cubierto de óxido metálico, y caldeado con una tensión de 4 a 6 voltios. La rejilla eran varias espiras de hilo de tungsteno sobre un marco de vidrio distribuidas uniformemente a ambos lados del filamento. Las placas eran de níquel de 12 x 25 mm situadas a ambos lados de la rejilla. Funcionaba con una tensión de placa entre 90 y 150 voltios. En la demanda legal que siguió a continuación entre Langmuir (General Electric) y Arnold (AT&T) sobre la patente del audión de alto vacío el Tribunal Supremo llegó a la conclusión que la aplicación de un alto vacío al audión era algo natural, y por tanto no patentable. La patente básica del audión era propiedad de AT&T, y posteriormente perteneció a la RCA. Durante varios años la fabricación de las válvulas amplificadoras (tríodos) estuvo controlada por estas

EL AUDIÓN DeFOREST.

compañías y su uso vetado para todos los demás (exceptuando la pequeña cantidad de audiones de baja calidad que seguía fabricando DeForest para uso amateur y de investigación bajo las condiciones de su acuerdo con AT&T, y que fueron objeto de mercado negro. Incluso los audiones fundidos tenían un gran valor pues servían para demostrar que el propietario se dedicaba a la experimentación y podía obtener de esa forma un audión de recambio)



El Piotron.



Fotografía de un Piotron.

LA VÁLVULA LIEBEN:



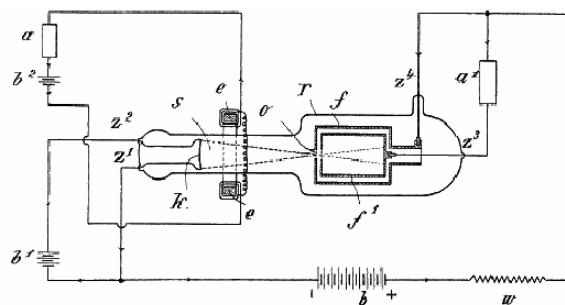
Robert von Lieben. (1878 – 1913)

Robert von Lieben era hijo de un acaudalado comerciante de Viena y Presidente de la Bolsa. Robert no necesitaba trabajar para ganarse la vida y esto le permitió dedicarse a sus aficiones. Desde pequeño se interesó en la física y química, y su padre le facilitó que entrara a trabajar, sin salario, en el laboratorio Siemens Shuckert de Nuremberg. Al llegar a la mayoría de edad sintió la llamada del ejército y se alistó voluntario en el Regimiento Ulano. Allí sufrió un grave accidente con el caballo que le causó serias heridas. Nunca llegó a recuperarse de las heridas que acabaron siendo la causa de que falleciera a temprana edad. Declarado inútil para el servicio militar se trasladó a Gottiengen, donde acudió de forma irregular a la Universidad. Conoció a Walter Nerst, que daba clases de física en la Universidad y conservó su amistad toda su vida. Robert regresó a Viena en 1900 y montó un laboratorio en su propia casa donde pasó muchas horas. Allí experimentó mucho con las descargas eléctricas en los gases, los rayos catódicos y los rayos X. Pudo dedicarse a esto gracias a su independencia económica.

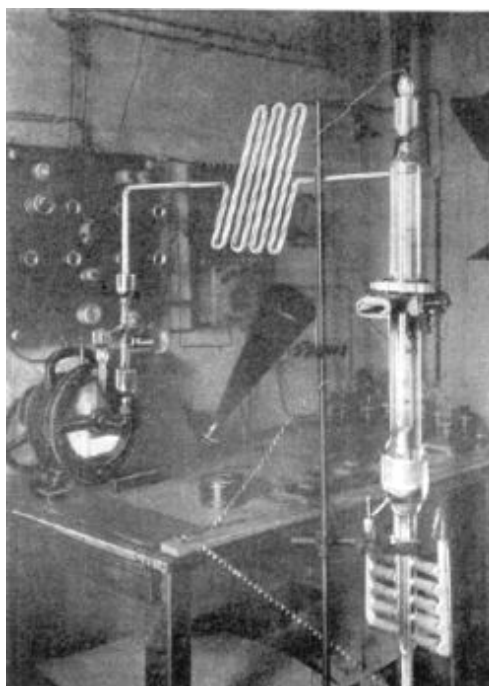
En 1904 adquirió la compañía telefónica de Ohlmuetz. Se interesó rápidamente por los problemas de la telefonía y no tardó en descubrir la enorme importancia que tendría un amplificador telefónico para la telefonía a larga distancia (se denominaban relés telefónicos y consistían en un sensible electroimán con la armadura unida a un micrófono de carbón), pero la actividad comercial no era de su agrado, así que vendió la compañía y se recluyó en casa para trabajar en un relé telefónico. Estudió los relés electromecánicos existentes y llegó a la conclusión que todos presentaban una barrera infranqueable: la inercia de los elementos mecánicos. El relé telefónico ideal no debía tener inercia. Lieben conocía muy bien el tubo de rayos catódicos de Braun, y gracias a sus experimentos sabía perfectamente que los rayos catódicos no presentan inercia, podían desviarse con una gran rapidez. Se decía constantemente “Si pudiera usar un haz de rayos catódicos como armadura de un relé...”

Lo primero que tenía que hacer era aumentar la intensidad de la corriente que circulaba por el tubo

de Braun. El tubo de Braun original era de cátodo frío y se arrancaban los electrones aplicando tensiones muy altas, superiores a los 50.000 voltios. Lieben estaba al corriente de los experimentos de Wehnelt sobre el aumento de emisión de los metales calientes y empleó un filamento para calentar el cátodo del tubo de Braun. La intensidad de la corriente aumentó espectacularmente y le permitió emplear tensiones mucho más reducidas, del orden de unos centenares de voltios. El siguiente paso era obtener un método que le permitiera convertir la desviación de los rayos catódicos en variaciones de intensidad. Lo consiguió de una forma muy ingeniosa. Enfocó los rayos dando al cátodo caliente una forma de espejo cóncavo. En el otro extremo del tubo dispuso dos tubos cilíndricos concéntricos, el exterior con una tapa que tenía un orificio en el centro. Los rayos catódicos sólo podían caer en el cilindro interior cuando pasaban a través del orificio del cilindro exterior. Desviando los rayos catódicos por medio de una bobina podía variar la cantidad de rayos catódicos que atravesaban el orificio.



Primer tubo amplificador de rayos catódicos de Robert von Lieben (Pat. DRP 179807)

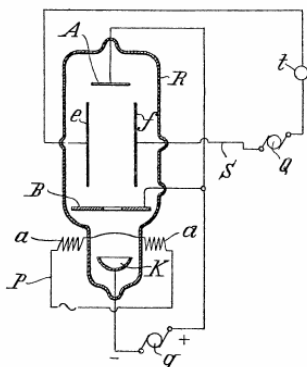


Primer tubo amplificador de rayos catódicos de von Lieben

LA VÁLVULA LIEBEN:

Este tubo le permitía obtener una corriente cuya intensidad variaba según la desviación que había aplicado a los rayos catódicos. El 4 de Marzo de 1906 recibió la patente DRP 179807 por el tubo amplificador de rayos catódicos. El tubo tenía una ganancia moderada, pero carecía de la inercia que afectaba a los amplificadores electromecánicos, sin embargo presentaba un formidable problema: en una fabricación en serie era muy difícil montar el cátodo hueco con la precisión exigida. El tamaño era relativamente grande y el vacío que se podía obtener en aquella época no era lo suficiente elevado para su funcionamiento sin problemas. En el tubo original desviaba los rayos catódicos por medio de un campo magnético generado por una bobina, pero en la patente incluyó que se podían desviar los rayos catódicos con un campo magnético o electrostático.

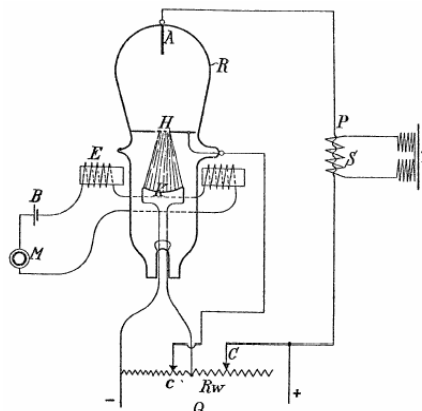
Lieben contrató los servicios de dos ingenieros, Eugen Reisz y Siegmund Strauss, para ayudarle a continuar las investigaciones en su laboratorio y solucionar los problemas que presentaba el tubo amplificador. Se lanzaron a investigar cómo se podía controlar la conducción de los gases a baja presión. Investigaron dos soluciones diferentes por las que recibieron el 4 de Septiembre de 1910 las patentes DRP 236716 y DRP 249142.



Patente DRP236716. Controla la ionización del gas interior para variar la corriente que circula entre las placas e y f

La primera patente (DRP236716) describe un tubo amplificador (le llamaban *relais für unduerender Ströme* –relé para corrientes ondulantes) en el cual había dos placas verticales enfrentadas en el interior de un tubo lleno de gas a baja presión. En la parte inferior del tubo se encontraba un cátodo en forma de espejo hueco que se calentaba por medio de un filamento. Frente al cátodo se encontraba un disco con un orificio en el centro por donde tenían que pasar los rayos catódicos de camino hacia una placa en el extremo superior del tubo. Los rayos catódicos pasaban entre las dos placas verticales y al chocar con las moléculas del gas lo ionizaban. Según el grado de ionización del gas podía pasar más o menos corriente eléctrica entre las placas verticales.

Desviando los rayos catódicos con una bobina se podía controlar el grado de ionización y por tanto la conducción eléctrica entre las placas verticales.



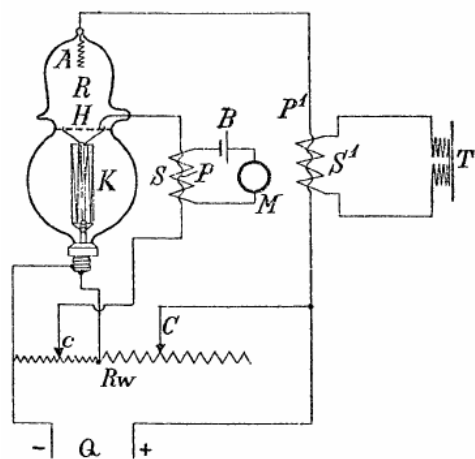
Patente DRP249142. Por medio de la bobina E se controla el flujo de corriente entre el cátodo y el ánodo

En la otra patente de 1911 (DRP249142) podemos ver una segunda solución que se acerca mucho a la forma definitiva de la válvula Lieben. En esta patente eliminó las placas laterales y el disco con el orificio colimador, y simplemente controlaba la cantidad de rayos catódicos que podían pasar del cátodo caliente a la placa, que consistía en una simple varilla vertical en la parte superior del tubo. En esta patente presentaba dos sistemas para controlar la cantidad de rayos catódicos. En uno usaba el mismo disco con un orificio y desviaba con una bobina los rayos catódicos para que pasaran por el orificio o chocaran contra el disco (como hacía en la patente anterior). En el otro sistema (DRP249142) sustituyó el disco con orificio central por un disco de aluminio lleno de pequeñas perforaciones y controlaba electrostáticamente la cantidad de rayos que podían pasar a través de él. Esta última forma es la que dio mejor resultado en los experimentos, pero hacía falta un elemento más para convertirlo en algo práctico.

El 11 de Septiembre de 1911 reciben la patente DRP 254588 por un perfeccionamiento clave en la válvula Lieben: el vapor de mercurio a baja presión. En los primeros años de investigación en la búsqueda de un elemento amplificador basado en el control del flujo de electrones, los experimentadores se habían topado con dos dificultades: primero la creencia que era necesario que el amplificador pudiera conducir una gran cantidad de corriente por su interior, y segundo, el vacío que se podía conseguir con las mejores bombas disponibles todavía era insuficiente. Esto llevó a investigar los tubos llenos con gas a baja presión, y los gases que daban mejor resultado en estas condiciones eran los vapores metálicos (el mercurio a muy baja presión mantiene una tenue atmósfera de vapor) La conducción eléctrica de estos tubos depende de la presión de vapor del interior, que a su vez depende de la temperatura de la válvula. En

LA VÁLVULA LIEBEN:

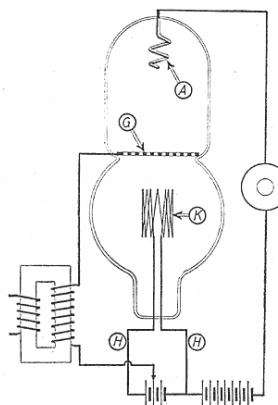
Agosto de 1911 von Lieben y Reisz hicieron una demostración de su válvula (*amplificador de corrientes ondulantes de cátodo caliente*) en el Instituto de Física y Química de la Universidad de Berlín ante un grupo de representantes de las compañías de electricidad más importantes de Alemania. Los representantes se quedaron tan impresionados que las cuatro empresas más importantes, (AEG, Siemens & Halske, Felten & Guillaume, Carlswerk AG y Telefunken) decidieron formar un consorcio para el desarrollo del tubo Lieben. Tras diversas negociaciones finalmente se firmaron el 20 de Febrero de 1912 los acuerdos para el Consorcio, entre los representantes de las firmas mencionadas y Robert von Lieben para la adquisición de los derechos de fabricación y venta de todas las patentes de Robert von Lieben, Eugen Reisz y Siegmund Strausz para Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Hungría, Inglaterra, Noruega, Suecia y Suiza. Inicialmente se incluían también los EE.UU. pero a petición de von Lieben se eliminó del acuerdo para evitar problemas de patentes con el audión de Lee DeForest.¹³



Patente DRP249142. Controla el flujo de corriente entre el cátodo y el ánodo por medio del disco perforado (rejilla) H

Este acuerdo ponía a disposición de von Lieben los laboratorios de Siemens & Halske y AEG para el desarrollo de sus invenciones y se obligaba a informar a los miembros del Consorcio de todos los experimentos hechos por él. Robert von Lieben recibiría por compensación 100.000 marcos con una opción de 20.000 marcos más, y 18 marcos por cada tubo fabricado bajo sus patentes. En Austria y Hungría subiría esta tasa a 22,5 marcos por cada tubo. También recibiría 4.000 marcos por sus trabajos en los laboratorios citados.

Siemens & Halske centró su investigación con las válvulas Lieben como amplificadores telefónicos para sustituir a los poco fiables amplificadores



Válvula Lieben definitiva Pat. DRP 254588. El interior está lleno de vapor de mercurio a baja presión



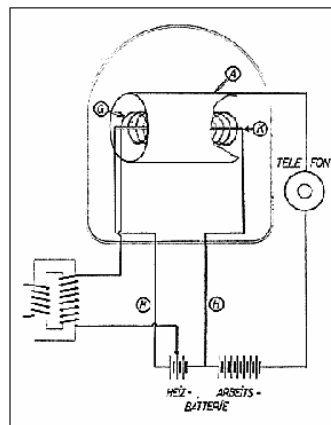
Válvula Lieben. Se puede apreciar en un costado el pequeño depósito de mercurio.

electromecánicos, Telefunken se centró en su uso como amplificador de radio frecuencia. Había una diferencia fundamental entre la forma de llevar la investigación que seguían Siemens y Telefunken. En Siemens, bajo la dirección de Walter Schottky, se dedicaron más a estudiar la física que subyacía en la válvula Lieben, mientras que en Telefunken, con un laboratorio mucho menos adaptado para la investigación científica, y contando únicamente con ingenieros prácticos, se centraron más en las aplicaciones prácticas de la válvula. Los dos ingenieros que trabajaron más con el tubo Lieben en Telefunken fueron Otto von Brock, que había experimentado antes con el audión DeForest, y Alexander Meissner, este último descubrió la amplificación realimentada de la válvula Lieben y que le permitió construir un oscilador a principios de 1913. La válvula Lieben de vapor de mercurio a baja presión era muy inestable, los mejores resultados se conseguían a una temperatura de 25 grados y para utilizarla en la práctica se incluyó un estabilizador de temperatura.

LA VÁLVULA LIEBEN:



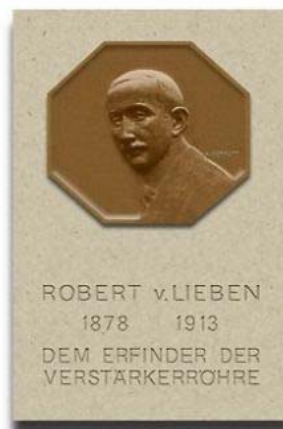
Amplificador de señal con un tubo Lieben y el estabilizador de temperatura.



Moderno triodo

Robert von Lieben falleció en Viena el 20 de Febrero de 1913. Otras personas se dedicaron a desarrollar su válvula. En esos momentos la válvula Lieben era un dispositivo capaz de amplificar una corriente ondulatoria sin transgredir las patentes del audión y capaz de manejar una intensidad mas elevada, pero con un funcionamiento inestable que dificultaba su uso comercial. Cuando estalló la Gran Guerra no se estaba al corriente en Alemania de los avances que estaba haciendo Irving Langmuir y Harold D. Arnold con las válvulas de alto vacío y prosiguieron independientemente sus investigaciones experimentando con diferentes gases (aparte del vapor de mercurio también dieron buenos resultados el nitrógeno y el helio). Un ingeniero de Telefunken observó en sus experimentos que al aumentar el vacío se estabilizaban las características de la válvula a cambio de elevar la tensión de placa y obtener una ganancia más reducida. Además se hicieron dos importantes modificaciones: el disco de aluminio perforado que controlaba el flujo de electrones se sustituyó por una espiral rodeando al filamento, y se sustituyó la varilla por un cilindro que rodeaba al conjunto rejilla-filamento. Durante bastante tiempo convivieron los dos tipos de válvulas, de alto vacío –o válvulas duras, de menor coeficiente de amplificación pero más estables – y válvulas de bajo vacío – o válvulas blandas. AEG continuó sus investigaciones con las válvulas de gas para los circuitos telefónicos de baja frecuencia, mientras que Siemens y Telefunken prosiguieron las investigaciones con las válvulas de alto vacío. A partir del momento en que la válvula Lieben se convierte en un dispositivo de alto vacío y pasa a controlar el flujo de los electrones entre un filamento o cátodo caliente y una placa fría por medio de una rejilla que rodea el filamento no puede hablarse de un audión DeForest y una válvula Lieben diferentes. Se trata del mismo dispositivo al que se ha llegado por dos caminos diferentes. Tal vez la válvula Lieben sea la que ha sufrido más modificaciones

en su forma original a lo largo de este camino. Este hecho y que durante la I Guerra Mundial se convirtieran los EE.UU. en uno de los principales suministradores de los aliados de la válvula de alto vacío fabricada masivamente por General Electric y Westinghouse, la publicación a nivel mundial de los trabajos de Irving Langmuir que explicaban todos los aspectos de los triodos que todavía permanecían oscuros, más el pleito que estableció Marconi contra DeForest por plagio de la patente del diodo Fleming estableció la “tradicción académica” de que el triodo y todas las válvulas amplificadoras de alto vacío procedían del audión DeForest, que a su vez provenía de la válvula Fleming. Otro punto muy importante para este “olvido” fue que Robert von Lieben fuera de ascendencia judía. En 1927 se le rindió un homenaje en su ciudad natal, Viena, donde se pronunciaron discursos y se descubrió una placa conmemorativa en la casa donde había nacido. Con la llegada al poder de Hitler y el partido Nazi en 1933 y la anexión de Austria (*Anchluss*) se trató de borrar toda la memoria judía, se retiró la placa de la pared (hoy está perdida) y se borraron todas las referencias a sus trabajos.



Placa conmemorativa que estaba en la casa natal de von Lieben. Desapareció en 1938 durante el gobierno Nazi

Dice:
Robert von Lieben
1878 – 1913.
El inventor del
tubo amplificador

OTROS INVESTIGADORES

Es interesante mencionar los trabajos de Walter Schottky con el triodo durante la I Guerra Mundial. Schottky entró a trabajar en el Laboratorio de Siemens en 1914 y donde permaneció hasta 1919. Mientras estaba en el Laboratorio recibió el encargo de los militares para que desarrollara una válvula que pudiera trabajar con una tensión de placa relativamente baja y que permitiera construir receptores portátiles a baterías para las trincheras. Schottky desarrolló la teoría de la carga espacial, una nube de electrones que se sitúan entre el cátodo y la rejilla que forman realmente una barrera de carga negativa que exige emplear unas tensiones altas de placa para que los electrones puedan atravesar esta barrera. Schottky razonó que si se interponía una rejilla de malla ancha entre el filamento y la rejilla de control, y se aplicaba una tensión positiva de 4 a 5 voltios a esta rejilla auxiliar se reduciría esta nube de electrones y permitiría emplear una tensión de placa mucho más reducida, bastaría con 10 a 15 voltios. En 1915 presentó el tubo de dos rejillas, o bigrilla. Este tubo permitía emplear una tensión de placa bastante baja, pero no tuvo una gran aceptación por diversos problemas, principalmente de estabilidad.¹⁴ Podemos ver que no se trata del tubo tetrodo con rejilla pantalla, como se suele indicar con demasiada frecuencia, sino de otro tubo también con dos rejillas pero bajo un principio de funcionamiento completamente diferente. Esta misma válvula bigrilla la encontramos en 1925 en un receptor a reacción que funcionaba únicamente con tres pilas de 4,5 voltios, 4,5 para el caldeo y 9 voltios para la tensión de placa. Poco después se dejó de fabricar y utilizar la válvula bigrilla. El tetrodo con rejilla pantalla, tal como lo conocemos, apareció en 1924 inventado por Albert W. Hull, del Laboratorio General Electric, y al año siguiente Tellegen, ingeniero de Philips, presentó el pentodo cuya rejilla supresora solucionaba el problema de la emisión secundaria del tetrodo. Esta historia viene apoyada por la importancia del circuito neutrodino de Hazeltine de 1923 y que permitió la aparición de receptores de radiodifusión comerciales con amplificación de RF sin la presencia de las molestas inestabilidades causadas por la realimentación. La aparición del tetrodo con rejilla pantalla convirtió en obsoleto al circuito neutrodino. Hacia 1926 apenas se empleaban los triodos como amplificador de RF sintonizado y el circuito neutralizado de Hazeltine era un recuerdo del pasado.¹⁵

Compañía Marconi:

La compañía Marconi era la propietaria de la patente del diodo Fleming, e ignoró por completo al audión, lo consideraba un extraño detector. En sus estaciones empleaba los amplificadores electro-mecánicos Brown conectando dos o incluso tres en serie. Robert von Lieben dio a conocer en Julio de



Walter Schottky 1886 - 1976



Henry Round 1881 - 1966



Válvula Round. Puede verse el apéndice superior con un trozo de asbesto.

OTROS INVESTIGADORES

1911 su válvula amplificadora, y en Febrero de 1912 se creaba el Consorcio Lieben. En esas fechas la Compañía Marconi se encontraba enfrentada con Telefunken en un pleito de patentes que acabó con la retirada de los cargos por parte de Telefunken a finales de 1912 y la firma de las paces. En Marzo de 1913 se firmó un contrato de intercambio de patentes entre Marconi y Telefunken. Esto permitía que Marconi pudiera disponer de la válvula Lieben para un desarrollo conjunto con Telefunken. Inmediatamente se ponían manos a la obra Henry Round y Charles Franklin, dos brillantes ingenieros de Marconi, especialmente el primero. H Round había estado algún tiempo en los EE.UU. y conocía el audión DeForest, pero parece ser que no se tomó demasiado interés en él.

La I Guerra Mundial acabó con el contrato recíproco entre Marconi y Telefunken, pero mientras estuvo vigente H. Round desarrolló un curioso tubo de gas con un apéndice en la parte superior donde se había dispuesto un trozo de asbesto. A medida que variaba la temperatura del tubo el asbesto absorbía o soltaba gas proporcionando cierta estabilidad. En caso necesario se podía recurrir a calentar con una pequeña llama el apéndice del asbesto. Este tubo presentaba una gran amplificación. Un amplificador con un tubo Round equivalía a un amplificador con tres tubos de alto vacío en serie. Sin embargo, los progresos de la electrónica hicieron que el tubo de gas desapareciera al final de la Gran Guerra. Sólo quedó la válvula de gas en forma de rectificador de vapor de mercurio para altas intensidades, como estabilizador de tensión (los veteranos recordarán la OB2), en forma de tiratrón como rectificador controlado o memoria en las primeras calculadoras electrónicas de válvulas.

La filial americana de Marconi se enteró prácticamente al mismo tiempo de las propiedades amplificadoras del audión y tuvo algunas noticias de la válvula Lieben. Como hemos visto antes, DeForest había vendido en 1913 la patente del audión a AT&T para emplearlo exclusivamente en las líneas telefónicas. American Marconi hizo algunas pruebas iniciales con el audión pero se mostró conservadora y decidió seguir con el amplificador Brown. Más tarde pagaría caro esta decisión. En 1914 Edwin H. Armstrong presentó su famoso receptor regenerativo e hizo una demostración ante los representantes de la Compañía American Marconi (entre ellos se encontraban David Sarnoff, John Carty y Roy Weagant)¹⁶ Los sorprendentes resultados que consiguió les convencieron plenamente, pero apareció una complicación. Western Electric, la compañía propietaria de AT&T, había adquirido en exclusiva los derechos del audión. Como hemos podido ver en la sección del audión, DeForest se había reservado una pequeña fabricación exclusivamente para uso amateur. American Marconi podía hacer pruebas con el

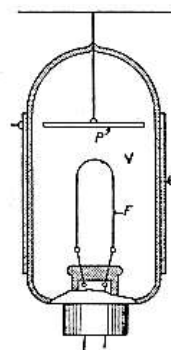
audión pero no podía usarlo profesionalmente, tampoco podía usar la válvula Lieben ya que su patente chocaba con el audión DeForest y no se habían incluido a los EE.UU. en la cobertura de patentes del Consorcio Lieben. American Marconi tenía que seguir recurriendo a los amplificadores electromecánicos Brown.



Roy A. Weagant (1881 - 1942)

American Marconi estudió detalladamente las patentes del audión y del detector Fleming y avanzó en dos direcciones: 1.) entablar un pleito contra DeForest por plagio de la patente del diodo Fleming y 2.) diseñar un tubo amplificador que pudiera eludir la patente del audión.

El ingeniero Roy A. Weagant diseñó un tubo de vacío amplificador que estaba protegido por la patente de Fleming. Su tubo amplificador se basaba en la acción electrostática que ejercía un cilindro o alambre arrollado en espiral en el exterior del tubo sobre los electrones que circulaban entre el filamento y la placa. La válvula funcionaba como si dispusiera de una rejilla interna y aunque presentaba numerosos problemas sirvió durante algún tiempo. De hecho se trataba de un diodo Fleming con un filamento y placa que permitía amplificar una señal gracias a una rejilla externa. La Compañía Marconi podía disponer de esta forma de un amplificador electrónico sin transgredir la patente del audión. Este tubo amplificador demostró ser muy poco práctico y no tardó Weagant en diseñar otro tubo amplificador con una rejilla entre el



Válvula Weagant de control externo.

OTROS INVESTIGADORES

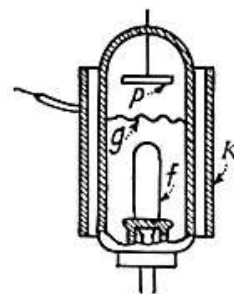
filamento y la placa *sin conexión exterior*. Para eludir la patente del audión controlaba la rejilla electrostáticamente. Por esta razón la rejilla estaba conectada a un cilindro metálico en el interior del tubo de vidrio, y paralelamente en el exterior del tubo había otro cilindro. Weagant llamó a esta válvula *tubo de cuatro elementos*, que en algunos medios se cita hoy día como antecesor del tetrodo. Podemos ver que se trata en realidad de un triodo con la rejilla acoplada por medio del condensador que formaban los dos cilindros metálicos y de dieléctrico actuaba el vidrio de la ampolla. (Inexplicablemente un ingeniero de Telefunken volvió a usar el mismo principio en 1930 en su receptor Arcotrón que nunca funcionó satisfactoriamente y demostró ser una decisión errónea) En 1916 se dictó sentencia final del juicio entre Fleming y DeForest que resultó ser una sentencia salomónica. El juez Mayer sentenció que la patente de la válvula de Fleming sólo cubría el uso de la lámpara de efecto Edison como detector de corrientes alternas de alta frecuencia, pero al mismo tiempo reconocía que la rejilla y la placa del audión podían usarse como la placa de la válvula Fleming. Ambas partes se retiraron satisfechas y las cosas siguieron igual.¹⁷

La entrada de los EE.UU. en la I Guerra Mundial hizo que el Gobierno de los EE.UU. requisara todas las estaciones de radio, además publicó un edicto autorizando a que otras compañías fabricaran los triodos para cubrir las necesidades de guerra y también autorizó su uso en todas las estaciones de radio bajo control militar. Al finalizar la guerra se creó la RCA, una corporación de varias compañías, entre ellas AT&T, que adquirió a la Compañía American Marconi y se convirtió en la principal compañía de comunicaciones en los EE.UU.¹⁸

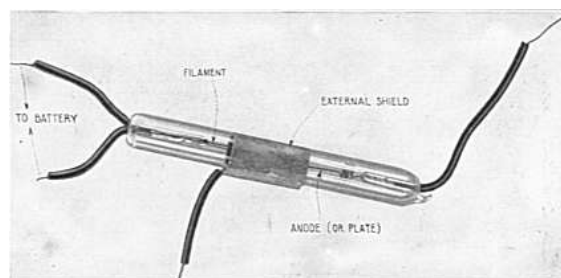
Válvula Desmontable Holweck

No podemos cerrar este trabajo sin hacer una referencia a un tipo especial de válvula poco conocido, se trata de la válvula desmontable.

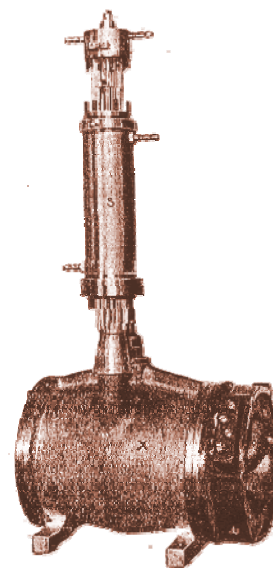
A finales de los años veinte comenzaron a aparecer válvulas especiales de alta potencia para los transmisores. Estas válvulas tenían un precio muy elevado y funcionaban continuamente en unas condiciones de trabajo de gran exigencia. No es de extrañar que su duración de vida fuera más bien escasa. Si se pudiera desmontar fácilmente la válvula para permitir su reparación (normalmente la sustitución del filamento agotado) se obtendría una gran economía. El problema estaba en disponer de un sistema sencillo para obtener el alto vacío exigido y que fuera de fácil manejo para el personal de mantenimiento de las estaciones de radio. El profesor Fernand Holweck del Instituto de Radio de Francia solucionó el problema al diseñar una bomba rotativa de alto vacío de bajo coste y fácil uso. Para evitar las pérdidas de estanqueidad situó una bomba



Válvula Weagant de cuatro elementos.
P = Placa, f = filamento, g = rejilla interior, K = anillo exterior



Válvula Weagant de control externo.



Válvula desmontable Holweck.

La parte superior es el triodo de potencia del tipo de refrigeración por agua. El cilindro inferior es la bomba de vacío que extraía el aire continuamente.

directamente debajo de cada válvula. Esta bomba se mantenía constantemente en marcha mientras la válvula estaba en funcionamiento, de esta forma extraía continuamente el aire que podía filtrarse por las juntas. Estas juntas eran al principio de un caucho especial, pero con el tiempo se emplearon otros materiales, como una mezcla de betún, arcilla y grasa. En 1923 se probó la primera válvula desmontable en el transmisor de la Torre Eiffel. Tras observar su buen funcionamiento se fabricaron inmediatamente válvulas desmontables de hasta 150 kW de potencia.

NOTAS

- ¹ Carta de Fleming a Marconi fechada el 30 de Noviembre de 1904. Se guarda en los Archivos de la compañía *Marconi plc*.
- ² Entrevista a Lloyd Espenchied con fecha 2 de Junio de 1973. IEEE Historic Center. En esta se refiere a DeForest con estos términos: *No, no era ingeniero. Toda su vida fue un hombre de mundo. Fue un mediocre que tropezó felizmente con el dispositivo de tres elementos. Un mediocre con suerte. Pero era perseverante; se mantuvo aferrándose a todas las patentes y aplicaciones sin saber lo que estaba haciendo...*
- ³ *Fools and Their Money* de Frank Fayant, artículo publicado en *Success Magazine*, Enero de 1907
- ⁴ Estos experimentos aparecieron publicados en la revista *Electrical World and Engineer* del 12 de Abril de 1902 pag. 652 – 653 en un artículo escrito por Lee DeForest.
- ⁵ El propio Lee DeForest narró esta serie de experimentos en un artículo publicado en el *Scientific American* del 30 de Noviembre de 1907. págs. 348 - 350.
- ⁶ Estos hechos aparecen narrados en la obra *History of Radio to 1926* de Gleason Archer
- ⁷ Lloyd Espenchied narra en una entrevista para el IEEE Historic Center: *Mientras tanto, en 1911 Fritz Lowestein, aquí en Nueva York, había convertido a un audión DeForest en un amplificador antes que DeForest...*
- ⁸ Fueron precisamente estos aullidos que DeForest incluyó en su patente del audión amplificador los que le permitieron ganar el famoso proceso contra Armstrong por la regeneración o audión oscilador
- ⁹ Estos consejos se publicaron en la revista *QST* de Marzo de 1916 págs. 41-44, artículo de A. B. Coole, director de ventas de la compañía DeForest Radio Tel. & Tel
- ¹⁰ Estos hechos aparecen narrados en la obra *History of Communications-Electronics in the United States Navy* de Linwood S. Howeth. Cap. XVII
- ¹¹ El dispositivo amplificador de Arnold se basaba en desviar magnéticamente un haz de iones de mercurio creados mediante un arco voltaico que saltaba entre un ánodo metálico y un cátodo de mercurio. Este haz de iones de mercurio influía sobre un segundo circuito magnético del que se tomaba la señal de salida amplificada.
- ¹² Esta historia se puede encontrar en dos fuentes diferentes, en una entrevista a Lloyd Espenchied con fecha 2 de Junio de 1973. IEEE Historic Center; y en la obra *History of Communications-Electronics in the United States Navy* de Linwood S. Howeth. Cap. XVII.
- ¹³ Se conserva el documento original de creación del *Consortium Lieben*. En él se encuentra tachado el punto relativo a los EE.UU. con la anotación *Amerika gestrichen R. v. Lieben* (Anulada América, Robert von Lieben)
- ¹⁴ En la obra *Radio Ciencia* de Agustín Riu se explica el funcionamiento de la válvula bigrilla de Walter Schottky y se compara con el tetrodo para aclarar que no se trata de la misma válvula.
- ¹⁵ En la entrevista a Harold Wheeler de fecha 29 de Junio de 1991, IEEE Historic Center, se narra la historia de la invención del circuito neutralizado: *Me dije que si insertaba en la placa de un tubo de vacío un transformador inversor, podría acoplarlo por medio de un condensador que simulara la capacidad rejilla placa de forma inversa y estabilizaría el amplificador. Esto era tan sencillo que el tribunal podía decir que no era una invención. Era obvio. La mayor parte de las invenciones son obvias, una vez que se ha establecido de la forma correcta el problema... La invención de la neutralización de Hazeltine es un perfecto ejemplo; estuvo muy activa durante unos cinco años, y luego apareció el tubo de rejilla pantalla que eliminó el problema.*
- ¹⁶ Lloyd Espenchied narra esta escena en una entrevista para el IEEE Historic Center: *A comienzos de 1914, hubo rumores sobre un joven estudiante de Columbia que recibía señales a través del Atlántico. En aquel tiempo era algo insólito. Se trataba de Armstrong. Descubrí eso y escribí una nota sugiriendo que se investigara. Mientras tanto Pupin había hablado con (John J.) Carty, y lo siguiente que supe es que se nos había invitado a presenciar la recepción con Armstrong a esas distancias nunca oídas. Se me eligió a mí porque yo era un operador y podía identificar esas señales. Era cierto, eran estaciones del otro lado del Atlántico y del continente...*
- ¹⁷ En el artículo *The situation of vacuum tube* de Elmer T. Cunningham publicado en el número de Febrero de 1920 del periódico *Pacific Radio News* se analiza la oscura sentencia del juez Mayer.
- ¹⁸ En la obra *History of Communications-Electronics in the United States Navy* de Linwood S. Howeth. Se incluye en el Cap. XXX la sorprendente historia de la creación de la RCA gracias a los esfuerzos conjuntos de la U.S. Navy, el Gobierno y General Electric para impedir que la patente del alternador de alta frecuencia de Alexanderson cayera en manos de Marconi.

Bibliografía

Oskar Blumtritt: *The Lieben Valve: a German "universal amplifier"*
Elmer E. Bucher: *Vacuum Tubes in Wireless Communication*
Ernst Erb: *Radios von Gestern*
Frank Fayant: *Fools and Their Money*
IEEE Historic Center: *Oral histories*
Linwood S. Howeth: *History of Communications-Electronics in the United States Navy*
Matthew Josephson: *Edison*
Patentes de Lieben DRP179807, DRP236716, DRP249142 y DRP254588
Agustín Riu: *Radio Ciencia*
H.-T. Schmidt: *Das Leben des Robert von Lieben*
Gerald Tyne: *Saga of the Vacuum Tube*
Thomas H. White: *United States Early Radio History*

José Carlos Gambau EA2BRN