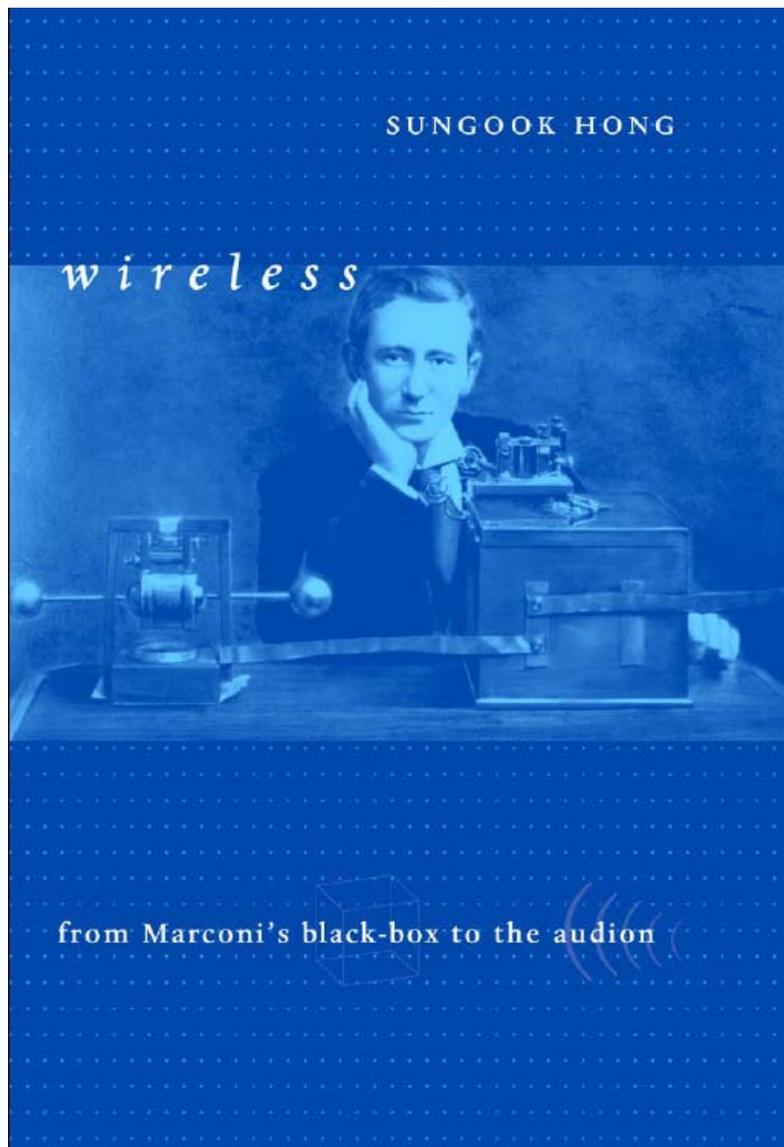


DE LA CAJA NEGRA DE MARCONI AL AUDIÓN

Sungook Hong



Prefacio	III
Agradecimientos	VII
1 Óptica Hertziana y telegrafía inalámbrica	9
2 Inventando la invención de la Telegrafía Inalámbrica: Marconi versus Lodge	25
3 Trasplantando la tecnología de potencia a la Telegrafía Inalámbrica: Marconi y Fleming en las señales trasatlánticas.	41
4 Sintonía, interferencias y el Asunto Maskelyne	63
5 Transformando un efecto en un artefacto: La válvula termoiónica	83
6 El audión y la onda continua	105
Epilogo: La creación de la Era de la Radio	127
Apéndice: Teoría del electrón y la “Tierra Buena” en la telegrafía inalámbrica	129
Notas	133
Bibliografía	151

PREFACIO

En 1850 nadie sospechaba las ondas electromagnéticas. En 1860, el físico británico James Clerk Maxwell teorizó la existencia de las perturbaciones electromagnéticas en el éter cuyas longitudes de ondas fueran más largas que la radiación infrarroja. Los seguidores de Maxwell que se conocían como Maxwellianos se concentraron en producir ondas electromagnéticas. En 1882–83, George FitzGerald y Oliver Lodge concluyeron que se podían emitir las ondas electromagnéticas en forma de oscilaciones eléctricas rápidas producidas por la descarga de un condensador o botella de Leyden, pero carecían de un dispositivo adecuado para detectar esta radiación.

En 1887–88, mientras Lodge estaba trabajando en el efecto oscilante a lo largo de hilos, el físico alemán Heinrich Hertz, trabajando bajo la influencia de Hermann von Helmholtz, consiguió producir y estabilizar un nuevo efecto de las chispas, que pronto identificó como ondas electromagnéticas. En un año, el Maxwelliano Oliver Heaviside exclamó: “¡No hace tanto que las ondas electromagnéticas no eran nada; ahora están en todo!” (Heaviside 1892, volumen II, pág. 489) Los científicos e ingenieros comenzaron a especular más concretamente sobre la posibilidad de la comunicación inalámbrica, soñada desde hacía mucho tiempo.

En 1892, William Crookes ofreció una visión futura de la comunicación inalámbrica en un artículo popular (Crookes 1892). En 1895–97, la telegrafía por ondas Hertzianas era lo bastante práctica para que Guglielmo Marconi la inventara y patentara. El logro de Marconi inspiró a otros; en 1897, por ejemplo, el ingeniero eléctrico británico William Ayrton imaginó un futuro en que cualquiera podría llamar a un amigo “con una voz electromagnética” y el amigo le podría responder “Estoy en el fondo de una mina de carbón, o cruzando los Andes, o en medio del Pacífico” (Ayrton 1897). Pronto los operadores amateurs estaban comunicando por medio de la telegrafía inalámbrica, y en 1910 un joven operador de radio amateur, Edwin Howard Armstrong, anotó por casualidad: “Durante los últimos dos meses he estado llamando a A. P. Morgan con mi 2 KW, pero no me ha captado. Creo que probablemente está fuera de la ciudad ya que he estado escuchando cada noche a su 3 KW desde hace unos meses”. (E. H. Armstrong al Sr. Underhill, 2 Diciembre 1910. Papeles de Armstrong, Universidad de Columbia) Quince años después de la invención de Marconi se había convertido en un medio de comunicación esencial, además de ser un hobby para muchos.

La historia popular de la telegrafía inalámbrica es una historia de aventura. Muchos de nosotros, de niños, leímos con admiración la historia del experimento de un joven italiano al que no dio importancia su padre, se trasladó a Gran Bretaña a los 22 años, la rotura accidental de su instrumento por los aduaneros británicos, la “caja secreta” que asombró a famosos científicos británicos, su recepción de los mensajes trasatlánticos con una cometa a la edad de 27 años, y el papel heroico de la telegrafía inalámbrica en el desastre del *Titanic*. Esta secuela histórica es la historia de la radio, en que David Sarnoff –un emigrante sin estudios que admiraba a Marconi y que comenzó su carrera haciendo trabajos menores en la Compañía American Marconi– finalmente se convirtió en el emperador de la radiodifusión en la RCA.

Muchos de nosotros (al menos muchos de los que nacieron antes de la llegada de los ordenadores personales) tuvimos la experiencia de fabricar una radio con un kit que consistía de una bobina, hilos, un fino cristal, y un auricular. Algunos recordarán el sentimiento de asombro cuando captaron las primeras señales con este receptor primitivo. Similares sensaciones fueron experimentadas por los pioneros de la radio. Por ejemplo, en 1934. John Ambrose Fleming, el inventor de la válvula termoiónica (es decir, el diodo de vacío), todavía recordaba cómo se había sorprendido al ver un impresor Morse imprimir un mensaje de Marconi (Fleming 1934, pág. 116).

Los primeros avances en las comunicaciones por radio han sido descritos en detalle por Hugo Aitken, pero incluso no intentó probar la sustancia y contexto de la práctica científica y de ingeniería en los primeros años de la radio. En este libro intento rellenar este hueco. Mi aspiración principal es proporcionar un análisis en detalle de la práctica de ingeniería y científica que no son tan sólo experimentales, sino también teóricas. Los ejemplos incluyen la ingeniería práctica en la primera telegrafía inalámbrica de Marconi, Fleming “injertó” la tecnología de la potencia en la telegrafía inalámbrica, la innovación de Marconi de la sintonía

representada por su patente de los “cuatro sietes”, la investigación de Fleming en la conductividad unilateral en el efecto Edison, y la invención de Lee DeForest del triodo, también deseo explorar la frontera entre la ciencia y la tecnología. Para ello he prestado atención al trabajo de Fleming, que había sido entrenado en física experimental por Maxwell pero que se movió a la radio telegrafía cuando se convirtió en asesor científico de Marconi. Un modo importante de esta “mediación” es la transformación de efectos científicos en artefactos tecnológicos. Trato de varios casos notables de este proceso, incluyendo la transformación de las ondas Hertzianas en una telegrafía inalámbrica práctica, la transformación de Marconi del principio de resonancia en un artefacto estable, el uso de Fleming de la conductividad unilateral para la válvula, y la transformación de la “resistencia negativa” en transmisor de ondas continuas. Uniendo todo, mi narración de estas prácticas de ingeniería proporciona una ventana o un contexto para estas nuevas prácticas. (Por contexto me refiero a técnica científica, corporación, o declaraciones autorizadas que han promovido o frenado invenciones e innovaciones). Mi análisis del asunto Maskelyne, de la tecnología de la sintonía, y de la invención de la válvula en el contexto de una política de corporación ejemplifica mis esfuerzos para enlazar la ingeniería práctica con los contextos específicos. La construcción de estos contextos se basa principalmente en fuentes archivadas dejadas de lado o infrautilizadas por los historiadores.

En el capítulo 1, trato del origen de la telegrafía inalámbrica contrastando la física óptica de Hertz con los imperativos telegráficos de Marconi. Clasifico los científicos e ingenieros que reclamaron haber diseñado la telegrafía inalámbrica antes que Marconi en tres categorías: (1) Físicos e ingenieros Maxwellianos británicos, que incluye a John Perry, George FitzGerald, Frederick Trouton, Alexander Trotter y Richard Threlfall, que sugirieron un uso práctico de las ondas Hertzianas para la comunicación a principios de 1890, (2) William Crookes, que proporcionó una descripción detallada de la telegrafía inalámbrica en 1892, y (3) Ernest Rutherford y el capitán Henry Jackson, que realmente hicieron experimentos para la comunicación con ondas Hertzianas. Muestro que todos estos trabajos estaban limitados por las analogías ópticas de las ondas electromagnéticas. Estos investigadores tenían acceso a una red compleja de conceptos y fuentes instrumentales asociadas con la óptica Hertziana; sin embargo, estas fuentes ópticas, que abrían un nuevo campo de investigación física e incluso abrieron nuevas posibilidades tecnológicas, también condicionaron y limitaron la transformación de los aparatos Hertzianos en una radio telegrafía práctica. Reevaluando el ingenio de Marconi de una forma más histórica y contextual, trato de cómo el ingenio de Marconi y la originalidad saltaron de su devoción a perfeccionar la homología entre la telegrafía por hilos y sin ellos.

En el capítulo 2, trato de la disputa de prioridad entre Marconi y Oliver Lodge, que (se ha reclamado) demostró la transmisión inalámbrica de mensajes alfabéticos en 1894. Demuestro que la demostración putativa de Lodge de telegrafía inalámbrica en 1894 no tiene nada que ver con la telegrafía, señales alfabéticas, o puntos y rayas. ¿Por qué Lodge y otros reclamaron la prioridad? Al considerar esta cuestión, trato el impacto de Marconi y su patente británica sobre los físicos Maxwellianos, en particular Lodge, Silvanus Thompson, FitzGerald, y Fleming. Conocían a Marconi como un italiano “práctico”, aunque era el único que había conseguido transformar el aparato de laboratorio de Hertz en telegrafía comercial inalámbrica. La patente de Marconi fue tan fuerte y dominante que parecía monopolizar las ondas Hertzianas e invadir el interés nacional británico. La imagen de Lodge como inventor de la telegrafía inalámbrica fue construida deliberadamente por los amigos de Lodge y por el propio Lodge para contrarrestar los efectos de la prioridad de Marconi y su fuerte patente.

Entre 1897 y 1901, Marconi incrementó gradualmente el rango de transmisión de sus aparatos hasta 200 millas, que era adecuado para la comunicación comercial barco–costa. En Diciembre de 1901, consiguió transmitir a través del Atlántico. El capítulo 3 ilumina el papel de Fleming, asesor científico de Marconi, para lograr esta rápida transformación de los dispositivos telegráficos en un potente sistema. Este capítulo se basa en un análisis detallado del libro de notas de Fleming no publicado y otras fuentes manuscritas. Al usar estas fuentes de archivo, analizo los experimentos de laboratorio de Fleming para “injertar” la ingeniería de potencia en la telegrafía inalámbrica entre Julio y Diciembre de 1900. Después vuelvo a los experimentos de Fleming en el campo entre Enero y Septiembre de 1901, que fueron esenciales para el éxito del

proyecto. Demuestro que Fleming usó estos experimentos para elevar su estatus y credibilidad en la Compañía Marconi. Sin embargo, la intervención Marconi en el proyecto en el verano de 1901 también fue crucial, y desplazó a Marconi de los experimentos. Por medio de un examen detallado de los trabajos de Fleming y Marconi, comparo sus diferentes “estilos” de ingeniería, y discuto cómo estos diferentes estilos chocaron en su experimento trasatlántico.

En el capítulo 4, examino el “asunto Maskelyne” de 1903, en que Nevil Maskelyne interfirió con las demostraciones públicas de Fleming del sistema sintonizado de Marconi en la Royal Institution enviando mensajes despectivos desde su propio transmisor. Este asunto dañó seriamente la credibilidad de Marconi y Fleming, a pesar que como testigos e informe exitoso de los experimentos fue un importante recurso estratégico para ellos. Además, poco después del asunto Maskelyne, Fleming, que había trabajado como testigo leal para la demostración secreta de Marconi sobre la eficacia de su sistema, fue apartado de su puesto de asesor. Un detallado análisis de los hechos descubre varias pistas de lo que estaba explorando, incluyendo el combate entre Marconi y sus oponentes, la eficacia de los primeros dispositivos sintonizados, el papel de Fleming como testigo público de los experimentos privados de Marconi, y la naturaleza de los “espectáculos” de Marconi. Además, el asunto Maskelyne es un caso raro de estudio de como se creó la credibilidad del ingeniero, se consumó y se destruyó de repente.

Fleming consideró su asesoría científica a Marconi en 1905 después de inventar la válvula termoiónica, que rectificaba las corrientes alternas de alta frecuencia inducidas en la antena por las oscilaciones electromagnéticas y por tanto se podía usar como detector. El capítulo V revisa la conocida historia de la válvula, en parte porque la válvula fue la “célula de vapor” de todo el cuerpo de los diversos tubos de vacío y también porque esta invención fue dramática. Thomas Edison descubrió un curioso efecto (que se llamó efecto Edison) a principios de 1880, pero no entendió su mecanismo. Fleming, un físico ingeniero que trabajaba para la British Edison Co., investigó el efecto entre 1880 y 1890. En 1904, mientras servía como asesor a Marconi, usó su base teórica del efecto para crear la válvula termoiónica, que pretendía que fuera un detector de señales para la telegrafía inalámbrica. Aunque esta historia popular fue narrada primero por Fleming y ha sido ampliamente conocida desde entonces, quiero dar una narración alternativa que corrige tres puntos. Primero, reexamino la relación entre el efecto Edison y la válvula termoiónica en el contexto Maxwelliano en que se realizó originalmente. Demuestro que el examen de Fleming del efecto Edison fue esencial para la invención de la válvula, no por el carácter esencial del propio efecto, sino porque el contexto particular Maxwelliano en que Fleming hizo su investigación. Este contexto le llevó a diseñar un circuito en que una lámpara de Edison, una prueba, una batería y un galvanómetro se combinaron particularmente, y fue este circuito el que transformó Fleming en la válvula termoiónica en 1904. Segundo, demuestro que la finalización de su asesoría científica para la Compañía Marconi en Diciembre de 1903 incitaron a Fleming a cambiar su estilo de investigación, y sus esfuerzos para obtener una credibilidad en la Compañía Marconi que fue crucial para su invención de la válvula. Tercero, argumento que Fleming realmente vio a la válvula como un medidor de corrientes de alta frecuencia para uso en el laboratorio, y que fue Marconi, y no Fleming, el que la transformó en un receptor práctico.

En el capítulo 6, me ocupo del audión y del giro de la telegrafía inalámbrica a la radio. La válvula de Fleming fue una inspiración para el científico e inventor americano Lee DeForest, que inventó el audión de rejilla en 1906. En los años 1910, se descubrió que se podía usar el audión como amplificador realimentado y como oscilador. Como amplificador, el audión era cientos de veces más sensible que los detectores ordinarios. Como oscilador, podía producir ondas continuas –y transmitir la voz humana– de forma simple y económica. Primero describo cómo DeForest inventó el audión de rejilla en 1906. En particular, discuto la influencia de la válvula de Fleming sobre el audión. También ofrezco un nuevo punto de vista de la historia de las ondas continuas –una vista que traza un camino razonablemente continuo desde la “resistencia negativa” del arco eléctrico a través del arco generador hasta el audión. Para conseguir esto, exploro una continuidad teórica e instrumental desde la resistencia negativa del arco al audión oscilante, una continuidad que es más aparente en los siseos y silbidos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Jed Buchwald, que siempre me inspiró con nuevas ideas y aclaraciones. Mis colegas y amigos que leyeron versiones anteriores de los capítulos 2–5 (Hong 1994c, 1996a-c) hicieron valiosos comentarios y sugerencias que se reflejan en esta obra. Gracias especiales a Hill Aspray, Bernard Carlson, Pasok Chang, Jonathan Coopersmith, Bernhard Finn, Meter Galison, Charles Gillispie, Yves Gingras, Graeme Gooday, Bert Hall, Takehiko Hashimoto, Bruce Hunt, Ed Jurkowitz, Yung Sik Kim, Manis Langis, Trevor Levere, Donald MacKenzie, Rik Nebeker, Henry Paynter, Robert Post, Roy Rodwell, Hugo Sloten, Thad Trenn, e Ido Yavetz. También agradezco a Gioia Braga por permitirme citar las cartas privadas de Guglielmo Marconi de su colección. Agradezco a la Librería de la Universidad de Londres por permitirme citas de documentos en los archivos de la Colección Fleming y de la Colección Lodge. También agradezco a Marconi plc e IEE Archives por su generosa ayuda. Mi investigación ha sido generosamente apoyada por Canadian Social Sciences and Humanities Research Council gracias a la investigación 410961236, a la que estoy muy agradecido.

1

OPTICA HERTZIANA Y TELEGRAFÍA INALÁMBRICA

Si pudiéramos obtener un efecto apreciable a diez millas, probablemente podríamos hacer con ello una cantidad de dinero considerable.

– Ernest Rutherford, carta a su familia, Enero de 1896 (1939, pág. 22).

¿Por qué importa el origen de la radio?

En 1995 se celebró alrededor del mundo el centenario de la invención de la radio por Guglielmo Marconi (1874–1937). Exhibiciones, simposiums y lecturas itinerantes inmortalizaron al inventor y su invención. Sin embargo, no todos estaban contentos. Varios historiadores británicos e ingenieros habían conmemorado 1994 como el centenario de la invención de la telegrafía inalámbrica –no por Marconi, sino por el notable físico británico Oliver Lodge (1851–1940)¹. Hubo intentos por parte de la Unión Soviética en los años 50 y 60 para que se reconociera a Alexander Popov como el verdadero inventor de la telegrafía inalámbrica. Un detallado estudio de Popov por el historiador Charles Süsskind reveló que la reclamación soviética se basaba no en evidencias históricas sino políticas. Cuando resurgieron las reclamaciones de Popov en 1995, fueron rechazadas –pero en beneficio de Lodge, no de Marconi.²

La invención de la telegrafía inalámbrica ha sido punto de controversias desde hace más de 100 años. En 1897 Lodge escribió en *The Electrician* sobre los científicos e ingenieros británicos que habían trabajado en telegrafía inalámbrica antes de Marconi. En 1896, Marconi había llegado a Inglaterra, había contactado con el Jefe Electricista de la Oficina Postal, William H. Preece, y había presentado su primera patente sobre telegrafía con ondas Hertzianas. Si Marconi fue el primero en patentarlo, ¿cómo podía Lodge nombrar trabajos en telegrafía inalámbrica anteriores a Marconi? Sin embargo, Lodge se refería a dos tipos de antecedentes. Primero, antes que Marconi, varios individuos habían diseñado realmente algo que en retrospectiva, pudiera llamarse telegrafía inalámbrica. Esta gente no anunció ampliamente sus invenciones, ni solicitó ninguna patente por ello, tal vez, debido a que apenas consideraban práctica su invención. Segundo, los principios de la telegrafía inalámbrica –emisión y recepción de mensajes en código Morse por medio de las ondas Hertzianas– eran conocidos y se habían llevado a la práctica. Sobre esta base, Lodge declaraba que George M. Minchin, Ernest Rutherford (entonces estudiante de J. J. Thomson), y el propio Lodge habían trabajado en telegrafía inalámbrica antes que Marconi. Lodge añadió también el nombre de William Crookes, que “además, había indicado claramente la aplicación telegráfica de las ondas de Hertz en el *Fortnightly Magazine* de Febrero de 1892” (Lodge 1897, pág. 90). En 1900 Lodge añadió a la lista a Alexander Muirhead, Henry Jackson, J. Chunder Bose, Augusto Righi, y Alexander Popov (Lodge 1900, pág. 45–49).

En este capítulo, analizaré críticamente la reclamación de Lodge de varios individuos que diseñaron la telegrafía inalámbrica antes que Marconi. Examinaré los casos de los físicos e ingenieros Maxwellianos, incluyendo a John Perry, George FitzGerald, Frederick Trouton, Alexander Trotter, Richard Threlfall, William Crookes, Ernest Rutherford y Henry Jackson. Mostraré que sus investigaciones y concepciones están muy limitadas por sus analogías ópticas de las ondas electromagnéticas. También revelaré como, antes de Marconi³, una compleja red de recursos conceptuales e instrumentales abrió un nuevo campo de investigación física y nuevas posibilidades tecnológicas, condicionada al mismo tiempo y de limitadas posibilidades para la transformación de los aparatos Hertzianos en una telegrafía inalámbrica práctica. También usaré esta complejidad para reevaluar el ingenio de Marconi. También daré una explicación detallada de cómo procedió Marconi paso a paso en la transformación de los aparatos Hertzianos en una telegrafía inalámbrica práctica. Mostraré que el ingenio de Marconi y la originalidad que brotaron de su devoción perfeccionaron la homología entre la telegrafía por hilos e inalámbrica.

Expansión experimental y límites teóricos, 1888 - 1896

Heinrich Hertz produjo ondas electromagnéticas controlables en el laboratorio a finales de 1887 (Fig. 1.1). Muchos físicos continuaron rápidamente el estudio de los efectos ondulatorios similares a la luz asociados con ello. A principios de 1890, determinaron las propiedades ópticas y electromagnéticas de un material respecto a su capacidad inductiva específica, coeficiente de absorción e índice de refracción por medio de las ondas Hertzianas y comprobar las características ópticas de la onda constituía por sí mismo un gran programa de investigación. Además, algunos físicos, incluyendo algunos de los Maxwellianos, usaron las ondas de Hertz para usos *instrumentales*. Por ejemplo, J. J. Thomson, entonces profesor de física experimental en el Cavendish de Cambridge, usó las ondas para crear una descarga luminosa en los tubos de vacío para examinar la naturaleza de la conducción en un alto vacío (Thomson 1891), Oliver Lodge (1890) comparó el ‘resonador eléctrico’ de Hertz para la recepción de ondas con la recepción de la luz por el ojo humano, y el físico George Minchin (1891) usó las ondas para estimular su célula solar.

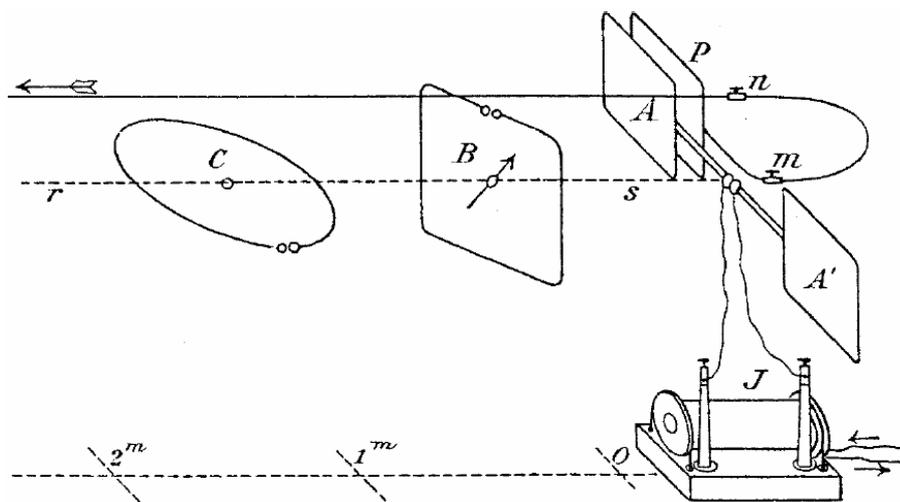


Figura 1.1

Oscilador lineal de Heinrich Hertz y resonador de anillo con una separación. A y A' son placas de condensador; J es una bobina de inducción.

El dispositivo de Hertz era esencialmente una combinación de un transmisor y un receptor. El transmisor lineal, en forma de pesas consistía de unas baterías químicas, una bobina de inducción, un interruptor y dos placas de condensador conectadas por un hilo lineal con un chispero en el centro. Se almacenaba la energía electrostática en las placas del condensador por medio del alto voltaje creado por acción de la bobina de inducción. Esta energía, que no se podía almacenar indefinidamente en las placas, se liberaba al espacio en forma de ondas electromagnéticas cuando saltaba una chispa en la separación. Sencillamente, siempre se crea una onda electromagnética cuando se puede ver una chispa (incluso en el pelo de un gato). El receptor de Hertz, que llamó resonador, era un hilo circular con una pequeñísima separación. Cuando le alcanzaba una onda electromagnética, su energía se transformaba en corriente de alta frecuencia que hacía saltar una chispa en la separación (Buchwald 1994).

Después del descubrimiento de Hertz de las ondas electromagnéticas. Se inventaron nuevas formas de transmisores y receptores. Se usaron ampliamente los transmisores esféricos. Las innovaciones en el receptor fueron más notables. En particular, el ‘cohesor’ reemplazó al resonador de Hertz de una forma prácticamente universal. La historia del cohesor tiene un cierto interés. En 1890, mientras experimentaba con los pararrayos, Lodge observó que dos conductores metálicos separados por una fina separación de aire se fusionaban cuando pasaba una descarga oscilante entre ellos. En aquel momento, Lodge aceptó la explicación de David Hughes de que esto era un fenómeno termoeléctrico, y abandonó el tema. En 1890, en Francia, Edouard Branly observó que las limaduras finas de cobre en un tubo de vidrio conducían

débilmente en condiciones ordinarias, pero aumentaba bruscamente su conductividad cuando se generaba una chispa cerca. En 1891 la revista británica *The Electrician* publicó una completa traducción de los artículos de Branly, completada con figuras, pero aparentemente no generó ningún interés. Más tarde, se anunció que el físico británico Dawson Turner, demostró la reducción de la resistencia de las limaduras de cobre en una reunión de la British Association para el Avance de la Ciencia en Edimburgo en 1892. La demostración de Turner fue vista por el físico W. B. Croft, que hizo un pequeño experimento sobre el mismo fenómeno ante la Physical Society de Londres en Octubre de 1893. Allí, George Minchin de la Royal School de Ingenieros se dio cuenta la similitud entre el tubo de Croft (actualmente tubo de Branly) y la respuesta de su célula solar ante las ondas Hertzianas. Minchin leyó inmediatamente un papel sobre el tema en una reunión de la Physical Society. Mientras escuchaba el papel de Minchin, Lodge se dio cuenta que el descubrimiento de Branly y Minchin era muy similar a su previa investigación de la acción de un rayo sobre una diminuta separación metálica. Lodge razonó que la radiación electromagnética hacía que las moléculas metálicas de las limaduras y las de la separación microscópica se cohesionaran entre sí. Basado en esta similitud, Lodge no tardó en diseñar un cohesor de contacto único con un muelle y una placa de aluminio. Lodge enseguida encontró que el cohesor era no sólo mucho más sensible que los resonadores de ranura ordinarios sino mucho más sensible que el tubo de limaduras de Branly (figura 1.2)⁴. Estos dispositivos Hertzianos se convirtieron en equipo estándar en los laboratorios de física.

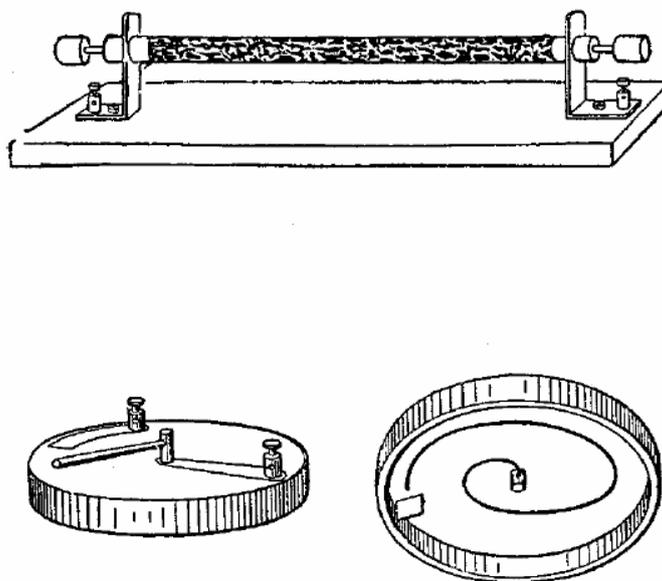


Figura 1.2

Superior: El tubo de Branly perfeccionado por Lodge.

Debajo: el cohesor de contacto único de Lodge. Fuente: Lodge 1894a, pág. 337.

Pero, los físicos Maxwellianos no se quedaron satisfechos con el uso instrumental de las ondas Hertzianas. La idea de usar las ondas para la comunicación capturó su imaginación. Por ejemplo, John Perry, un físico Maxwelliano e ingeniero eléctrico, predijo el uso práctico de las ondas Hertzianas en 1890 de la siguiente manera (Perry 1910, pág. 117):

... sabemos ahora, por el trabajo del profesor Hertz, que... este tipo de radiación ahora reconocido puede reflejarse y refractarse, y pasa a través de paredes de ladrillo y piedra y atmósferas de niebla que no puede atravesar la luz, y esto posibilita que todas las señales militares, marinas y faros puedan hacerse en el futuro gracias a la agencia de este nuevo y maravilloso tipo de radiación, del que la luz es meramente una forma. Que en este momento, como todos saben, dos ciudadanos de Leeds pueden hacerse señales entre ellos de este modo a través de media milla de casas, incluyendo esta sala en que estamos presentes.

Pero no era fácil el uso práctico de las ondas Hertzianas. Primero, el obvio límite de la distancia de transmisión de las ondas era una sólida barrera a todo tipo de progreso. En 1891,

Minchin detectó la onda a una distancia de 130 pies de la fuente usando su fotocélula como detector. Tuvo grandes dificultades para detectarla a 150 pies de distancia. En 1894 Lodge detectó las ondas Hertzianas a una distancia de 70 yardas, y esta fue la máxima distancia con su detector más sensible. Varios factores contribuyeron a estas cortas distancias de transmisión. Primero de todo, ni Minchin ni Lodge se interesaban en la distancia de transmisión. Minchin se interesaba en probar la respuesta de su célula solar a las ondas Hertzianas. Una vez que descubrió la débil respuesta de la célula a las ondas electromagnéticas, no prosiguió más este tópico. Lodge estaba principalmente interesado en examinar el mecanismo del reconocimiento óptico del ojo humano con la analogía del cohesor. El experimento de “larga distancia” de Lodge se realizó para simular la detección de la luz muy débil por los ojos humanos.⁵

El espacio social en que Minchin y Lodge hicieron sus experimentos ayudó a consolidar y naturalizar el límite. Desde el principio, los dispositivos de Hertz –como la bobina de inducción, el transmisor de chispa, y el resonador– eran aparatos de laboratorio. Raramente se movieron todos estos dispositivos fuera del laboratorio. Para las pruebas de “larga distancia”, Lodge movió su transmisor al Teatro Zoológico en la Universidad de Liverpool y dejó el cohesor en su Laboratorio de Física. Traslado el transmisor porque estaba menos afectado por el movimiento que el sensible detector. En cambio Minchin trasladó su detector –que consistía en una célula solar, un galvanómetro y el hilo (que llamó “alimentador”) que los conectaba– desde su laboratorio a través de una sala de lectura a otro laboratorio. Un día sacó al detector fuera del edificio y a través de un campo de tenis en la Royal School de Ingeniería, donde observó que el hilo de la red del campo bloqueaba en parte las ondas. “Desafortunadamente”, el físico John Trowbridge escribió en 1897, “Al presente no podemos detectar las ondas electromagnéticas a más de 100 pies de su fuente” (Trowbridge 1897, pág. 256).

Las inferencias teóricas exacerbaron la situación. La fórmula teórica de FitzGerald (1883) para determinar la energía de radiación emitida por un circuito cerrado indicaba que, manteniendo igual el resto de condiciones, la energía de radiación era inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Es decir, al reducir la longitud de onda se aumentaba la energía de la radiación, y así se aumentaba la posibilidad de detectarla a distancia. Aunque la fórmula de FitzGerald se diseñó para un circuito cerrado, se solían ignorar las diferencias entre los circuitos abiertos y cerrados. En 1894 FitzGerald, amigo íntimo de Lodge, que ya se había movido en la dirección de reducir la longitud de onda con propósitos ópticos, justificó su uso de una onda de longitud corta para una prueba de “larga distancia” basada en la fórmula de FitzGerald y la sensibilidad medida en el mejor detector. Lodge estimó que la máxima distancia de transmisión de las ondas era de media milla. Aunque añadió “esto es una declaración imprudente no verificada hasta ahora”.

FitzGerald, un profesor de filosofía natural y experimental en el Trinity College de Dublín, estaba preocupado por otra predicción teórica: la amortiguación de las ondas Hertzianas. En Diciembre de 1891, Frederick Trouton, su principal ayudante, afirmó en una lectura que “no hay duda que las ondas eléctricas serán empleadas por el hombre para servir para usos útiles”, pero su insuficiente potencia causada por la gran amortiguación de las ondas generadas por las chispas era una barrera a superar. El único modo de evitar la amortiguación era crear una potente onda *continua*. Trouton (1892, pág. 303) escribió:

La mayor dificultad reside en el modo, es decir, la radiación producida por el método automático con una fuente de energía intermitente, el único que usamos todavía, es necesariamente insuficiente en intensidad para ser potente a distancias considerables, debido a que la vibración decae rápidamente, igual que una cuerda de violín. Así que hasta que se invente otra forma de aparatos, que se alimenten con energía continua, para producir una vibración continua, y que puedan alimentarse con un motor de 50 C.V., y den un haz realmente potente de estos rayos eléctricos, no hay esperanzas de un gran avance en ... No hay duda que un potente haz de este tipo podría, a diferencia de la luz, no ser absorbido por la niebla; así mirando hacia el futuro, se puede ver a lo largo de nuestras costas los faros que dan paso a las casas eléctricas, donde se generen y emitan rayos eléctricos, que se recibirán con los aparatos adecuados en los barcos de paso, con la incomparable ventaja de que el en momento más crítico –*en tiempo con niebla*– el barco continuaría recibiendo los rayos de guía.

El énfasis de Trouton sobre recudir la amortiguación se basaba en las investigaciones previas de FitzGerald sobre la amortiguación. FitzGerald había reconocido que la energía radiada y creada por las chispas se enviaba en una parte del intervalo entre chispas consecutivas que estaba entre una centésima a una milésima del intervalo. Debido a esto, la energía del disparo era más bien similar a un pulso que a una forma continua. Como resultado, el resonador no se estimulaba lo suficiente para extinguirse en su viaje a gran distancia, donde el pulso se debilita naturalmente. Cuando lo que se necesita es algo parecido a un “silbido eléctrico” que pueda producir un fuerte haz de ondas continuas, de igual forma que un silbato ordinario produce un sonido continuo. En 1892, Para este propósito, FitzGerald (probablemente trabajando con Trouton) intentó construir un transmisor de onda continua. El transmisor de FitzGerald se aprovechaba de la “fuerza electromotriz adyuvante” o “resistencia negativa” de una dinamo, pero no generaba una onda continua que pudiera almacenar más energía que una onda amortiguada (FitzGerald 1892).

Más importante, la adherencia de los físicos Maxwellianos a la óptica oscurecía la aplicación telegráfica de las ondas Hertzianas. Incluso cuando imaginaban hacer señales por medio de las ondas Hertzianas, dominaba más bien una analogía óptica que telegráfica. Esto se debía en parte a la similitud de los aparatos Hertzianos a los dispositivos de hacer señales con la luz (como los faros o heliógrafos) y era más conspicua que cualquier similitud a las tecnologías telegráficas. Los dispositivos de señales por luz consisten de una fuente de luz (lámparas) y un detector (el ojo humano), que corresponden con un transmisor Hertziano y un detector (el resonador o cohesor). Había buenas razones teóricas para esta analogía.

Según James Clerk Maxwell, la única diferencia entre la luz y las ondas Hertzianas era su longitud de onda; según William Thomson (Lord Kelvin), el resonador de Hertz era un “ojo eléctrico”; según Lodge, los ojos humanos eran muy similares al cohesor.⁷ En contraste, había poco en común entre los dispositivos telegráficos (el receptor Morse y un hilo largo) y los aparatos Hertzianos. Todavía peor, había una importante asimetría entre ellos, en que no estaba el retorno por tierra (es decir, el flujo asumido de corriente a través de la tierra) en el último. Un retorno por tierra era esencial en la telegrafía por cable.

Esta conformidad con las señales por luz se encuentra en los trabajos de varios físicos e ingenieros con una inclinación Maxwelliana, incluyendo a Richard Threlfall y A. P. Trotter. En la reunión anual de la Asociación Australasia para el Avance de las Ciencias en 1890, Threlfall, que entonces era profesor de física en la Universidad de Sydney y que había sido estudiante de J. J. Thomson en el Laboratorio Cavendish, también hablaba de una “especie de rayo de destellos” para las ondas Hertzianas. Mientras discutían la teoría electromagnética de Maxwell de la luz y los experimentos de Hertz, Threlfall (1890, pág. 46) afirmó: “Si fuera permisible profetizar ampliamente, podríamos ver en esta afirmación [la detección de ondas Hertzianas por medio de un tubo Geissler] el germen de un gran desarrollo futuro. Por ejemplo, el envío de señales, podría hacerse secretamente por medio de una especie de rayo eléctrico de destellos, las señales serían invisibles a todos los que no contarán con un tubo sintonizado adecuadamente.” La analogía óptica era más evidente en las notas de Trotter al editor de *The Electrician* de los años 1890. En Marzo de 1891, un naufragio causado por una espesa niebla que tapó la luz del faro de St. Catherine creó una sensación pública, e inspiró a Trotter para sugerir, en la columna editorial de *The Electrician*, que se podrían usar las ondas Hertzianas para la comunicación barco–costa en los días de niebla. Según Trotter, si se podían producir ondas eran de una corta longitud de onda (por ejemplo 1 milímetro), su enorme energía haría que “estas radiaciones... atravesaran no sólo la niebla, sino también una pared de ladrillos.” Trotter propuso “señales destellantes” con ondas Hertzianas entre buques faro y la costa.⁸ Las señales con ondas Hertzianas serían similares a las señales por luz, donde se apantalla a intervalos una fuente de luz. Es muy posible que no tuviera en mente un manipulador teleográfico; incluso después de publicarse la invención de Marconi, un editorial en *The Electrician* decía: “no hay duda, los impulsos eléctricos cortos y largos se pueden enviar mecánicamente interponiendo las pantallas electromagnéticas adecuadas entre la fuente de energía y el receptor.” (*The Electrician* 37, 25 Septiembre 1896, pág. 685).

Ni las lecturas de Threlfall ni el editorial de Trotter tuvo influencia. Sus profecías fueron pioneras pero puramente especulativas. El editorial de Trotter fue ampliamente difundido por

The Electrical sólo después que Marconi anunciara en 1897 que “hasta la fecha de mis experimentos no se ha hecho ninguna mención en los papeles científicos de la posibilidad de enviar señales a largas distancias transmitidas por ondas Hertzianas.” En lo que conozco, la lectura de Trouton y las pruebas de FitzGerald no llamaron la atención en sus contemporáneos. Más importante, ninguno de sus contemporáneos consideró seriamente una aplicación telegráfica. Se preocuparon con la óptica, no con la tecnología de la comunicación –y, por tanto, con los destellos de luz, no con la telegrafía.

Telegrafía inalámbrica de William Crookes: Tecnología, sueños y realidad

Algunos científicos e ingenieros –no de la variedad Maxwelliana– sugirieron la aplicación telegráfica de las ondas Hertzianas. Uno de ellos fue William Crookes, que mantuvo una posición inusual en la comunicad científica victoriana.¹⁰ En los años 1860 diseñó una bomba de vacío que podía producir un alto vacío en un tubo de vidrio. Usando lo que podríamos llamar tubo de rayos catódicos, hizo una serie de conocidos experimentos sobre el “cuarto estado de la materia” o “materia radiante”. En base a estos experimentos, inventó el radiómetro. A pesar de su concepto teórico, el cuarto estado de la materia, generalmente era especulativo.

En la edición Febrero de 1892 de *Fortnightly Review*, Crookes publicó un papel que ahora es famoso por predecir la llegada de la telegrafía inalámbrica. No tan sólo menciona la “telegrafía” inalámbrica en vez de un dispositivo destellante; también predice algunos aspectos radiotelegráficos como sintonía y apuntó la necesidad de generadores funcionales, receptores sensibles con sintonía, y un medio para dirigir las ondas (Crookes 1892, pág. 174–175):

Los rayos de luz no atraviesan un muro, no, como sabemos demasiado bien, en medio de la niebla de Londres. Pero las vibraciones eléctricas de una longitud de onda de una yarda o más de las que he hablado atraviesan fácilmente estos medios, que para ellas son transparentes. Aquí, de nuevo, se revela la desconcertante posibilidad de telegrafiar sin hilos, postes, cables o cualquiera de nuestros costosos aparatos actuales... También un experimentalista puede recibir a distancia algunos, sino todos, estos rayos con un instrumento construido adecuadamente, y por medio de señales concertadas pueden pasarse de uno a otro mensajes en código Morse. Lo que todavía queda por descubrir es –primero, ciertos medios simples y seguros para generar rayos eléctricos de cualquier longitud de onda deseada, desde las más cortas, por ejemplo de una longitud de unos pocos pies, que pasarán fácilmente a través de los edificios y nieblas, a las ondas largas cuyas longitudes se miden en decenas, centenas y miles de millas; segundo, receptores más delicados que respondan a las longitudes de onda entre ciertos límites y permanezcan en silencio ante todas las demás; tercero, medios para lanzar los rayos en cualquier dirección deseada, bien sea con lentes o reflectores...

Después añadió un interesante comentario sobre la comunicación inalámbrica entre dos amigos (*ibid.*, pág. 175):

Cualesquiera dos amigos en el radio de sensibilidad de sus instrumentos receptores, habiendo decidido primero en que longitud de onda en especial y sintonizado sus instrumentos respectivos para la mutua receptividad, podrían comunicarse todo el rato que quisieran temporizando los impulsos para producir intervalos cortos y largos con el código Morse ordinario.

El artículo antes mencionado ha sido alabado como “una notable predicción y un correcto análisis del principal obstáculo que se debía superar antes que la radiotelegrafía se convirtiera en una realidad.” (Süskind 1969a. pág. 70) Además, varios estudiantes han enfatizado la influencia del artículo de Crookes en otros pioneros de la radiotelegrafía. El historiador Hugo Aitken comentó (1976, pág. 114):

El artículo de Crookes fue muy leído –y más que esto, atendido y recordado– tanto en Europa como en los EE.UU.; apenas puede imaginarse uno su importancia en los primeros días de la radio que no se refiera en algún momento en sus memorias o correspondencia al artículo de 1892 como el que marcó la diferencia... El artículo de Crookes fue oportuno y catalítico. El año 1892 fue un punto de inflexión. Antes de él, la experimentación con las ondas electromagnéticas era esencialmente un tema de validar la

teoría de Maxwell; después de él, se convirtió en un tema de diseñar sistemas para hacer señales, de invenciones y patentes, de desarrollar una tecnología comercial.

Crookes se describe como el que pavimentó el camino para la telegrafía inalámbrica de Lodge en 1894, y para Popov y Marconi de enviar señales en 1895. Incluso el primer empleado de Marconi, Gerald Usted hizo un comentario similar (Usted 1991a, pág. 50): “No hay duda, ese papel fue leído y anotado por... Branly, Preece, Lodge, Popov, Jackson y Marconi; a partir de ese momento comenzó una gran carrera para producir un sistema de ‘telegrafía inalámbrica’ funcional.”

¿Cuánto era correcto del artículo de Crookes? Desde el principio hasta el fin, estaba lleno de fantasías e historias futuristas. Después de mencionar la telegrafía inalámbrica, Crookes habló de usar la electricidad para mejorar las cosechas, matar parásitos, purificar aguas residuales, eliminar enfermedades y controlar el tiempo. Y aquí hay un extraño anacronismo en su declaración con la telegrafía inalámbrica. Para remarcar las citas anteriores, añade: “Esto no es un mero sueño de un filósofo visionario”; sin embargo, dijo “aunque ahora, además, es posible telegrafiar sin hilos a un radio restringido de unos pocos cientos de yardas, y hace unos pocos años asistí a un experimento donde se transmitieron mensajes de una parte de una casa a otra sin que interviniera ningún hilo con medios casi idénticos a los descritos aquí” (Crookes 1892, pág. 176). Aquí parece que Crookes considera la transmisión inalámbrica de mensajes como un hecho probado de hecho en 1892. Más tarde recordó que el experimento al que dijo haber asistido fue el experimento de David Hughes de 1879 sobre la recepción de chispas, que Hughes llamó “ondas aéreas”. Pero el experimento de Hughes no tenía nada que ver con la transmisión de *señales*.¹¹ Otra posibilidad es que Crookes presenciara experimentos sobre telegrafía de inducción (que es por supuesto inalámbrica), como los hechos por Willoughby Smith en 1887, y que confundiera la inducción electromagnética con la oscilación Hertziana.¹² De todos modos, es muy posible que considerara esta versión de telegrafía inalámbrica como un “hecho soberbio”.

El artículo de Crookes en *Fortnightly Review* era de hecho una extensión de su discurso presidencial en la reunión de la Institution of Electrical Engineers del 13 de Noviembre de 1891. Este discurso, publicado en *Nature*, fue criticado severamente en la revista *The Spectator*: “Es difícil saber lo que entiende [Crookes] literariamente, y tomar sus afirmaciones como las últimas verdades científicas.” *The Spectator* incluso identificó algunas de las historias de Crookes como “cuentos de ciencia”.¹³ *The Electrician* no fue tan crítico como *The Spectator*, pero indicó unos pocos errores técnicos en la descripción de Crookes de las “vibraciones del éter.”¹⁴

¿Cómo influyó el artículo de Crookes? Mi lectura de varias fuentes contemporáneas sugiere que apenas se tuvo en cuenta hasta 1897. Uno de los primeros ejemplos en que puede detectarse su influencia es a principios de 1897 en la lectura ante el Instituto Imperial donde William Ayrton repitió el discurso “Crookesiano” de la comunicación inalámbrica entre dos amigos (Ayrton 1897, pág. 548):

No hay duda que llegará un día, tal vez cuando nosotros nos hayamos ido, que los hilos de cobre, cubiertos de gutapercha y protegidos con hierro sean relegados al museo de antigüedades. Entonces cuando una persona desee telegrafiar a un amigo, sin saber donde está, le llamará con una voz electromagnética, que la podrá escuchar fuerte con una oreja electromagnética, pero que sea silenciosa a todas las demás, le podrá decir, “¿Dónde estás?” y la respuesta llegaría con fuerza al hombre con la oreja electromagnética, “Estoy en el fondo de una mina de carbón, o cruzando los Andes, o en medio del Pacífico. O tal vez no se escuchará ninguna voz en absoluto, por lo que podrá pensar que su amigo está muerto.”

Ayrton parece haber sido inspirado inmensamente por el éxito práctico de Marconi, que también había sido ampliamente anunciado en el último cuarto de 1896. De hecho, Crookes apenas había sido citado antes de la sensación que creó Marconi. Lodge (1894b) no menciona a Crookes en su lectura ante la Royal Institution sobre las “Obra de Hertz”, En una serie de Lecturas Navideñas en la Royal Institution en Diciembre de 1896, Silvanus P. Thompson (1851–1916), que revisó la historia de las ondas Hertzianas desde Faraday y Maxwell hasta

Marconi, no menciona a Crookes en absoluto (S. P. Thompson 1897). En un memorando enviado a la Compañía Marconi en 1904, el asesor científico de Marconi John Ambrose Fleming observó que el artículo de Crookes no llamó la atención durante cerca de cinco años hasta que se sacó por litigación.”¹⁵ *The Electrician* reimprimió parte del artículo de Crookes de 1892 en su edición del 1 de Octubre de 1897,¹⁶ justo después de haberse publicado la patente de Marconi. Su probable motivo fue debilitar la prioridad de la reclamación de Marconi. No es improbable que Lodge no supiera nada del artículo de Crookes antes de leer el artículo del *The Electrician* del 1 de Octubre de 1897.

De todos modos, Oliver Lodge trató de la importancia de Crookes en su artículo “Historia del principio cohesor”, publicado en *The Electrician* de Noviembre de 1897:

Numerosa gente ha trabajado en la detección de las ondas Hertzianas con receptores de tubos de limaduras, y todos ellos debían saber que la transmisión de mensajes telegráficos de este modo a distancias moderadas era tema de demanda y oferta; Sir William Crookes, además, había afirmado claramente la aplicación telegráfica de las ondas de Hertz en el *Fortnightly Magazine* de Febrero de 1892, y se refiere a ciertos experimentos hechos en esta dirección.

Aquí la intención de Lodge parece proponer que la invención de Marconi no era un producto de su ingenio sino un producto del periodo. Antes de Marconi, Crookes fue desdeñado o ignorado; después de Marconi, Crookes fue considerado un visionario. Si hay algo común a Trotter, Threlfall y Crookes, es que todos ellos fueron readmitidos después de 1897.

¿Por qué 1897? Marconi llegó a Inglaterra a principios de 1896 y solicitó su primera patente provisional (especificación provisional) ese mismo año. En Julio de 1897 se aceptó la especificación completa de la primera patente de Marconi sobre telegrafía inalámbrica, y pronto empezó a recibir publicidad. Hacia el mismo tiempo, Marconi estaba ocupado estableciendo su propia compañía para explotar su patente, rompió sus relaciones con la Oficina Postal Británica y con su Jefe Electricista, William Preece. En su primera patente sobre telegrafía inalámbrica, Marconi reclamó prácticamente todo sobre el uso del cohesor (que había sido inventado por Branly y perfeccionado por FitzGerald y Lodge) en telegrafía inalámbrica. En Mayo de 1897, Lodge había solicitado una patente por un sistema propio de telegrafía inalámbrica (que consistía en un transmisor cerrado, un sacudidor, un receptor de cohesor, y la sintonía entre el transmisor y el receptor), pero tuvo que retirar sus reclamaciones sobre el cohesor debido a que habían sido cubiertas totalmente por Marconi. La utilidad naval y militar de la telegrafía inalámbrica empezó gradualmente a ser obvia. Si no se modificaba la patente de Marconi, monopolizaría no tan sólo las ondas Hertzianas sino también importantes intereses nacionales británicos. Lodge argumentó que George Minchin, William Crookes, Ernest Rutherford y el propio Lodge habían precedido a Marconi. J. J. Thomson, Minchin, Rollo Appleyard y Campbell Swinton se unieron a Lodge para debilitar la originalidad de las reclamaciones de Marconi.¹⁷

De efecto a artefacto: Rutherford y Jackson

Aunque la patente de Marconi de 1896 fue la primera patente sobre telegrafía con ondas Hertzianas, Marconi no fue la única persona que utilizó las ondas Hertzianas para telegrafiar. En 1895–96, independientemente de Marconi, Ernest Rutherford y el capitán Henry Jackson estuvieron haciendo experimentos pensando en la aplicación de las ondas Hertzianas a la comunicación telegráfica. Las similitudes y diferencias entre ellos, además de entre ellos y Marconi son aclaradoras.

A principios de octubre de 1895, Rutherford, que había acabado de llegar de Nueva Zelanda al Laboratorio Cavendish, comenzó sus investigaciones sobre los efectos de las ondas electromagnéticas en un trozo de hierro magnetizado –un tópico en el que había trabajado en Nueva Zelanda. Había transformado una aguja magnetizada en un detector numérico de las ondas Hertzianas conectándola a un galvanómetro, hizo varios experimentos para medir cantidades como la amortiguación de la onda, la capacitancia de un condensador, y la longitud de onda en el hilo. Para estos experimentos, Rutherford usó un transmisor del tipo cerrado; era

un buen vibrador pero un mal radiador. A finales de 1895, probó otros vibradores. Con un radiador esférico, encontró dificultades para obtener un gran efecto. Con la “forma ordinaria de vibrador de Hertz del tipo de pesas”, observó una gran deflexión en su detector a una distancia de 50 pies. Después Rutherford trasladó el vibrador a la sala de lectura, alejada 40 yardas, y todavía observaba la deflexión. La onda “pasaba aparentemente a través de 3 o 4 paredes y dos pisos.”¹⁸ Esto despertó la curiosidad de Rutherford, ya que la sensibilidad de su nuevo detector era una de sus principales preocupaciones. Construyó enormes placas (de 6 por 3 pies) para el vibrador, lo situó en el segundo piso del Laboratorio Cavendish, y trasladó el detector al Laboratorio de Ingeniería James Swing, alejado a más de 90 yardas en un edificio adyacente. Entre los dos laboratorios había “dos gruesos muros y tubos corriendo a lo largo de las paredes” (Rutherford, *Laboratory Notebook*, pág. 78–79). Ver Figura 1.3) A pesar de esto, se obtuvo una gran deflexión. J. J. Thomson, director del Laboratorio Cavendish, se interesó en las investigaciones de Rutherford y le animó para que viera lo lejos que podía transmitir. Rutherford cambió los ajustes de su detector de aguja magnética para obtener las condiciones más sensibles, y aumentó el tamaño de las placas del vibrador a 6 por 6 pies. Un día de Febrero de 1896, después de algunos fallos, pudo activar el detector en la casa de unos amigos a media milla del Laboratorio Cavendish.

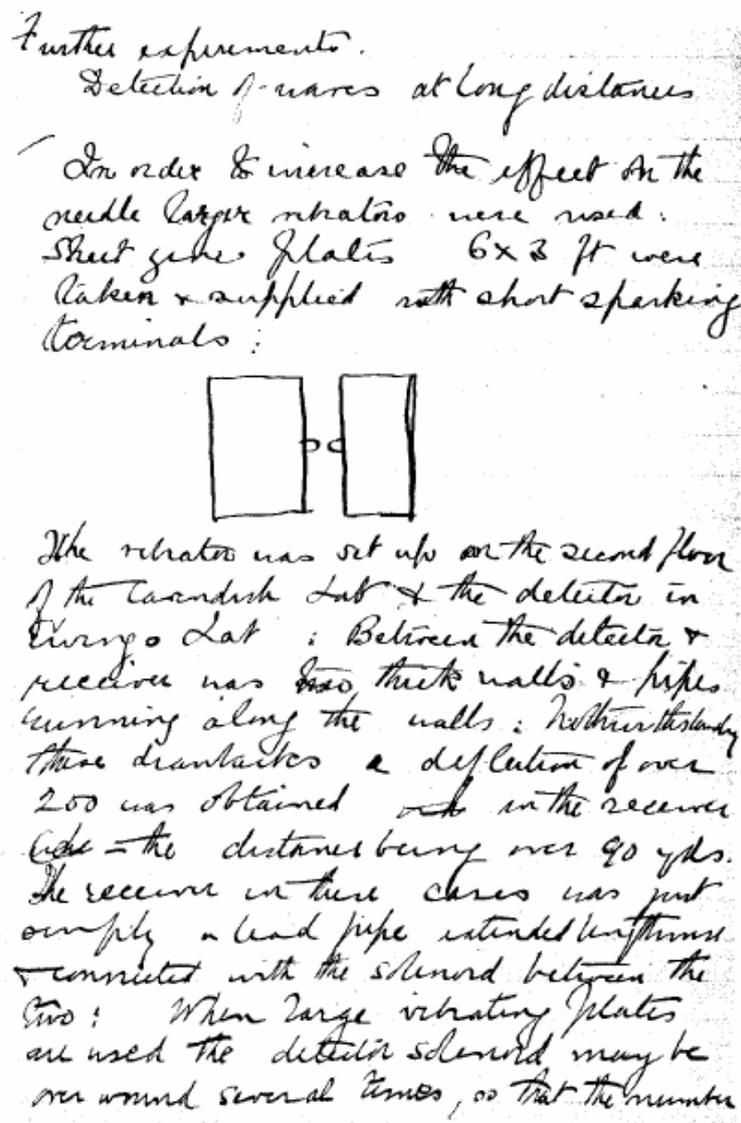


Figura 1.3

“Avances posteriores. Detección de ondas a larga distancia” en el libro de notas de Rutherford (Cambridge -University Library).

En Enero de 1896, en una carta a su familia, Rutherford escribió: “Si pudiera conseguir un efecto apreciable a diez millas, probablemente podría hacer una cantidad considerable de dinero con ello, ya que prestaría un gran servicio a los faros y buques faro para hacer señales a la costa en cualquier momento”. J. J. Thomson sondeó rápidamente esta posibilidad. En Febrero de 1896 escribió a William Thomson (entonces Lord Kelvin): “Un pupilo está trabajando en el laboratorio... puede enviar señales con ondas eléctricas a las habitaciones de un amigo que vive a más de media milla de distancia a pesar que las ondas eléctricas han de atravesar una parte muy poblada de Cambrigde. Creo que un instrumento de este tipo podría prestar servicio para comunicar entre un buque faro y la costa en mal tiempo o tal vez incluso entre barcos.” En Abril, J. J. Thomson volvió a escribir: “Rutherford... todavía está trabajando en perfeccionar los aparatos y aplicándolos para resolver muchas cuestiones interesantes sobre estas ondas. Sus trabajos creo que serán de gran importancia.” No se conserva la respuesta de Kelvin, pero el biógrafo de J. J. Thomson (el cuarto Lord Rayleig) nos dice que Kelvin estimaba que tal negocio podría requerir un capital inicial de 100.000 libras lo que desanimó a J. J. Thomson y Rutherford. En la primavera de 1896, Rutherford se movió en el tópicico de los rayos Röntgen, en que se absorbían rápidamente. Rutherford resumió sus resultados de su investigación en las ondas Hertzianas, leyó un papel sobre esto ante la Royal Society en Junio, e hizo la misma presentación ante el Club de Ciencia Natural de Cambrigde en Septiembre. En esta última reunión, escuchó la noticia que un italiano llamado Marconi había tenido éxito al transmitir a una milla y media.¹⁹

Henry B. Jackson era un ingeniero asociado con la escuela de torpedos de la Royal Navy.²⁰ Como capitán del HMS *Defiance* (un barco usado por la escuela de torpedos de la marina) en 1895–96, tenía mucho interés en las comunicaciones secretas. De hecho, había llegado a la idea de usar las ondas Hertzianas para la comunicación en 1891. La motivación para sus investigaciones sobre telegrafía inalámbrica en 1895 provino de los experimentos de Jagadis Bose sobre las propiedades ópticas de las ondas Hertzianas ese mismo año. Bose había inventado un cohesor de muelle estable que *The Electrician* había alabado como “una forma de cohesor que trabaja como si fuera un hombre” que podía ser adecuado como receptor a bordo para detectar señales de los faros “electromagnéticos”. Bose había leído su artículo ante la Royal Society, y había sido publicado en *The Electrician*.²¹ Inspirado por Bose, Jackson compró una bobina de inducción de 1 pulgada, un cohesor de muelle y comenzó a experimentar en Diciembre de 1895. Los primeros resultados “no fueron muy animadores,... pero se consiguieron algunos resultados”. El cohesor de muelle se golpeaba con el dedo. Después de esta primera prueba, Jackson leyó que Lodge y Hertz habían “extraído mucha información útil.” En Marzo de 1896, empleó una bobina de inducción de 2 pulgadas. En Julio, probó un cohesor de tubo de vidrio. En Agosto consiguió “obtener señales de Morse inteligibles a través de toda la longitud del barco y a través de todos los mamparos de madera”, La distancia era de unas 100 yardas. Su receptor era una campanilla eléctrica que se usaba también para golpear al cohesor. Después de este éxito, Jackson comenzó a experimentar con un resonador Morse.²²

En Septiembre de 1896, se llamó a Jackson para inspeccionar los instrumentos que usaba Marconi en las demostraciones de la Oficina Postal y de Salisbury Plain (que se tratarán en el capítulo 3). En su informe para la Marina sobre las demostraciones de Marconi decía lo siguiente:

El inventor reclama como suyos los medios para transmitir señales eléctricas a distancia sin hilos de conexión, y también un posterior avance de esto, para accionar el timón de un barco, botes o torpedos en movimiento... Yo personalmente, he estado experimentando, durante los últimos seis meses, en la misma dirección que el Sr. Marconi, con aparatos que se diferencian en pocos detalles o en los principios involucrados; y con unos resultados finales similares, aunque no tan buenos como los suyos, debido en parte a la falta de aparatos transmisores de más potencia, y al uso de aparatos receptores menos sensibles a mi disposición a bordo, y en parte, tal vez lo más importante, a los materiales y construcción del receptor, que es una de las partes más importantes del aparato, y a la construcción exacta que no revelará el inventor hasta que esté patentado, y es el detalle más importante, y uno al que ha dedicado mucho tiempo y preocupaciones para llevarlo a su perfección actual.²³

En Noviembre de 1896, Jackson, que se había hecho íntimo amigo de Marconi, usó un impresor para registrar las señales. En Abril de 1897 consiguió transmitir señales a 2 millas, pero la antena que usó era diseño de Marconi. En Mayo informó:

Comparando mis experimentos con los del Sr. Marconi, podría observar que antes de escuchar sus resultados, conseguí con los instrumentos a mi disposición transmitir señales de Morse con mis aparatos a unas 100 yardas, que aumenté gradualmente hasta un tercio de milla, pero no pude mejorarlo hasta que el mes pasado obtuve una bobina de inducción más potente, con la que he obtenido mis resultados actuales, usando el sistema de Marconi de hilos aislados en el aire conectados al transmisor y receptor... Con esta excepción, los detalles de mis aparatos, que son muy parecidos a los de él, han trabajado bastante bien.²⁴

Marconi y la telegrafía antes de la radio

Los dispositivos Hertzianos estaban ampliamente disponibles a los científicos e ingenieros victorianos, sin embargo dominaban las analogías ópticas, más que las telegráficas. Como la luz y las ondas electromagnéticas eran del mismo tipo, se pensaba en una analogía casi perfecta entre los receptores de luz y los detectores de ondas. Se previó el uso de las ondas Hertzianas como medio práctico de hacer señales entre barcos y faros en los días de niebla. Estas señales, que habían sido una importante meta científica y tecnológica para muchos científicos e ingenieros británicos y el gobierno, eran una necesidad social obvia para la comunicación inalámbrica. En este sentido, la analogía óptica actuaba como un recurso.

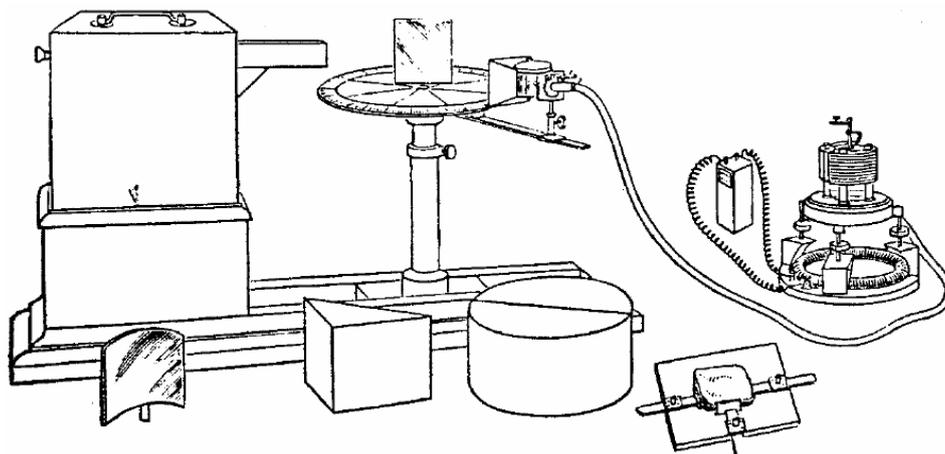


Figura 1.4

El montaje de los dispositivos de onda corta de Bose para la investigación óptica. Fuente: Bose 1895a.

Sin embargo, la analogía óptica actuaba como un estrecho límite. Los destelladores usados para hacer señales en los faros se convirtieron en un prototipo tecnológico para la comunicación inalámbrica Hertziana. Trotter, Threlfall y Rutherford, ninguno de los cuales tenía conocimiento alguno en telegrafía, trabajaban con estas restricciones. Además, las analogías ópticas llevaron a los científicos a acortar la longitud de las ondas. Todos, excepto Rutherford usaban ondas cortas, o pensaban que se podían explotar las ondas cortas para usos prácticos. Trotter propuso el uso de una onda de 1 milímetro; Crookes hablaba de reducir la longitud de onda; el dispositivo inicial de Jackson parece que generaba ondas en el rango de unos pocos centímetros, ya que era esencialmente el instrumento óptico de microondas de Bose (figura 1.4). Sólo parece que Rutherford tuvo el sentido de que un potente generador con una chispa más larga era clave para la transmisión exitosa a larga distancia. Para aumentar la potencia, usó grandes placas de condensador (6 pies por 6 pies) de una enorme capacidad, que, en efecto, aumentaban la longitud de onda. Pero Rutherford cambió los tópicos de su investigación antes que pudiera diseñar un dispositivo de comunicación funcional. A diferencia de Rutherford, Jackson intentó transmitir señales en código Morse, pero la limitada distancia de transmisión (unas 100 yardas) era un serio obstáculo. Esta deficiencia no confinó a Jackson. Incluso después de escuchar las noticias del éxito de Marconi al enviar mensajes inalámbricos por medio de las ondas

Hertzianas, el físico alemán Adolf Slaby, que había replicado los dispositivos telegráficos de Marconi en Enero de 1897, afirmó que “no había sido capaz de telegrafiar a más de un centenar de metros a través del aire (Slaby 1898, pág. 870).

Estas consideraciones iluminan el éxito de Marconi desde un ángulo diferente. Marconi nació en 1874. Su padre, Giuseppe Marconi, era un rico caballero italiano que tenía una pequeña hacienda en Pontecchio, cerca de Bolonia. Su madre, Annie Jameson, provenía de una influyente familia en Irlanda. Su relación irlandesa de su madre más tarde fue valiosa para Marconi inició sus negocios en Gran Bretaña. Su familia vivía en esos momentos en Villa Grifone en Pontecchio. En invierno solían pasarlo en Florencia o en Livorno, donde Marconi asistía irregularmente a la escuela elemental. A los 14 años, Marconi se había interesado en la invención y en los tópicos científicos. Como las escuelas en Livorno no enseñaban ciencia avanzada, tomó lecciones privadas sobre ciencia eléctrica avanzada de Vincenzo Rosa, profesor de física en el Liceo Niccolini, e hizo algunos experimentos de física en el laboratorio de Rosa. Más tarde, después que su familia saliera de Livorno, Marconi asistió a las conferencias del profesor Augusto Righi en la Universidad de Bolonia.²⁵

Como estudiante en el Instituto Técnico en Livorno, Marconi aprendió telegrafía por cable de un antiguo telegrafista (D. Marconi 1892, pág. 16–17). Fue inspirado para trabajar en telegrafía con ondas Hertzianas por el obituario de Augusto Righi sobre Hertz en el periódico *Nuovo Cimento*, que leyó en el verano de 1894. Durante el invierno de 1894–95, Marconi pasó la mayor parte del tiempo en su laboratorio en el ático de la villa de su familia en Pontecchio, familiarizándose con los dispositivos Hertzianos como osciladores de chispero, condensadores, resonadores, cohesores y bobinas de inducción. En el verano de 1895, Marconi comenzó a experimentar con la telegrafía de ondas Hertzianas. Al principio incluso recibir simplemente las ondas Hertzianas resultó difícil, pero la situación mejoró gradualmente con la destreza experimental de Marconi. En ese tiempo, visitó el laboratorio de Righi en la Universidad de Bolonia, donde se estaban investigando las ondas centimétricas con experimentos cuasi ópticos. Marconi modificó los instrumentos cuasi ópticos de alta frecuencia de Righi para la telegrafía. Por ejemplo, añadió un pequeño dipolo radiador a cada lado del transmisor de chispero de cuatro esferas de Righi, y esto aumentó mucho la longitud de las ondas.²⁶

Marconi tuvo dificultades con su receptor. Comenzó con un cohesor de tubo de Branly y un galvanómetro. Al principio golpeaba el cohesor con la mano, como había hecho Henry Jackson en los últimos experimentos. Sin embargo encontró que el cohesor de Branly era inestable: “podía actuar a treinta pies del transmisor, pero otras veces no actuaba incluso aunque estuviera a tres o cuatro pies.” Para recibir las señales telegráficas, se dio cuenta que se necesitaba de “algo más confiable que el tubo de Branly”. El cohesor de tubo de Branly original era largo y voluminoso. En manos de Marconi, evolucionó hasta un pequeño tubo (36 mm. de largo por 3 mm. de diámetro) y al vacío. Después de probar de 300 a 400 tipos de limaduras metálicas en su cohesor, Marconi encontró que una mezcla de limaduras de níquel y plata (con la adición de unas gotas de mercurio) producía la mejor sensibilidad. El nuevo cohesor de Marconi resultó mucho más fiable que el tubo de Branly, pero el golpearlo con la mano todavía lo hacía inestable. Para corregir esto, diseñó un martillo eléctrico con un pequeño martillito y un electroimán. Igual que un timbre eléctrico, se diseñó el golpeador para activarse con la corriente del cohesor. Marconi supuso que el golpeador sería muy estable, ya que permanecería quieto cuando no llegaban las ondas. Sin embargo, la corriente del cohesor (de una única pila) no era lo bastante fuerte para activar el golpeador eléctrico. Afortunadamente, este problema ya había sido resuelto en la telegrafía por cable al usar un relé para aumentar la corriente. Marconi conectó un relé telegráfico en serie con el cohesor e hizo que el relé, que estaba activado con el cambio de la conductividad del cohesor, activara el golpeador. Después reemplazó el galvanómetro por un impresor Morse. Sin embargo, el golpeador eléctrico y el relé causaron otro problema inesperado: una perturbación electromagnética local de estos dispositivos que algunas veces activaba al cohesor, produciendo puntos y rayas innecesariamente largos. Esto se solucionó conectando una resistencia elevada en paralelo con el circuito del golpeador y del relé. Finalmente, Marconi añadió unas placas de condensador a su cohesor para hacer que su receptor respondiera más fácilmente a las ondas que llegaran.²⁷

Todo, en principio, estaba listo para la telegrafía inalámbrica. En Agosto de 1895, Marconi hizo una serie de experimentos de campo para determinar lo lejos que podían viajar sus señales inalámbricas, ya que la distancia de transmisión superaba las dimensiones de su laboratorio. Sacó de su laboratorio el transmisor y el receptor. La distancia de transmisión no eran más de 150 pies. Marconi pensaba que las ondas recibidas se disipaban en el circuito de la batería del receptor. Para impedir esto, insertó una inductancia elevada entre el circuito de batería y el cohesor, para evitar que se disipara cualquier oscilación de alta frecuencia, dejando intacto el flujo de corriente de la batería. Con este perfeccionamiento, consiguió transmitir a una distancia de $\frac{1}{8}$ de milla.²⁸

Marconi aumentó el tamaño de las placas conectadas al transmisor y al receptor hasta 6 por 6 pies, coincidiendo con el mismo tamaño que las placas que usaba Rutherford. También con esta modificación, la distancia de transmisión que alcanzó Marconi, en Agosto de 1895, fue de $\frac{1}{2}$ milla, la misma distancia que alcanzaría Rutherford en Febrero de 1896 y la misma distancia que había predicho Lodge en 1894 como la máxima distancia de transmisión con las ondas Hertzianas. En ese momento Marconi hizo su avance más importante. Conectó a tierra un extremo de la placa del receptor y un extremo del transmisor (figura 1.5). Con esta modificación, pudo transmitir mensajes a una milla, y finalmente hasta 2 millas sobre colinas. Al aumentar la altura del poste transmisor, más lejos llegaban las señales. Había nacido la primera telegrafía inalámbrica práctica. En su libro de notas, Marconi escribió lo siguiente:

Se usó una bobina que daba una chispa de tres pulgadas. Con cubos de hojalata de 30 x 30 x 30 centímetros, en el transmisor y el receptor, sobre postes de 2 metros de altura se obtenían señales a 30 metros del transmisor, con los mismos cubos en postes de 4 metros de altura se obtenían señales a 100 metros, y con los mismos cubos a una altura de 8 metros (manteniendo igual las demás condiciones) se obtenían fácilmente señales de Morse a 400 metros. Con cubos de 100 x 100 x 100 centímetros, que tienen una superficie de 6 metros cuadrados, fijos a una altura de 8 metros, se obtenían señales legibles a 2.400 metros alrededor, que es igual a 1 milla y $\frac{1}{2}$.²⁹

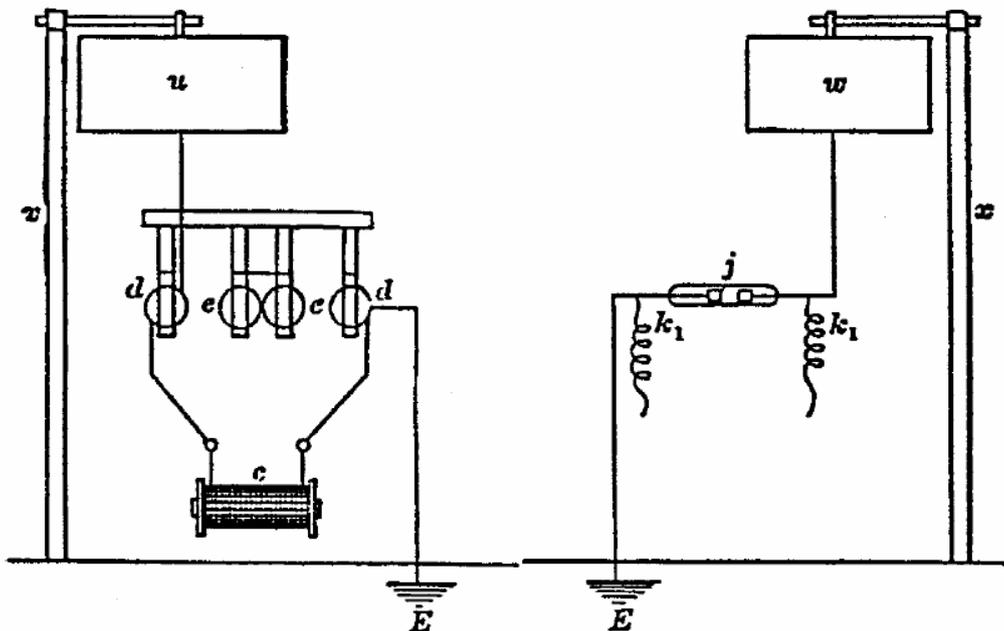


Figura 1.5
Antena a tierra de Marconi. Fuente: Patente británica de Marconi 12.039 (1896).

¿Qué llevó a Marconi a conectar a tierra sus aparatos y elevar sus postes? La idea de una elevación vertical no era nueva. Hertz había colocado su transmisor verticalmente, y Minchin había usado un hilo largo en su receptor en un esfuerzo para recoger las ondas electromagnéticas. Pero Marconi fue el primero en conectar a tierra el transmisor y el receptor.³⁰ Marconi tuvo esta idea de la telegrafía por cable, en la cual era esencial una "buena tierra". Debe recordarse que la meta principal de Marconi era inventar la "telegrafía" con ondas

Hertzianas. Gradualmente perfeccionó la simetría entre telegrafía por hilos e inalámbrica empleando un manipulador telegráfico, el sistema de mensajes por código Morse, un impresor Morse y un relé telegráfico ordinario en sus investigaciones sobre las ondas Hertzianas. Su conexión a tierra en sus experimentos con telegrafía inalámbrica es análoga al “retorno por tierra” de la telegrafía por hilos. El énfasis en la telegrafía separa a Marconi de los otros físicos e ingenieros que estaban trabajando con las ondas Hertzianas; todos los demás se preocupaban con las analogías ópticas.

Comprender la originalidad de Marconi

Entre 1888 y 1896, las ondas Hertzianas se transformaron de entidades de laboratorio en tecnología útil. Esta transformación no fue constante ni en línea recta. Los dispositivos Hertzianos surgieron de la física experimental. Lodge FitzGerald, Trouton, Crookes, Rutherford, J. J. Thomson, Threlfall, Minchin y otros físicos manipularon ondas Hertzianas en el laboratorio y explicaron sus propiedades por medio de una analogía con la luz, pero sólo especularon sobre el uso de las ondas para la comunicación. Por ejemplo, Righi inspiró a Marconi por medio de su obituario de Hertz y sus experimentos. Bose, que había leído una serie de artículos sobre óptica Hertziana en Londres en 1895, inspiró a Jackson para comenzar sus experimentos con dispositivos Hertzianos para la comunicación entre buques. En contraste, los telegrafistas e ingeniero telegráficos habían tenido poco interés en las ondas y dispositivos Hertzianos. William Preece, el ingeniero telegráfico más conocido en Gran Bretaña, que estaba muy atareado para establecer una comunicación inalámbrica funcional entre un buque faro y un faro, probaba constantemente la telegrafía inalámbrica inductiva, además de conductiva a través de la tierra, entre los años 1880 y principios de 1890, pero nunca pensó usar las ondas Hertzianas para la comunicación inalámbrica (Preece 1893, 1896c).³¹

Sin embargo, los físicos estaban preocupados con la óptica. Las cuestiones cuasi ópticas, dispositivos ópticos (como polarizadores y redes de difracción), y las ondas cortas eran aspectos estándar de los experimentos con ondas Hertzianas. Había también limitaciones teóricas y prácticas sobre el alcance de sus experimentos. Teóricamente, media milla era la máxima distancia de transmisión con las ondas Hertzianas. Prácticamente, nadie excepto Rutherford se acercó a esto. Galvanómetros en conexión con tubos de Branly, cohesores de Lodge, o la aguja magnética de Rutherford eran invariablemente los receptores. Los que intentaron emplear un impresor Morse con un tubo de Branly o un cohesor de Lodge encontraban que no se activaban con ninguno.³² Se podía haber empleado un relé telegráfico para amplificar el efecto de la corriente del cohesor, pero generaba chispas locales que eran difíciles de eliminar.

Estas barreras teóricas y prácticas no eran imposibles de vencer. Después de varios meses de trabajo duro, Marconi había diseñado un cohesor sensible y estable, inventó un golpeador estable, aumentó la eficacia de la bobina de inducción perfeccionando su aislamiento, conectó el impresor Morse y el relé telegráfico al cohesor en el circuito receptor, e insertó una resistencia en paralelo y una inductancia en el circuito receptor para impedir, respectivamente, las chispas locales y la disipación de las señales recibidas. Aunque la mayoría de estos componentes habían sido inventados por otros, eran inestables o no se habían conectado entre sí antes de Marconi. Las invenciones de Marconi, modificaciones, y perfeccionamientos cabían en una pequeña caja, que en aquel tiempo llamaban “caja secreta” de Marconi o “caja negra”. Cuando Marconi “abrió” la “caja negra” tras publicar su primera patente en 1897, la gente se sorprendió e intrigó por su simplicidad. Las soluciones parecían tan simples y tan obvias que comenzaron a preguntarse por qué nadie lo había hecho antes.

Había un elemento de “no obvio” en la solución de Marconi: su conexión a tierra de un polo del transmisor y un polo del receptor. Con este avance, Marconi se convirtió en el primero en transmitir mensajes a más de milla y media a través de edificios y colinas.

He sugerido que la fuente de las ideas innovadoras de la antena de Marconi fue su analogía entre la telegrafía por hilos y la inalámbrica. Conectando a tierra un polo, fue capaz de usar la tierra (o la “fuerza” de la tierra) para la comunicación, como habían hecho los telegrafistas en la telegrafía por cable. Más tarde, entendió que esta conexión a tierra junto con la antena multiplicaba la capacitancia de su transmisor, lo que generaba ondas largas. A una distancia

relativamente corta, estas ondas largas se propagaban sobre la superficie de la tierra, como si las guiara la tierra. Esta onda de superficie era efectiva sólo a cierta distancia. Sin embargo, Marconi creía que con suficiente potencia esta onda podría viajar a lo largo de la superficie de la tierra para transmitir señales a través del Atlántico. Cuando consiguió transmitir señales a través del Atlántico en 1901, atribuyó su éxito a las ondas guiadas por la tierra. La vieja “buena tierra” de los telegrafistas demostró ser esencial para la comprensión de la nueva telegrafía inalámbrica de Marconi.³³

2

Inventando la invención de la telegrafía inalámbrica: Marconi versus Lodge

El quid es ¿cuál de los dos fue el primero en enviar un telegrama inalámbrico? ¿Fue Lodge en 1894 o Marconi en 1896?

– Silvanus P. Thompson, *Times* (Londres), 15 Julio 1902

Como se ha tratado en el capítulo 1, varios ingenieros y físicos trabajaban con ondas Hertzianas y probaron varios modos de usarlas. Ninguno entre ellos tuvo éxito al producir un sistema práctico, en parte debido a su comprensión específica de las ondas Hertzianas como entidades similares a la óptica. Sin embargo, un físico británico luchó con Marconi sobre la prioridad y patentes en telegrafía inalámbrica: Oliver Lodge. Además, en las lecturas de Lodge en 1894, particularmente una que dio en la reunión de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia en Oxford en Agosto, fue muy seguida en Gran Bretaña para establecer su reclamación de haber sido el primero en demostrar la telegrafía inalámbrica, y varios historiadores aceptan estas reclamaciones.¹ Como Marconi no usó las ondas Hertzianas para hacer señales hasta 1895, no se podía mantener la prioridad de Marconi si la reclamación de Lodge era correcta.²

En el capítulo 1 hemos considerado disputa de la prioridad entre Marconi y Lodge considerando la invención de la telegrafía inalámbrica. Mi análisis demostrará que cualquier reclamación de la prioridad de Lodge es incorrecta. Después de considerar las evidencias del contrario, volveré a lo que reclamó finalmente como la demostración de telegrafía inalámbrica de Lodge en 1894. Esto, como veremos, no tiene nada que ver con la telegrafía, con señales alfabéticas, o con puntos y rayas. Después veremos el impacto de Marconi y su patente británica sobre los físicos Maxwellianos, en particular Lodge, Thompson, FitzGerald y Fleming.³ La transformación de los aparatos de laboratorio Hertzianos en telegrafía inalámbrica comercial fue, como veremos, conseguido claramente por Marconi, un italiano “práctico” y esto creó una cierta desarmonía entre la teoría y la práctica. Además, la patente de Marconi parecía ser tan fuerte que amenazaba con monopolizar las ondas Hertzianas y esto chocaba contra el interés nacional británico. La imagen de Lodge como el inventor de la telegrafía inalámbrica fue construida deliberadamente por sus amigos y por el propio Lodge para contrarrestar los efectos de estas circunstancias sociales.⁴

Lectura de Fleming en el memorial de Marconi de 1937

La disputa de prioridad entre Lodge y Marconi ha sido extensamente discutida. El historiador de la tecnología Hugo Aitken y otros que apoyan la prioridad de Lodge han propuesto dos piezas de evidencia textual. La primera es un corto artículo en *The Electrician* según el cual “en Oxford [en Agosto de 1894] y en la Royal Institution [en Junio de 1894], el Dr. Lodge describió y exhibió aparatos que constituyen un sistema de telegrafía sustancialmente similar al que se reclama en la patente que hemos referido [patente 12039 de 1893 de Marconi].” El segundo es la lectura del Memorial de Marconi de 1937, en la que John Ambrose Fleming (asesor científico de Marconi) dijo que Marconi “no fue la primera persona en transmitir señales alfabéticas con ondas electromagnéticas” y admitió la prioridad de Lodge (Fleming 1937, pág. 46; citada en Aitken 1976, pág. 123):

[Lodge] fue capaz de transmitir una señal de un punto o raya y cualquier combinación adecuada para enviar cualquier letra del alfabeto con el código Morse y en consecuencia mensajes inteligibles. También tenía en su mesa un impresor Morse (eso me dijo), y lo podía haber usado con un relé sensible para imprimir las señales, pero como la audiencia deseaba ver las señales prefirió usar el galvanómetro de espejo. Por tanto es incuestionable que en la ocasión de su lectura en Oxford de Septiembre de 1894, Lodge presentó la telegrafía por ondas eléctricas a corta distancia.⁶

Antes de 1896, cuando Marconi llegó a Inglaterra, Fleming y Lodge eran buenos amigos, habían estudiado juntos en su juventud en el laboratorio del químico Edgard Frankland en South

Kensington. Sin embargo, su relación se deterioró rápidamente, después de 1899 cuando Fleming se convirtió en asesor científico de la Wireless Telegraph and Signal Company de Marconi. Hasta 1937 Fleming no admitió la prioridad de Lodge. Por ejemplo, en 1906 reiteró que “no se había mencionado la aplicación de estas ondas a la telegrafía” en la reunión de Oxford de 1894 (Fleming 1906a, pág. 424; Aitken 1976, pág. 120). Sólo después de la muerte de Marconi, parece, que Fleming decidió contar una historia diferente.⁷ Aitken (1976, pág. 122) comenta que “la memoria de Fleming... era capaz de mejorarse con el paso del tiempo, o tal vez debido a rivalidades comerciales y científicas retrocedía al pasado.”

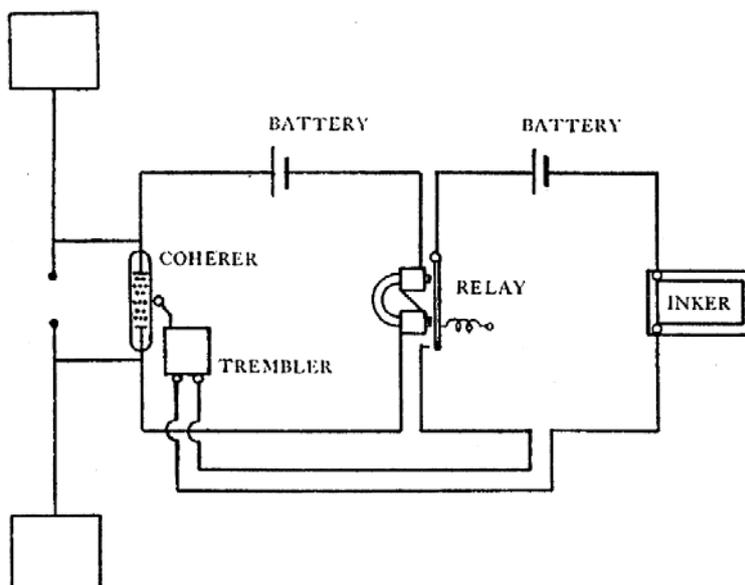


Figura 2.1

Diagrama del receptor de Oliver Lodge en 1894 según Eccles. Fuente: Eccles 1933, pág. 54.

Pero Fleming no estuvo presente en la reunión de Agosto de 1894 de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia. La fuente de Fleming no era su propia memoria sino las notas de Lodge. Es claramente evidente en tres cartas intercambiadas entre Fleming y Lodge en 1934. Antes de su memorial de Marconi, dado en Noviembre, Fleming escribió a Lodge:

He sido preguntado por el Council de la Royal Society of Arts para dar el 10 de Noviembre una lectura Memorial de la “Obra de Marconi”... Uno de los hechos que me gustaría saber es si en tu lectura en la *British Association at Oxford Meeting* en 1894 empleaste un relé telegráfico en serie con tu cohesor para imprimir en un impresor Morse señales de puntos y rayas. En su obra “Wireless” [Eccles 1933] el Dr. Eccles incluye en la pág. 54 un diagrama del aparato que dice que empleaste en Oxford en 1894 [ver figura 2.1]... Yo estuve presente en Junio de 1894 tu famosa lectura en la Royal Institution sobre “La obra de Hertz” y recuerdo bien tus experimentos con tu cohesor. Pero no recuerdo ninguna mención directa a la “telegrafía” en tu lectura. No estuve presente en tu reunión del B. A. en Oxford, pero... es muy importante saber de ti si en Oxford en 1894 exhibiste un oscilador de Hertz conectado con un cohesor y empestaste un relé telegráfico conectado con él y un impresor Morse y mostraste la transmisión e impresión de señales con puntos y rayas a cualquier distancia corta.⁸

Lodge respondió que en Oxford realmente había empleado instrumentos telegráficos y transmitido señales alfabéticas, es decir, puntos y rayas:

Estas en lo correcto que en 1894 en la Royal Institution no me referí a la telegrafía. Pero, estimulado por Muirhead, que estaba en contacto estrecho con la telegrafía y los cables, en Oxford demostré una telegrafía. Yo tenía allí un instrumento Morse, pero para la gran audiencia en el teatro del Museo no era adecuado, y por tanto usé como receptor un dispositivo de señales marinas de Thomson proporcionado por la firma Muirhead para ese propósito, aunque tenía un instrumento Morse sobre la mesa y que podía haber usado. Pero las desviaciones del punto de luz eran perfectamente visibles para la audiencia, y dieron una rápida y prolongada respuesta que se correspondían con los puntos y rayas de acuerdo a las manipulaciones del manipulador en un extremo distante.⁹

De la respuesta de Fleming a Lodge, que adivinando el contenido de su lectura, muestra que aceptaba totalmente las reclamaciones de Lodge:

Lo que me dices de tu lectura en Oxford en 1894 es muy valioso e importante. Está claro que en 1894 podías haber enviado y recibido señales alfabéticas en código Morse con ondas eléctricas y enviarlas a 180 pies más o menos. La idea de que Marconi fue el primero es inválida... Marconi estuvo siempre determinado a reclamar todo para él. Su conducta conmigo en la primera transmisión trasatlántica fue muy poco generosa... Sin embargo, estas cosas se acaban sabiendo con el tiempo y se hace justicia.¹⁰

Es evidente que en esta última carta, Fleming estaba dolido por la actitud de Marconi hacia sus empleados. El cese de Fleming como asesor científico de la Compañía Marconi en 1931 y la muerte de Marconi en 1937 pudieron haber influido en Fleming para aumentar sus simpatías por Lodge. Podía haber sentido que “las cosas debían saberse a su tiempo y hacerse justicia”.¹¹ Pero esto no podía mejorar su memoria de algo que nunca había sentido. Fue Lodge quien informó a Fleming sobre la reunión en Oxford. Por tanto la lectura de Fleming en 1937 no puede tomarse como concluyente.

Para analizarlo mejor, dividiré la reclamación de Lodge en dos partes: (1) que Lodge envió realmente señales telegráficas (es decir, puntos y rayas) durante la reunión de Agosto de 1894 en la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia en Oxford y (2) que Lodge tenía un instrumento Morse allí pero, debido al tamaño de la audiencia, usó un galvanómetro de espejo para mostrar las señales. Es evidente que ninguna afirmación es correcta.

Ondas Hertzianas y práctica de Lodge en 1894

El ambicioso Maxwelliano Oliver Lodge, profesor de física en el University College de Liverpool, trabajó en varias características de las ondas Hertzianas entre 1888 y 1894. El eslabón entre la óptica y el electromagnetismo le atrajo en particular. El tema era enteramente Maxwelliano, ya que tenía sus raíces en la doctrina de Maxwell que la luz y las ondas electromagnéticas eran lo mismo. También era sinceramente la “ciencia imperial” lodgiana, la que llevó a la ciencia eléctrica a la conquista de otros campos –en este caso, la óptica y la fisiología. El tema se dividía en dos partes: (1) la investigación física de las propiedades cuasi ópticas de las ondas electromagnéticas –es decir, la reflexión, refracción y polarización de las ondas electromagnéticas en el aire, en otros medios y en algunos casos, a lo largo de los hilos– y (2) la investigación fisiológica del mecanismo de percepción de la luz (color, intensidad, etc.) del ojo humano.¹²

Con sus experimentos, Lodge hizo dos importantes avances. Primero, construyó un radiador que generaba ondas con una longitud de varias pulgadas. Hertz había usado una longitud de onda de 66 cm, pero todavía era demasiado larga para muchos de sus experimentos ópticos. Debido a la dificultad de reducir la longitud de onda con el radiador dipolo de Hertz, Lodge cambió al radiador esférico. En 1890, Lodge usó tres bolas de 12 cm y obtuvo ondas de 17 cm, “las más cortas con las que traté”. (Lodge 1890a) Lodge fue después más lejos en esta línea de desarrollo y diseñó dos radiadores esféricos más, que exhibió en una lectura de la Noche del Viernes titulada “La obra de Hertz” en la Royal Institution en Junio de 1894. La segunda línea de investigación de Lodge se relaciona con los detectores. Las ondas Hertzianas se detectaban al principio con un resonador con un diminuto chispero. Pero este resonador con chispero no era adecuado para la investigación fisiológica de Lodge. Por ejemplo, notó que el detector de chispero se correspondía con las percepciones de diferentes colores en el ojo humano. Lodge se concentró por tanto en la construcción de un “ojo eléctrico”. En 1890, su ayudante Edgard Robinson construyó un “receptor graduado”, y Lodge probó “una serie de largos cilindros” de varios diámetros. El principio de ambos detectores era que respondían a una radiación específica, formando un “ojo eléctrico con un rango definido de sensación de color”. En 1891 Lodge exhibió un ojo eléctrico del tipo Robinson en una reunión en Londres en la Physical Society. Ese dispositivo tenía “tiras de hojalata de diferentes longitudes sujetas en una placa de vidrio, y chisperos en cada extremo que los separaba de otras piezas de hojalata” (Lodge 1890a,

1891a). Como se ha indicado en el capítulo 1, Lodge construyó también un detector de punta de contacto elástico, que llamó cohesor.

Por tanto Lodge tenía dos detectores nuevos: su cohesor y el tubo de Branly. (Inicialmente, Lodge llamó cohesor a su detector de contacto único, pero pronto este nombre designó a ambos tipos.) El cohesor de Lodge y el tubo de Branly se conectaban en serie con una batería y un galvanómetro. En estas condiciones, ambos dispositivos actuaban como un interruptor: antes de la llegada de una onda Hertziana, su resistencia es muy alta, como si el interruptor estuviera abierto, pero cuando le llegaba una onda Hertziana, su resistencia se reducía, como si se hubiera cerrado el interruptor. Esta acción hacía que fluyera una corriente de la batería, y se podía detectar la corriente con un galvanómetro. Sin embargo, los dos detectores se diferenciaban en su sensibilidad. En Liverpool el 17 de Abril de 1894 Lodge observó que el tubo de limaduras podía detectar la radiación emitida desde una distancia de 40 yardas. Por otra parte, el biógrafo de Lodge, Meter Rowlands (1990, pág. 116–117) anota que “un emisor en el Teatro Zoológico” afectaba perceptiblemente al cohesor en el Teatro de Física”.¹³ Aunque más sensible, el cohesor de Lodge era menos estable que el tubo de limaduras. Además, el tubo de Branly tenía un carácter poco métrico: su reducción de la resistencia parecía poco proporcional a la intensidad de las ondas Hertzianas. Esto se parecía a la percepción del ojo humano de luz de diferente intensidad. Por tanto, para experimentos fisiológicos el tubo de Branly era más adecuado que el cohesor de punta única de Lodge.

Hertz murió a la edad de 36 años el 1 de Enero de 1894, y el 1 de Junio Lodge presentó una Lectura Memorial de Hertz en la Lectura de los Viernes en la Royal Institution. Allí habló de la vida y obra de Hertz y sus propios radiadores y detectores, después hizo varios experimentos.¹⁴ Las demostraciones se dividieron en una parte física y una parte fisiológica. En la parte física Lodge demostró la reflexión, refracción y polarización de las ondas Hertzianas. Para ello usó su radiador esférico encerrado en una caja metálica y como detector un tubo de Branly con un “sombbrero” de cobre, y un galvanómetro de espejo como indicador de señales (figura 2.2). En la parte fisiológica explicó el funcionamiento del ojo humano, usando la analogía del cohesor: “Cuando la luz cae sobre la retina, estas separaciones se hacen más o menos conductoras, y se estimulan los nervios”. (Lodge 1894b, pág. 137) Lodge también hizo un experimento en el exterior en que el receptor estaba en el teatro y el transmisor en la biblioteca de la Royal Institution, separados por una distancia de 40 yardas y tres habitaciones y escaleras.

Después de detectar las ondas electromagnéticas, el cohesor debía agitarse mecánicamente o “golpearse” para dejarlo listo para el siguiente tren de ondas. ¿A qué se correspondía con el ojo humano? Lodge supuso que en el ojo “el golpeo lo hacían automáticamente los tejidos, es decir que estaba siempre listo para una nueva impresión.” Para demostrar este golpeo automático en el ojo humano, Lodge preparó un timbre eléctrico, que montó en el mismo tablero que el tubo de limaduras. Lo hacía vibrar constantemente, y esto sacudía constantemente la mesa y el cohesor sobre ella, el timbre hacía que el cohesor estuviera siempre listo para detectar ondas nuevas (Lodge 1894b, pág. 137).¹⁵

Los extractos de la Lectura del Viernes de Lodge en *Nature* y en *The Electrician* fueron ampliamente leídos. Sin embargo, las demostraciones tuvieron más bien poco éxito. *The Electrician* observó que “los experimentos se hicieron bajo condiciones muy poco favorables.”¹⁶ Además, la “falta de entusiasmo” en la lectura de Lodge se contrastó con el éxito de la lectura de Nikola Tesla de 1893, durante la cual “los sobrecogedores tubos brillando en una sala oscurificada” impresionaron a todos. Lo que le faltaba a Lodge era un “efecto teatral” o “escenificación”. Ni el sonido de las chispas ni el “moderado galvanómetro” conectado al cohesor fue teatral. El “alegre” galvanómetro era muy falso; el movimiento de la aguja no era muy estable, incluso cuando no llegaban las ondas. *The Electrician* sugiere el uso de un galvanómetro más efectivo (p. ej. uno del tipo amortiguado¹⁷).

No se conserva ninguna descripción detallada del galvanómetro que usó Lodge, pero del extracto y la figura del *The Electrician* es evidente que Lodge usó un galvanómetro del tipo de espejo.¹⁸ De un comentario en *The Electrician*, es evidente que no era del tipo amortiguado. De otras evidencias, sabemos que Lodge no prestaba mucha atención al galvanómetro. Antes de la invención del cohesor, por ejemplo, George FitzGerald había construido un galvanómetro extremadamente sensible para demostrar la detección de ondas a una audiencia. Este

instrumento podría haber detectado la perturbación del equilibrio eléctrico causado por una diminuta chispa (FitzGerald. 1890). El cohesor, un interruptor on-off, hacía innecesario un galvanómetro sensible, ya que el galvanómetro tenía que detectar una corriente relativamente grande de una batería –una corriente que disparaba la acción del cohesor. Como anotó Lodge, era suficiente con un “tosco galvanómetro”.¹⁹

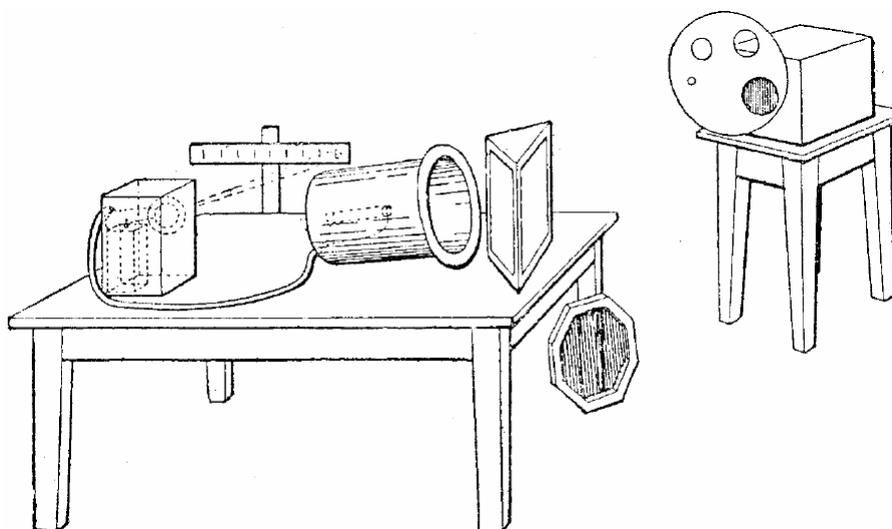


Figura 2.2

Experimentos cuasi ópticos de Lodge con las ondas Hertzianas en la Royal Institution en Junio de 1894, con un radiador esférico en una caja metálica y un tubo de Branly en un “sombbrero” de cobre. Obsérvese el galvanómetro de espejo. Fuente: *The Electrician* 33, 1 de Junio 1894, pág. 205.

¿Por qué el galvanómetro fue problemático en el momento crucial? Lodge sospechaba que la fuente del problema era la sacudida de corriente del timbre que usaba para el golpeo automático. Esta corriente ciertamente influiría en el cohesor adyacente. La sacudida de corriente “produce un efecto, y una vibración mecánica... produce un efecto opuesto; por tanto apenas podía mantenerse en reposo el punto de luz.” Lodge (1894b, pág. 137) sabía que un “mecanismo de relojería” que no usa una corriente eléctrica “podía ser mejor” que el timbre.

En la carta a Fleming citada antes, Lodge enfatizaba que en su demostración en Oxford había usado un galvanómetro marino amortiguado Thomson (Kelvin) prestado por la firma de Alexander Muirhead. En 1900 Lodge declaraba: “El Dr. Alexander Muirhead previó la importancia telegráfica de este método de señalización inmediatamente después de escuchar la lectura del autor el 1 de Junio de 1894, y preparó un registrador de sifón para ello.” Lodge 1900, pág. 45; Lodge 1921–22) En una carta muy citada de 1914 a uno de sus amigos, Lodge escribió: “Fue al principio [de la Lectura del Viernes de la Royal Institution] que mi amigo Alexander Muirhead concibió las aplicaciones telegráficas que finalmente llevaron a la fundación del Lodge–Muirhead Syndicate.”²⁰ De todos modos, Lodge recordó que el galvanómetro en Oxford respondió a las señales con rapidez, amortiguado, sin oscilaciones confusas” (Lodge 1926, pág. 265–266).²¹ Esta conexión con Muirhead que haría la prueba telegráfica en Oxford, ejecutada sólo 2 meses después de su experimento obviamente no telegráfico en la Royal Institution sería factible y oportuna.

Es cierto que Muirhead construyó un sensible registrador de sifón para un detector inalámbrico entre finales de la década de 1890 y principios de 1900, y que Lodge y Muirhead, que comenzaron por rellenar las patentes sobre telegrafía inalámbrica en 1897, formaron el Lodge–Muirhead Syndicate en 1901. No obstante, la aserción central respecto a la conexión con Muirhead –que Muirhead prestó a Lodge un galvanómetro marino amortiguado Thomson después de inspirarse por la lectura de Lodge de Junio– es dudoso. Según la recolección de la viuda de Lodge, fue la lectura de Lodge en Oxford, no la lectura de la Royal Institution, la que inspiró a Muirhead en pensar sobre la telegrafía inalámbrica.²² Uno de los biógrafos de Lodge duda que Lodge usara un galvanómetro marino de Thomson prestado por Muirhead en Oxford (Rowlands 1991, pág. 148, nota 30).²³ Pero el uso de un galvanómetro marino de Thomson por

Lodge en Oxford, creo que es muy plausible, no porque Muirhead fuera inspirado por la lectura de Lodge en Junio, sino porque Lodge había pedido prestado a Muirhead este dispositivo varias veces desde finales de la década de 1880.²⁴ Además, como hemos visto, Lodge tenía una razón urgente para usar un galvanómetro amortiguado. Había experimentado serios problemas con su galvanómetro libre en la lectura de junio, y *The Electrician* había recomendado el uso de un galvanómetro amortiguado para un futuro éxito. Estos factores podían ser las motivaciones reales para que Lodge usara un galvanómetro marino Thomson en Oxford, si lo usó realmente allí.

¿Por qué Lodge hizo su experimento exterior en la Royal Institution? Evidentemente no para determinar la distancia máxima de transmisión, o para demostrar la penetración de las ondas en las paredes. El propósito real tenía que ver con preocupaciones psicológicas. Con un tubo de Branly métrico y un timbre. Lodge esperaba mostrar como podía discernir el cohesor las ondas Hertzianas de varias intensidades, igual que hace el ojo humano. La forma más fácil de variar la intensidad de las ondas era ajustar la distancia entre el transmisor y el receptor. Debido a la teoría de Horace Lamb y J. J. Thomson, Lodge usó un radiador esférico de 6 pulgadas (situado en la biblioteca de la Royal Institution) para facilitar la estimación de la longitud de onda que producía el radiador esférico: con un radiador de 6 pulgadas, la longitud de onda era de 8 a 9 pulgadas. Además, debido a la teoría de FitzGerald (1883), se sabía que la energía de radiación a una distancia, manteniendo igual las demás condiciones, es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Es decir, al acortar la longitud de onda, mayor es la energía de radiación, y así aumenta la posibilidad de ser detectado a una cierta distancia. La creencia que las ondas cortas podían viajar más lejos que las ondas largas estaba fuertemente grabada en la mente de Lodge (Lodge 1931, pág. 165; Lamb 1883; J. J. Thomson 1883–84). Pero incluso con las ondas cortas, Lodge (1894b, pág. 135–137) estimaba que tal vez el límite de sensibilidad estaba en media milla.

¿Tuvo éxito el primer experimento en el exterior de Lodge? Lodge y sus amigos repitieron más tarde que fue un éxito. Sin embargo, la respuesta correcta es sí y no: no porque no logró detectar la onda con un tubo de limaduras métrico, sí porque la detectó con su cohesor sensible. El manuscrito de Lodge confirma este juicio:

El radiador esférico... aunque podía excitar al tubo de limaduras... a 60 yardas al aire libre... no podía excitarlo perceptiblemente cuando estaba apantallado por las muchas paredes y superficies metálicas que existían entre la Biblioteca y el Teatro de la Royal Institution. Sin embargo, podía excitar fácilmente el cohesor, que es inmensamente más sensible, y también más problemático y ocasionalmente tan caprichoso como el tubo de limaduras de hierro.²⁵

El 14 de Agosto de 1894, en una reunión conjunta de las secciones de Física y Fisiología de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, Lodge dio dos lecturas y demostraciones de las ondas Hertzianas en un teatro de la Universidad de Oxford. La primera lectura se titulaba “Experimentos que ilustran la teoría de la luz de Clerk Maxwell”; el segundo se titulaba “Una teoría eléctrica de la visión.” En un sentido, dividió la lectura previa del Viernes en dos. En la primera lectura, Lodge usó un radiador esférico y un sombrero de cobre para concentrar la radiación. Como antes, se usaron como detectores el tubo de Branly y el cohesor de Lodge, y en la mayoría de las demostraciones empleó el dispositivo de Branly. Se demostró la refracción y reflexión de las ondas Hertzianas con lentes, papeles de oro, el cuerpo humano, prismas de parafina, y un bloque de madera. La polarización se demostró con un polarizador de hilo de cobre. También se demostró la partición del rayo polarizado en dos rayos polarizados elípticamente. El fenómeno fue “muy bello, muy cuidadoso y una demostración muy convincente”, y la audiencia... mostró repetidamente su cálido aprecio por los bellos experimentos del Prof. Lodge.²⁶ En la segunda lectura, Lodge propuso que el circuito cohesor “se podía tomar como un análogo, y podría, *ex hypothesi*, ser un modelo ampliado del mecanismo de la visión.” Según esta hipótesis, “el elemento retinal constituye un conductor imperfecto, y... las ondas de luz podrían causar una disminución súbita en la resistencia de los elementos.” Así, una vez golpeado por la onda, el cohesor “tiene una tendencia a persistir en su resistencia reducida” y por tanto necesita ser golpeado “para romper el contacto del cohesor y regresar a su estado

normal de mala conducción.” Para el golpeo, Lodge usó “una especie de aparato de relojería que producía automáticamente el golpeo a cada décima de segundo” para mostrar que “para una radiación continua el cohesor muestra indicaciones continuas, que desaparecen cuando cesa la radiación.”²⁷

¿Cuál era el transmisor en los experimentos fisiológicos? Esto nunca ha sido examinado críticamente. En 1898 el amigo íntimo de Lodge, Silvanus Thompson, profesor de física aplicada e ingeniería eléctrica en el Finsbury Technical College, informó que el radiador había estado en el Clarendon Laboratory, a una distancia de 200 yardas (S. P. Thompson 1898, pág. 458). Sin embargo la afirmación de Thompson puede ser errónea. Las diversas colecciones de Lodge no contienen ninguna mención al Clarendon Laboratory. Sólo tenemos la nota que “en ambos casos, las señales se hicieron fácilmente a una distancia a través de paredes y otros obstáculos, un emisor estaba fuera y el galvanómetro detector dentro de la habitación” (1897, pág. 90) y su nota de que “el aparato [emisor] estaba en otra habitación” (1932, pág. 231). Contrario a las notas de Lodge y Thompson, las cuatro fuentes en que he confiado no dicen nada sobre en absoluto la prueba en el exterior. A la vista de esta evidencia, y los anteriores problemas de Lodge con el experimento exterior en la Royal Institution, puede ser el caso que la distancia atravesada por las ondas Hertzianas en las lecturas en Oxford fuera bastante pequeña.

No hay la menor indicación de señales telegráficas, o puntos y rayas. Con su golpeador automático perfeccionado, Lodge mostró la persistencia de la visión y la mera sensación de luz, que correspondía a las indicaciones cortas y largas del galvanómetro. Pero estaba lejos de los puntos y rayas de las señales alfabéticas. Desde el principio hasta el final, la lectura fue completamente “Lodgiana”. Su propósito era investigar la relación entre las ondas ópticas y electromagnéticas, y entre los receptores ópticos y electromagnéticos. Después de la lectura, a pesar de las sugerencias de Muirhead y Rayleigh, Lodge no prosiguió más este tema. Pronto estuvo ocupado con experimentos del éter, rayos X e investigación en física.

Vamos a examinar ahora el segundo argumento de Lodge sobre “un instrumento Morse” mencionado en su carta a Fleming. Fleming pensó que este instrumento debía ser un impresor Morse. Pero no lo era. Irónicamente, la primera evidencia (un corto artículo en *The Electrician*) revela su naturaleza. Se listan cinco instrumentos usados en las demostraciones de Lodge en Oxford, y uno de ellos es “instrumento Morse para sacudir las limaduras.”²⁸ El instrumento Morse de Lodge no era nada más que un golpeador automático que usaba para sacudir al cohesor en lugar del timbre eléctrico problemático. Lo más seguro, el instrumento Morse que usó Lodge para el mecanismo de relojería era un instrumento telegráfico, pero usó este instrumento telegráfico para usos no telegráficos, como confirmó el mismo en su descripción del golpeador automático en la reunión de Oxford de 1897 (Lodge 1897, pág. 90):

El golpeteo se hacía primero a mano... pero enseguida se prepararon golpeadores automáticos;... se encontró que no era muy satisfactorio un timbre eléctrico, debido a las perturbaciones causadas por las pequeñas chispas en su interruptor... así que se empleó un golpeador de mecanismo de relojería, que consistía en una rueda con radios que se hacía girar con el mecanismo de relojería de un instrumento Morse, y daba una serie de sacudidas al tubo de limaduras o cohesor a intervalos regulares.

El “Instrumento Morse” no era un impresor ni un sustituto del galvanómetro. No era nada más que un mecanismo de relojería usado para golpear. Para entender de cómo se transformó un mecanismo de relojería en un detector Morse, debemos examinar el impacto de la telegrafía inalámbrica de Marconi entre los Maxwellianos británicos.

Marconi, Preece, los Maxwellianos y la “práctica versus teoría”

Desde 1886, Lodge y sus amigos Maxwellianos, Oliver Heaviside (1850–1925) en particular, habían estado envueltos en una amarga controversia con William H. Preece (1834–1913), Ingeniero Jefe de la Oficina Postal. En la publicación sobre la autoinducción de los hilos y sus implicaciones para la telefonía a larga distancia y los conductores de los rayos, la reclamación teórica contraintuitiva de Heaviside por el efecto beneficioso de la autoinducción para la telefonía a larga distancia fue severamente rechazada por Preece, que basaba su argumento en

su práctica y experiencia en el campo. En 1887–88 el debate entre Preece y Heaviside se intensificó por otro debate entre Silvanus Thomson y Preece relacionado con los dispositivos telefónicos. Lodge no tardó en unirse a la disputa con sus diseños innovadores para los conductores de rayos, que fueron muy criticados por Preece. Esta serie de debates evolucionaron desde la “práctica versus teoría” hasta una batalla por la hegemonía eléctrica.²⁹ Las noticias que Hertz había descubierto las ondas electromagnéticas de Maxwell fue conocida por la comunidad científica británica en 1888. Aunque Hertz privó a Lodge (que estaba intentando generar y detectar ondas electromagnéticas sobre hilos a partir de descargas de botellas de Leyden) del crédito del descubrimiento de las ondas electromagnéticas, e incluso aunque las ondas electromagnéticas no estaban relacionadas directamente con la controversia, el descubrimiento de Hertz ayudó a que los Maxwellianos derrotaran a Preece. Se demostró la parte más importante de la teoría de Maxwell, y en 1889 el reconocimiento caluroso de Sir William Thomson del trabajo matemático de Heaviside marcó la victoria de los teóricos sobre los prácticos.



Figura 2.3

Marconi en 1896 con su “caja secreta” cerrada (cortesía de los Archivos de la Compañía Marconi, Chelmsford).

En Febrero de 1896, Marconi llegó a Inglaterra con su “caja secreta” (figura 2.3). En Julio, Marconi contactó con Preece, que enseguida se convirtió en el primer, y más potente patrón de Marconi. Preece había estado interesado en la telegrafía por inducción durante varios años, y esto le permitió ver las posibilidades comerciales de la telegrafía inalámbrica en la demostración de Marconi. Pero Preece vio más que la posibilidad comercial; vio un buen medio de venganza contra el campo teórico de los Maxwellianos. Al igual que Preece, Marconi era lo que “Oliver Heaviside llamaba ‘práctico’”.³⁰ Marconi no sabía prácticamente nada de la teoría matemática de Maxwell y tal vez poco de los experimentos físicos de Hertz; sin embargo, había desarrollado la telegrafía de ondas Hertzianas, donde Lodge había fracasado. Para Preece, el éxito de Marconi fue un maravilloso ejemplo de la superioridad de la práctica sobre la teoría. Las ondas Hertzianas que habían derrotado a Preece en 1888 se convertían ahora en su arma.³¹

En una reunión en la Asociación Británica para el Avance de las Ciencias que tuvo lugar en Liverpool en Septiembre de 1896, Preece preparó dos papeles. En el primero (Preece 1896a), que se basaba en sus observaciones de diversos cables submarinos, atacó la teoría matemática de Heaviside de cables sin distorsiones y abogó por su propia ley empírica. En el segundo, una discusión del papel de Jagadis Bose, Preece (1896b) afirmó que “un italiano había llegado con una caja dando un nuevo sistema de telegrafía espacial”; allí, como anotó Lodge (1931, pág. 168), Preece anunció el éxito de Marconi al transmitir a una milla y cuarto en Salisbury Plain.³²

El anuncio de Preece de la transmisión de Marconi sorprendió a la mayoría de Maxwellianos, como sugiere el siguiente párrafo en una carta de FitzGerald a Heaviside:

El último día Preece nos sorprendió a todos al decir que había acogido a un aventurero italiano que sin hacer más que Lodge y otros había observado las radiaciones Hertzianas a distancia. Muchos de nosotros nos indignamos con esta observación del trabajo de los británicos por un manufacturero italiano. La ciencia “made in Alemania” era lo usual pero “made in Italia” por una firma desconocida era demasiado malo.³³

Según la última colección de Lodge, Lodge no refutó a Preece, que era “más ignorante de lo debido con lo que se había hecho,” pero se “retiró a [su] laboratorio y amañó un montaje que mostró a Lord Kelvin y unos pocos más, diciendo ‘Esto es de lo que hablaba Preece.’”³⁴

En una lectura pública dada en Toynbee Hall en Diciembre de 1896, Preece volvió a dar publicidad al hecho de Marconi. También prometió que la Oficina Postal proporcionaría un respaldo financiero generoso para las investigaciones de Marconi. Esta promesa levantó a los Maxwellianos, que estaban en unas difíciles negociaciones con el gobierno británico para asegurar el apoyo financiero para el establecimiento del Laboratorio Nacional de Física. Lodge había iniciado el último esfuerzo en 1891 en la reunión anual de la Asociación Británica. Cuando fue revivida en 1895 por Douglas Galton, Lodge fue nombrado secretario del Comité de la asociación para el Establecimiento de un Laboratorio Nacional de Física.³⁵ Aparte de Lodge (191b), FitzGerald (1896, pág. 383) también había enfatizado la importancia de la ciencia en el desarrollo industrial. Al principio los Maxwellianos estaba nerviosos con Preece, que continuamente daba publicidad a Marconi como “el inventor de la telegrafía inalámbrica” y que, en su capacidad como Jefe Electricista de la Oficina Postal, ignoraba la importancia de la investigación científica.

Al principio, su actitud hacia Marconi no fue muy hostil. En Marzo de 1897, en una carta a Silvanus Thompson, Oliver Lodge expresó sus esperanzas que “M[arconi] mejorase todas las cosas y lo llegara a comercializar”. Lodge pensaba que “hay que perfeccionar muchos detalles antes de poderlo hacer.”¹⁶ Pero las cosas se movían con rapidez. Alguien había acuñado y dado publicidad al término “ondas de Marconi”, y Marconi lo aprobó. En una entrevista en el *McClures Magazine*, Marconi observó que la onda de su antena vertical no era la misma que la onda de Hertz. Enfatizó que su onda podía penetrar en casi todo.³⁷ Este extraño comentario fue acompañado por su espléndido éxito práctico. En Marzo de 1897, Marconi consiguió transmitir a 4 millas; en Mayo transmitió a 8 millas a través del canal de Bristol. Brotaron los reporteros populares, y voló alto el interés público por la telegrafía inalámbrica.

Con su “caja secreta” y su antena vertical, Marconi sacó a las ondas Hertzianas de los laboratorios científicos. Al principio, como suele ser el caso, los científicos no fueron muy efectivos fuera de sus laboratorios. Nadie podía adivinar exactamente en que consistía la “caja secreta” de Marconi. Nadie podía explicar por qué Marconi podía comunicar a través de los edificios e incluso las altas colinas. Lo más importante, no se sabía por qué Marconi podía enviar mensajes a varias millas donde todos los demás habían fallado.³⁸ Las ideas de las autoridades científicas sobre las ondas Hertzianas no se podían mantener. El éxito práctico de Marconi y el reconocimiento público le estableció como la nueva autoridad. Un editorial del *The Electrician* le llamaba “Profesor Marconi”, Tesla, y Edison se habían convertido en autoridades sobre ciencia eléctrica al público británico, suplantando a Lord Kelvin, George Stokes y Hermann von Helmholtz.³⁹ Aunque la telegrafía inalámbrica práctica de Marconi también podía ser vista por el público como un buen ejemplo del poder de la ciencia pura, se estaba librando una sutil batalla subterránea entre la teoría y la práctica. Como se quejó Lodge (1897, pág. 91), “el público se ha educado más con una “caja secreta” que con muchos volúmenes de *Philosophical Transactions* y las Actas de la Sociedad de Física.

El 4 de junio de 1897, Preece dio una lectura sobre “Señalización a través del espacio sin hilos.” Esta fue la primera de las Lecturas del Viernes de la Royal Institution dedicada al tema de la telegrafía inalámbrica. Al tener noticias de ello, Lodge envió a Preece una copia de su Lectura del Memorial de Hertz de 1894 para “recordarle” que Lodge ya había trabajado previamente en el mismo tema.⁴⁰

En la lectura de 1897, Preece ignoró a Lodge, comparó a Marconi con Colón, y aplaudió el logro de Marconi como “un nuevo sistema de telegrafía” (1897, pág. 476):

Se ha dicho que el Sr. Marconi no ha hecho nada nuevo. No ha descubierto ningún rayo nuevo: su transmisor es relativamente viejo: su receptor se basa en el cohesor de Branly. Colón no inventó el huevo, pero mostró cómo se podía sostener en pie sobre un extremo, y Marconi ha producido con medios conocidos un nuevo ojo eléctrico más delicado que cualquier otro instrumento eléctrico conocido, y un nuevo sistema de telegrafía que llegará a lugares hasta ahora inaccesibles.

De la lectura de Lodge de 1894, Preece citó el comentario de Lodge que “media milla estaba cerca del límite de sensibilidad”, después declaró orgulloso que “media milla era el sueño más loco”. Al hacerlo, Preece ridiculizó una predicción teórica temeraria y “se marcó un tanto efectivo”.⁴¹

La lectura fue un golpe no sólo a Lodge sino también a la mayoría de Maxwellianos que habían enfrentado a Preece en controversias varios años antes. “Preece”, escribió indignado FitzGerald a Lodge, “se está burlando fuerte y claramente de los científicos y merece una severa reprimenda.”⁴² Lodge estaba preocupado con su crédito como mediador entre la investigación científica pura y la telegrafía inalámbrica comercial. En una carta al *Times*, Lodge explicó que la predicción de media milla era “científica, relacionada con los primeros y pequeños aparatos.” Enfatizó que había tenido el mismo plan de señalización en 1894.” Lodge enfatizó también que Rayleigh y el propio Lodge habían usado el mismo tipo de cohesor que empleaba Marconi.⁴³ Aquí Lodge estaba intentando aplicar dos estrategias diferentes pero relacionadas. La primera era enfatizar la similitud esencial de sus experimentos de 1894 con la telegrafía de Marconi. Como Lodge recordó a Thomson, “teníamos el golpeador automático en Oxford en 1894;... realmente tenía el golpeador trabajando como relé con el cohesor; de hecho, todo igual excepto el cohesor de vacío que es mejor.”⁴⁴ La segunda estrategia de Lodge era encontrar la conexión entre los esfuerzos de los científicos británicos y la telegrafía inalámbrica de Marconi. Ninguna de estas dos estrategias era fácil. Las lecturas de Lodge en 1894 no eran sobre telegrafía en absoluto, y las relaciones entre los científicos británicos y Marconi eran demasiado tenues. Lodge pareció excitarse al escuchar que Frederick Trouton, ayudante de FitzGerald, había asesorado a Marconi en 1893 o 1894 por medio de un amigo de Marconi. Pero el consejo de Trouton no era ni científico ni técnico.⁴⁵ De todos modos, estos esfuerzos dejaron de tener sentido tras aceptarse la patente de Marconi. El impacto de la patente de Marconi fue mucho más profundo que su éxito práctico.

Patente de Marconi “para todo”

El 16 de Junio de 1897, unas 2 semanas después de la lectura de Preece ante la Royal Institution y 2 meses antes de la aceptación final de la patente de Marconi, se hizo una interesante demostración una tarde en la Royal Institution. En el hall de entrada, Preece y Marconi demostraron la telegrafía inalámbrica con su método receptivo de “Señalización a través del espacio sin hilos”; en el segundo piso, Alexander Muirhead demostró lo mismo “como había hecho el Dr. Oliver Lodge en 1894”. Muirhead usó un tubo de Branly y un impresor Morse; Preece y Marconi usaron un resonador Morse. Las distancias entre los transmisores y los receptores eran unos 100 pies. Según *The Electrician*, el “sistema de Lodge trabajaba muy satisfactoriamente”, y las marcas de las señales en la cinta eran indudablemente muy claras y legibles.”⁴⁶

De la breve descripción en *The Electrician* es evidente que Alexander Muirhead había comenzado a colaborar con Oliver Lodge, iniciando la competición entre los métodos de Marconi y Lodge. Un mes antes, Lodge había rellenado una patente sobre “Perfeccionamientos en la telegrafía sin hilos sintonizada.” Como indica el título, el principio de la sintonía (es decir, la sintonía variando la inductancia del transmisor y el receptor) era el punto central de la patente. La patente de Lodge ahora es famosa por ser la primera patente sobre la sintonía, pero su especificación provisional también reclamaba que Lodge había perfeccionado el tubo cohesor de limaduras de Branly y su uso como detector. Lodge también reclamaba su dispositivo de

golpeo. Como hemos visto, Lodge había empleado todos estos dispositivos en sus lecturas de 1894. La patente cubría el sistema de Lodge de telegrafía inalámbrica, que había evolucionado de la primera investigación sobre la sintonía y de sus demostraciones en 1894.⁴⁷

Marconi había rellenado su especificación provisional el 2 de Junio de 1896, un año antes de que Lodge rellenara su patente. No hay duda que la patente de Marconi fue la primera patente sobre telegrafía por ondas Hertzianas, pero hay muchas dudas sobre la eficacia de la patente. Para que continuara comercialmente el éxito de Marconi, la patente tenía que ser lo bastante fuerte para vencer la subsiguiente litigación. Pero su especificación provisional muestra claramente la inmadurez del “Marconismo”. Por ejemplo, la declaración “cuando se transmite a través de la tierra o el agua conecto un extremo del tubo o contacto a la tierra y el otro a los conductores” ilustra la primera convicción de Marconi que las ondas de una antena vertical eran diferentes de las ondas Hertzianas.⁴⁸ Además, del golpeador automático Marconi de su propio diseño, operado por la corriente del relé, se describe punto por punto un vibrador independiente con mecanismo de relojería, del tipo de Lodge, que evidentemente debilitaba la originalidad de Marconi. Si Marconi hubiera cometido el mismo error en la especificación completa, hubiera invalidado su propia patente.

Los científicos e ingenieros británicos pensaban generalmente que Marconi podía patentar perfectamente dos cosas: un golpeador activado por la corriente del relé⁴⁹ y una antena (es decir, la conexión a la antena y a tierra del transmisor y del cohesor).⁵⁰ Excepto estas dos cosas, el tema era extremadamente incierto. Su transmisor era del tipo Righi, su detector era un perfeccionamiento del cohesor de tubo de limaduras de Branly, y su relé e impresor eran dispositivos telegráficos ordinarios. El cohesor era el más problemático de estos artefactos. Incluso pensando que la práctica británica era conceder la patente sobre una invención al individuo que la había aplicado por primera vez en lugar de a la persona que la había inventado primero o publicado, se creía generalmente que la reclamación de Marconi sobre el cohesor debía ser modesta, restringiendo su reclamación al perfeccionamiento de su sensibilidad.

Incluso la opinión de los expertos era incierta, como es evidente como indica FitzGerald:

Trouton estaba lo suficiente impresionado con el valor [de la caja secreta de Marconi] para aventurar algún dinero en la empresa. El cómo funcionan realmente las cosas es mucho más dudoso debido a la validez de las patentes y ha rehusado poner más dinero en ello. Todo es una cuestión de derechos de patente y puede depender de una cuestión como el mercurio [en el cohesor] que es importante para que la cosa funcione con precisión y que un martillo accionado por el relé es importante por sí mismo y así todo. Si estas cosas son valiosas y patentables, puede considerarse la patente de una importancia considerable. El tubo de Branly, el emisor de Righi etc. son realmente impatentables, pero hay tantas cosas para hacer que funcione la invención de Marconi que la patente puede ser valiosa.⁵¹

Sin embargo, la conclusión de FitzGerald fue optimista:

En lo que puede juzgar de lo que me han contado sólo hay detalles que son patentables y su valor no está probado.

The Electrician predijo que la patente de Marconi no sería una patente principal, ya que por ahora los principios generales en que se basan los aparatos ni los propios aparatos son nuevos.⁵² Y había otro factor que contribuía a este optimismo. Como Marconi no era un hombre de ciencia, probablemente cometería un error al describir el principio de la telegrafía inalámbrica (como había hecho en su especificación provisional). Si este era el caso, la patente no sería válida. Como poco, dejaría sitio para otra patente.

La especificación completa de la patente de Marconi se rellenó el 2 de Marzo de 1897. Como comenta Hugo Aitken (1976, pág. 204), era de un “tipo completamente diferente al documento.” Entre la especificación provisional y la completa, Marconi había asegurado la asistencia crucial de J. Fletcher Moulton, realmente el experto en patentes más famoso de Gran Bretaña.⁵³ La ayuda de Moulton sorprendió a los Maxwellianos. Silvanus Thompson, con mucha sorpresa, escribió a Lodge el 30 de Junio de 1897: “He sabido que se ha llamado a Moulton para aconsejar a Marconi con la reclamación de la especificación final de su patente,... y le ha aconsejado que reclame *todo*. He sabido que se ha redactado la reclamación, reclaman, *para telegrafiar*, no sólo los cohesores, osciladores, etc. y detalles similares, sino ¡incluso las ondas de Hertz!... No hay nada nuevo excepto las ondas de Hertz, el oscilador y el cohesor, y

esto no está patentado ni es patentable.”⁵⁴ Provisionalmente entre la presentación de la patente (2 de Marzo de 1897) y la aceptación (2 de Julio) de su especificación completa, Marconi formó una compañía privada para explotar su patente.⁵⁵



Figura 2.4

Marconi hacia 1900 con su “caja secreta” abierta (cortesía de los Archivos de la Compañía Marconi, Chelmsford).

Una vez se publicó el contenido de la patente de Marconi, finalmente se abrió la “caja secreta”. (Ver figura 2.4). En la patente, Marconi detallaba sus invenciones e incluía 19 reclamaciones. Para sorpresa de todos, la mayoría de estas reclamaciones se relacionaban con los cohesores y los diversos modos de conectarlos, así como la conexión a tierra. Las reclamaciones no se limitaban a su perfeccionamiento; se extendían al propio cohesor. Había reclamaciones en las esferas de los transmisores del tipo Righi, en el relé, en un golpeador del tipo de martillo, e incluso en una bobina de inducción perfeccionada y en una antena (una placa condensador elevada, no de un hilo vertical).⁵⁶ Además, la complicada expresión “a través de la tierra y el agua” se sustituyó por una expresión más refinada: “cuando los obstáculos, como casas, colinas o montañas, intervienen entre el transmisor y el receptor.”⁵⁷ FitzGerald observó que Moulton había “redactado la patente [de Marconi] demasiado ambigua para comprometerse con cualquier teoría particular de cómo se hacía.” Incluso el crítico *Electrician* alabó la especificación como “un modelo de perspicacia.”⁵⁸

¿Cómo podía Marconi, un joven modesto, atreverse a reclamar todo sobre las ondas Hertzianas? ¿Cómo podía reclamar originalidad respecto al tubo de Branly (que había sido usado y perfeccionado por Lodge) y el transmisor del tipo de esfera de Righi?⁵⁹ Tan pronto se aceptó la patente de amplio rango de Marconi, Lodge tuvo que retirar sus reclamaciones sobre el cohesor y el dispositivo de golpeo en su especificación completa (rellenada en 1898). Sólo se le dejó reclamar a Lodge el principio de la sintonía.

Lodge debió sentir una inmensa frustración, exacerbada por un elemento de nacionalismo. Marconi era italiano. El “éter” había sido descubierto por grandes científicos británicos (Faraday, Kelvin, Maxwell). Los Maxwellianos, herederos de estos científicos, habían perdido la prioridad del descubrimiento de las ondas electromagnéticas a un alemán, Heinrich Hertz. Las ondas electromagnéticas de Maxwell se les llamaron ondas de Hertz. Lodge intentó cambiar su nombre a “ondas Maxwellianas” en Oxford, pero no prevaleció ante la fuerte objeción de otro científico alemán, Ludwig Boltzmann.⁶⁰ Marconi había abierto la posibilidad del uso comercial del éter, y su extensa patente lo empeoraba. Además, estaba claro que la telegrafía inalámbrica podía tener uso naval y militar. Si no se cambiaba su patente, Marconi podría monopolizar no tan sólo las ondas Hertzianas sino también importantes intereses nacionales británicos. Lodge marcó el camino: “Nuestros viejos amigos las ondas de Hertz y los cohesores han entrado en su

etapa de notoriedad, y se han convertido en asuntos de importancia nacional y casi internacional.” No fue accidente que, después de la patente de Marconi, muchos científicos e ingenieros británicos, incluyendo a J. J. Thomson, George Minchin, Rollo Appleyard y Campbell Swinton, se unieran a Lodge para desprestigiar la originalidad de Marconi (Pocock 1988, pág. 103–105; Lodge 1897, pág. 91).

Como informó Silvanus Thompson en 1899, las patentes “evidentemente fueron bosquejadas [por Marconi y Moulton] lo más ampliamente posible para cubrir todas las extensiones posibles para la telegrafía, explosión de minas, y similares, que, además, es le dio publicidad relacionando a Marconi desde el principio... No son patentes para telegrafía, sino para la transmisión con ondas Hertzianas de señales o impulsos de cualquier tipo... En este sentido aparte de toda cuestión Lodge había usado las ondas de Hertz para ‘telegrafiar’ en 1894.”⁶¹ Para Lodge y Thompson, era Marconi, con su maravillosa y amplia reclamación, el que violaba “las reglas del juego.” Por tanto, ellos no tenían que seguir las reglas.

Forjando la prioridad de Lodge

La primera evidencia que usaron los que apoyaban a Lodge fue un artículo del *The Electrician* titulado “Aparatos del Dr. Oliver Lodge para la telegrafía inalámbrica.” El artículo se publicó intencionadamente punto por punto con la patente de Marconi como el “mejor antídoto del Marconismo.”⁶² Sin embargo, de hecho no se mencionaba la prueba telegráfica de Lodge. Lo que decía el artículo era que “Lodge había descrito y exhibido públicamente en funcionamiento una combinación de aparatos emisores y receptores que constituían un sistema de telegrafía sustancialmente el mismo que se reclamaba [en la patente de Marconi]”, y que “el Dr. Lodge publicó lo suficiente hace unos tres años para permitir al ‘práctico’ de mentalidad más simple componer un sistema de telegrafía práctica.”⁶³ Esto seguía exactamente las dos estrategias de Lodge, a saber, identificar los principios de sus experimentos en 1894 con los de Marconi en telegrafía inalámbrica y apuntar la posible influencia de Lodge sobre Marconi.

La posición de Marconi estaba muy reforzada por su dominante primera patente, aceptada en 1897. En 1898, se estableció firmemente la genealogía “Maxwell–Hertz–Marconi” en la telegrafía inalámbrica. Lodge y Thompson intentaron todos los medios posibles para refutar a Marconi. Para debilitar la patente de Marconi, anunciaron que, debido al uso de hilos en la bobina de inducción y otros dispositivos, “esta cosa no es telegrafía inalámbrica.” Dieron publicidad a los éxitos de otros científicos, particularmente Adolf Slaby (S. P. Thompson 1898; [Lodge] 1898). Pero, más importante para la discusión presente, presentaron los experimentos de Lodge en 1894 de tal modo que estos experimentos comenzaron a interpretarse como de naturaleza telegráfica. Esto comenzó con la siguiente reclamación (S. P. Thompson 1898, pág. 458):

En varias ocasiones, y notablemente en Oxford en 1894, [Lodge] mostró como se podían usar los cohesores para transmitir señales telegráficas a distancia. Demostró que podían funcionar a través de paredes sólidas. La mayor distancia de Lodge en aquel tiempo no superó las 100 o 150 yardas. De esta forma se comunicó entre el Museum Universitario y el edificio adyacente del Laboratorio Clarendon.

En 1900, Lodge admitió que “[Lodge] él mismo no buscaba la aplicación telegráfica, ya que no sabía que había demanda alguna por este tipo de telegrafía.”⁶⁴ En la tercera edición de su libro *Señalización a través del espacio sin hilos*,⁶⁵ los recuerdos de Lodge fueron esencialmente los mismos: “... en lo que respecta al presente autor no se dio cuenta que habría ventaja alguna en particular en esta telegrafía a través del espacio con dificultades... En esta no percepción de usos prácticos de la telegrafía inalámbrica se erró sin duda alguna.” (Lodge 1900, pág. 45)

Lodge estaba desarrollando un sistema alternativo de telegrafía por inducción o magnética para competir con el de Marconi, y en 1898 se alió con Preece (que se sintió traicionado en 1897 cuando Marconi formó una compañía privada).⁶⁶ En 1901, Lodge, entonces Principal de la Universidad de Birmingham, lanzó el Lodge–Muirhead Syndicate.

El sistema alternativo de Lodge parecía tener un futuro brillante. La Compañía Marconi intentó firmar un contrato con la Royal Navy, con Lloyd’s de Londres, y con la Oficina Postal,

pero encontró una serie de obstáculos. La Oficina Postal había planeado presentar una denuncia contra la compañía de Marconi en 1899 y preguntó a Lodge y Thompson por sus opiniones expertas de la patente de Marconi de 1896.⁶⁷ (Debido a que Preece era escéptico con el litigio, finalmente se desestimó). En 1900, la Royal Navy, que había sospechado de la conexión de Marconi con la Marina Italiana, preparó más litigios y se les entregó el informe de Lodge y Thompson para la Oficina Postal. Este litigio finalmente fue abandonado después que el capitán Henry Jackson aconsejara al Almirantazgo que no continuara.⁶⁸ Lloyd's, en vez de firmar el contrato con Marconi intentó desarrollar su propio sistema. Marconi estaba tambaleando.

El año 1901 fue muy feliz para Marconi. Lodge abandonó la telegrafía de inducción. La Royal Navy y Lloyd's contrató con la Compañía Marconi el uso del sistema de Marconi. En Diciembre, Marconi transmitió con éxito la señal "SSS" 1800 millas a través del Atlántico.⁶⁹ Después de esto, el éxito de Marconi fue demasiado obvio para cambiarlo. Lodge y Thompson perdieron su oportunidad. Además, Fleming, (amigo de Lodge y profesor de ingeniería eléctrica en el University College de Londres) se convirtió en asesor científico de la Compañía Marconi en 1899, y FitzGerald murió en 1901. El campo Maxwelliano estaba roto. La situación se hizo cada vez más insoportable para Lodge y Thompson.

En Abril de 1902, antes incluso, la sensación que creó el primer éxito trasatlántico de Marconi se había disipado, Thompson revivió la invención de la telegrafía inalámbrica atacando a Marconi en el *Saturday Review*. Razonó que "el Signor Marconi no era el inventor, sino el diestro explotador, de la telegrafía sin hilos," y que "el inventor original de la telegrafía inalámbrica era el profesor Oliver Lodge" (S. P. Thompson 1902a, pág. 424). Como evidencia Thompson no ofrecía nada nuevo, sólo que Lodge había usado un oscilador de esfera, un cohesor, un relé y un goleador automático en 1894 y había enviado "una señal al instrumento telegráfico." La motivación de Thompson para atacar a Marconi tampoco era original; estaba convencido que Marconi, conciente o inconscientemente había devaluado los anteriores méritos científicos violando las reglas del juego en 1896-97, y que su éxito se había basado en esta violación.

Lodge escribió a Thompson apreciando el "modo en que se refiere a mis reclamaciones o derechos en el tema." "La opinión de uno que está muy bien informado en temas históricos," añadió, "debe tener un peso considerable."⁷⁰

En su réplica, Marconi (1902e) enfatizó su prioridad en las patentes y la novedad de su antena y en el diseño de su golpeador. Thompson (1902b), en su réplica, criticó nuevamente a Marconi:

El tema no se apoya en ninguna afirmación mía (ya que hay muchas personas que viven y presenciaron esto) que en 1894 el Principal Lodge publicó la transmisión de señales de un edificio a otro, a través de varias paredes, sin hilos de conexión, por medio de ondas Hertzianas que se recibieron perfectamente claras en un instrumento telegráfico al que se enviaron estas ondas por medio de un "cohesor" golpeado automáticamente. Si esto no es telegrafía inalámbrica, entonces el término no tiene significado.

Marconi, que no tenía habilidad para debatir y no estaba en Gran Bretaña en 1894, no respondió.

En 1906 –el año del Segundo Congreso Internacional de Telegrafía Inalámbrica– Thompson reiteró sus reclamaciones sobre la prioridad de Lodge, pero en ese tiempo Fleming refutó la reclamación de Thompson:

Cuando se afirma que Lodge envió "señales" con ondas eléctricas en 1894, lo que significa es que creó una chispa oscilante en una habitación o edificio que afectó a un cohesor y movió así la aguja de un galvanómetro en una habitación adyacente, y mostró estos experimentos en la Royal Institution en Junio de 1894, y en la Asociación Británica en Oxford, el mismo año. Pero en su lectura y en la reimpresión de esta no hay ni la más mínima traza de cualquier sugerencia para aplicarlo a la telegrafía.⁷¹

En un artículo ampliamente leído ("Wireless Telegraphy) en 1911 en la *Enciclopedia Británica*, Fleming refutó nuevamente el argumento que Lodge había demostrado la telegrafía inalámbrica en 1894. Sin embargo, los esfuerzos de Thompson y Lodge dieron algunos frutos en 1911: la patente de la sintonía de Lodge de 1897 se extendió 7 años más, a pesar de una

petición de la compañía Marconi. Esta extensión se debió en parte a la detallada descripción de Thompson de la telegrafía inalámbrica de Lodge de 1894 y la patente de la sintonía de Lodge de 1897 en una memoria (Thompson 1911, pág. 15–16):

En Septiembre de 1894, Lodge dio una (tercera) lectura sobre Radiación Eléctrica en la reunión de la Asociación Británica en Oxford. También la recuerdo muy bien... Se enviaron señales al teatro desde el laboratorio; y el lector apuntó que a pesar que una sola chispa en el emisor causaba que el punto de luz del galvanómetro hiciera un corto movimiento en la escala, una serie de dos o tres chispas como las que se hacen al pulsar el manipulador del emisor durante un tiempo largo hacían que el punto de luz hiciera una excursión más larga, esto se corresponde a la señalización de puntos y rayas de la telegrafía ordinaria. Esto, en lo que conozco, fue el primer ejemplo de ilustración pública de la transmisión inalámbrica de señales cortas y largas.

Animado por esta extensión, Lodge preparó un litigio de patentes contra la Compañía Marconi. Preece ayudó a cerrar el caso con la condición que la Compañía Marconi comprara la patente de la sintonía de Lodge y nombraran a Lodge como asesor científico. Lodge consiguió este nombramiento, pero nunca se solicitó su consejo. Al día siguiente de la sentencia, se disolvió el Lodge–Muirhead Syndicate (Aitken 1976, pág. 163–138). Después de eso, el nombre de Lodge no tuvo más importancia en el mundo de la telegrafía comercial.

Thompson murió en 1916. Lodge siguió con el papel de Thompson, enfatizando la naturaleza telegráfica de sus propias lecturas de 1894. Lodge recordó más tarde (1925, pág. 37–38):

Fue posible [en 1894] usarlas [experimentalmente con éxito] para, a grosso modo y de forma imperfecta *transmitir señales en código Morse*, bien con el uso directo de un galvanómetro marino Thomson o accionar a través de un relé un instrumento Morse de cinta... En Agosto de 1894, exhibí *este método de señalar* en la Asociación Británica en Oxford.

Esta reclamación era modesta, pero al año siguiente Lodge dio una descripción más detallada y audaz de su lectura en Oxford (Lodge 1926, pág. 265–266):

Se insistió en Oxford sobre la posibilidad de hacer señales con este método... El instrumento emisor era un vibrador de Hertz accionado por una bobina de inducción ordinaria puesta en acción con un manipulador Morse. El aparato estaba en otra habitación, y lo accionaba un ayudante. El aparato receptor era un tubo de limaduras en un sombrero de cobre, en circuito con una batería, accionando bien un registrador Morse de cinta, o, para una mejor demostración, un galvanómetro marino Thomson, como se usó para la telegrafía Atlántico antes de que lo sustituyera el registrador de sifón. El instrumento me fue cedido por el Dr. Alexander Muirhead, cuya firma construía habitualmente diversos instrumentos de cable... Cuando se pulsaba y mantenía el manipulador Morse en el extremo emisor, la rápida vibración de la bobina mantenía la producción de ondas, y en el extremo receptor se desviaba el punto de luz y permanecía en esa posición mientras se mantenía pulsado el manipulador; pero cuando se oprimía momentáneamente el manipulador, se emitía una corta serie de ondas, y el punto de luz sufría una desviación momentánea. Estas señales cortas y largas se correspondían obviamente con los puntos y rayas del código Morse; y de esta forma fue fácil demostrar las señales de algunas letras del alfabeto, como podía leer cualquier telegrafista en la audiencia –algunos pueden recordar que se hizo así. Ciertamente fue un tipo muy infantil de radio telegrafía, pero vemos que la distancia fue relativamente inmaterial; y en Liverpool, donde yo estaba entonces trabajando, los puntos y las rayas se recibieron con facilidad a través del cuadrángulo, o a una distancia razonable.

Esto se convirtió en la descripción estándar, y ha persistido (incluso hasta el día presente). El mismo pasaje se reprodujo en la monografía de Lodge de 1931 sobre la historia de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, *Ciencia Avanzada*, y en su autobiografía de 1932, *Past Years*. En el tiempo que se publicó su autobiografía, Lodge tenía 80 años, y pocos científicos vivos podían recordar claramente lo que había hecho en 1894. El argumento de Lodge fue tomado por W. H. Eccles, un ingeniero de radio británico, y el diagrama incorrecto del detector de Lodge de 1894 describía a un cohesor, un relé telegráfico, un martillo golpeador y un impresor Morse –nada de lo cual, excepto el cohesor había sido empleado por Lodge– apareció en el libro popular *Wireless* (Eccles 1933, pág. 54).⁷² El diagrama de Eccles fue observado por Fleming, que estaba preparando una lectura sobre la vida de Marconi y su obra.

Fleming escribió a Lodge para confirmar el diagrama, y este fue el inicio de la historia presentada en este capítulo.

En este capítulo he diseccionado la enmarañada disputa de prioridad entre Lodge y Marconi para mostrar como y en qué contextos sus amigos y él mismo prepararon la prioridad de Lodge durante varias décadas. El punto crucial es –si puede considerarse la demostración de Lodge en Oxford en 1894 como telegrafía inalámbrica– gira, en un alto grado, de la definición de telegrafía inalámbrica; sin embargo, en base a las diversas piezas de evidencias textuales, la afirmación que Lodge transmitió y recibió señales alfabéticas no parece ser cierta. Por el contrario, la reclamación fue forjada después de 1897 como un “antídoto al Marconismo.”

La publicación de la fuerte patente de Marconi en 1897 disparó una batalla de propiedad. Sin embargo, esto por sí solo no explica los eventos que siguieron. La empresa de Lodge considerando la prioridad fue su reputación científica como mediador entre la física experimental de Hertz y la telegrafía comercial. Marconi no sólo patentó un dispositivo; también negó audazmente el crédito que buscaba Lodge. Marconi nunca admitió que Lodge o ningún otro físico hubiera influido en su obra. Otro factor fue el contraataque de Preece. Preece reclamó públicamente que la invención de Marconi fue el resultado de los esfuerzos de un práctico. Esto llevó a todos (excepto Marconi, que no sabía lo que estaba diciendo Preece) de nuevo a la “práctica versus teoría”, una disputa de años atrás. Esta secuencia completa de eventos derrotó a Lodge y otros Maxwellianos, en particular porque ellos no trataban de mostrar el significado de la investigación pura para la tecnología y la industria mientras buscaban el apoyo gubernamental para el establecimiento del Laboratorio Nacional de Física.

La “caja secreta” de Marconi amenazaba la hegemonía de los Maxwellianos en la teoría y práctica eléctrica. Los Maxwellianos, que siempre estuvieron orgullosos de ser los herederos de James Clerk Maxwell, una secuencia genealógica de Maxwell hasta Hertz y Marconi era inaceptable. La patente de Marconi sobre “todo” monopolizaba no sólo el éter sino también el uso del cohesor, que había sido inventado y desarrollado por los científicos. Nacionalismo y patriotismo, que habían estado operando sutilmente desde el principio, salieron a la superficie en este punto. Los Maxwellianos británicos pensaban que nadie debía poner manos de Marconi un monopolio del éter, que había violado las reglas del juego. Marconi no era el inventor sino un “explotador” de la telegrafía inalámbrica. Fueron estos complicados contextos los que llevaron a la re-caracterización de la demostración de Lodge en Oxford en 1894 como la primera demostración de telegrafía inalámbrica. Desde entonces se ha contado y recountado muchas veces esta historia.

3

Trasplantando la tecnología de potencia en la telegrafía inalámbrica: Marconi y Fleming en las señales trasatlánticas

Si vamos a cruzar el Atlántico, el mayor crédito es y debe ser siempre del Sr. Marconi.

–Mayor Flood-Page a J. A. Fleming, 1 de Diciembre 1900 (MS Add 122/47, Fleming Collection, University College Londres)

El 12 y 13 de Diciembre de 1901, en San Juan de Terranova, Marconi recibió mensajes enviados a través del Atlántico desde Poldhu, Inglaterra, a cerca de 2000 millas de distancia. Anunció su éxito el 14 de Diciembre. A pesar del inicial escepticismo por parte de algunos eminentes científicos e ingenieros, el anuncio de Marconi fue bienvenido y rápidamente aceptado por el público. Sin embargo, cualquier ingeniero que haya tenido la suerte de ver el informe del éxito de Marconi en el diario americano *Electrical World* (21 de Diciembre de 1901) se habría quedado perplejo, debido a la imagen del “aparato estándar Marconi” que se mostraba en la mesa de aparatos telegráficos de Marconi, que previamente no había conseguido transmitir a más de 200 millas¹ Como comentaba el editor del diario, se había esperado que los obstáculos de la transmisión a larga distancia se “irían venciendo más gradualmente.”² Ahora, gracias a los estudios de Marconi, podemos entender cómo planeó deliberadamente todo el proyecto Marconi, y lo aventurado que fue en medio de muchas dificultades, venciendo varios obstáculos –naturales y tecnológicos– con su infatigable compromiso con este proyecto.³ Pero, en un sentido, todavía no tenemos respuesta a este rompecabezas relacionado con los aparatos de Marconi. Entre 1895 y 1901, Marconi había transformado ciertamente la telegrafía inalámbrica de un inestable experimento de laboratorio en una tecnología de comunicación viable comercialmente. Y su mesa con los aparatos telegráficos permaneció esencialmente sin cambios en todo este periodo. Se usaba invariablemente una bobina de inducción de 10 pulgadas, un interruptor de vibrador, botellas de Leyden, baterías químicas y un manipulador telegráfico.

En este capítulo, iluminaré el papel de John Ambrose Fleming, asesor científico de Marconi, ayudándole a conseguir la rápida transformación de un simple dispositivo telegráfico en un potente sistema con un alternador de 25 kilovatios, transformadores de 20.000 voltios y condensadores de alta tensión. Pretendo corregir y reconstruir la historia del primer experimento trasatlántico en base a un detallado análisis del libro de notas de Fleming no publicado y otras fuentes manuscritas no citadas hasta ahora en la literatura histórica.⁴ Después de estudiar una serie de eventos que llevaron a Marconi a tomar la decisión de hacer un experimento trasatlántico en Junio de 1900, analizaré los experimentos de laboratorio de Fleming para “injetar” la ingeniería de potencia en la telegrafía inalámbrica entre Julio y Diciembre de 1900 –experimentos por medio de los cuales Fleming aumentó su credibilidad en la Compañía Marconi. Combinar la ingeniería de potencia con la telegrafía inalámbrica no fue suave ni en línea recta. Los experimentos de campo de Fleming entre Enero y Septiembre de 1901 fueron esenciales para el éxito del proyecto. Sin embargo, la intervención de Marconi en el verano de 1901 también fue crucial.

Por medio de un detallado examen del trabajo de Fleming y Marconi, también compararé dos estilos diferentes de ingeniería. Fleming, cuya base educacional se basaba en los experimentos de física en Cambridge, basó su acercamiento en la ingeniería científica –es decir, en experimentos de laboratorio, mediciones precisas y consideraciones matemáticas. El trabajo de Marconi se derivó de un viejo estilo que involucraba los experimentos de campo, trasteo artesanalmente, y en un conocimiento intuitivo de los efectos tecnológicos.⁵ Fleming era un experto entrenado en ingeniería de potencia; Marconi había conseguido su propia experiencia en la nueva área de tecnología de las antenas. Fleming era un profesor universitario y un ingeniero consultor; Marconi era un “práctico” y un ingeniero emprendedor. Sus estilos podían ser complementarios y creativos, pero en ocasiones fueron competitivos e incluso antagónicos. Se enfrentaron durante sus experimentos en Poldhu, incluso pensando que tenían la misma meta.

Mostraré como la tensión entre los dos hombres se revela parcialmente en cómo se asignó el crédito por el éxito del proyecto.

Marconi y Fleming

Cuando Marconi hizo la primera demostración de lo práctico de su telegrafía inalámbrica ante los oficiales de la Oficina Postal Británica, en Julio de 1896, la distancia de transmisión sólo fue de 300 yardas. En su demostración, ampliamente publicitada, en Salisbury Plain en Septiembre, consiguió una milla y tres cuartos usando reflectores parabólicos en el transmisor y el receptor. Ni el transmisor ni el receptor estaban conectados a tierra. Con placas de condensador elevadas (a 9 pies de altura) conectadas a un transmisor y con el receptor conectado a tierra, sólo se consiguió un tercio de milla. Un oficial de la Oficina Postal sugirió un mástil elevado (50 pies),⁶⁰ y con esta segunda prueba en Salisbury Plain, en Marzo de 1897, Marconi alcanzó 4 millas.

Durante esta primera demostración, Marconi encontró que eran innecesarias las placas de condensador grandes y elevadas, y el condensador esférico en la parte superior de un mástil. Un hilo largo vertical era suficiente para la transmisión a larga distancia.⁷ Después se aumentó la altura de la antena y la potencia del transmisor. En Mayo de 1897, Marconi experimentó en el Canal de Bristol, a través del cual previamente William Preece había intentado transmitir con un dispositivo de inducción. Marconi usó una antena de 110 pies de altura con un enorme cilindro (de unos 6 ½ pies de altura y 3 pies de diámetro) en su parte superior. Se recibieron las señales a 3,3 millas y se capturaron algunas a 9 millas (Garratt 1974). En Noviembre, Marconi alcanzó 7,3 millas. Entre Mayo y Noviembre, tuvieron lugar varios hechos notables: Alcanzó 12 millas en una demostración para la Marina Italiana. Se aceptó y publicó la especificación completa de su primera patente. Tras romper su conexión con Preece y la Oficina Postal, formó la Wireless Telegraph & Signal Company para explotar su patente.

En Diciembre de 1897, se construyó la primera estación de la compañía en los terrenos del Needles Hotel en Alum Bay en la Isla de Wight. Pronto se construyó otra en Bournemouth, a 14 millas. En Abril de 1894, John Ambrose Fleming fue a Bournemouth durante unas cortas vacaciones y tuvo la suerte de visitar allí la estación de Marconi. Esta fue la primera reunión con Marconi. Marconi dio a Fleming una sorprendente demostración. Incluso 35 años más tarde, Fleming (1934, pág. 116) recordaba vividamente cómo se había sorprendido al ver un impresor Morse imprimir el mensaje (“Saludos al profesor Fleming”) que había sido transmitido a una distancia de 14 millas. Con el permiso de Marconi, Fleming inspeccionó el aparato transmisor de Marconi: un antena de 130 pies, un transmisor del tipo de bolas de Righi, y una bobina de inducción de 10 pulgadas. Después examinó el aparato receptor de Marconi: un cohesor, un relé Siemens, un golpeador automático y un impresor Morse.⁸

Antes de la aparición de la telegrafía inalámbrica práctica de Marconi en 1896, Fleming había tenido el Pender Professorship de Ingeniería Eléctrica en el University College de Londres durante 10 años. Se había interesado modestamente en las ondas Hertzianas. “Como pupilo de Maxwell”, recordó más tarde, “Si me hubiera interesado intensamente en su teoría de las ondas electromagnéticas y en la prueba experimental dada por Hertz en Alemania en 1887 de la existencia de estas ondas...; habría seguido muy de cerca las importantes investigaciones de Sir Oliver Lodge... y me habría hecho mis propios aparatos para repetir los notables experimentos de Hertz.” (Fleming 1934, pág. 115) Sin embargo, estas investigaciones no eran una parte central en sus trabajos, y apenas era una base sustancial para su última carrera como “ingeniero del éter”. En la década de 1890, Fleming estaba interesado especialmente en la ingeniería de potencia y en la física de baja temperatura.⁹

El 27 de Marzo de 1899, la primera transmisión de Marconi a través del Canal de la Mancha (entre el Faro South Foreland, cerca de Dover, y Wimereux, cerca de Boulougne, a una distancia de 30 millas) causó una gran sensación en Gran Bretaña. En uno de sus primeros mensajes que cruzaron el Canal,¹⁰ Marconi aparentemente invitó a Fleming a unirse a su campo. Desde la fundación de la Wireless Telegraph & Signal Company, en 1897, Marconi había necesitado un científico de la suficiente autoridad e influencia para lidiar con Oliver Lodge y Silvanus Thompson. En 1898 se había acercado a Lord Kelvin, que había pagado a la compañía

su primer chelín para transmitir su mensaje inalámbrico a George Stokes desde la estación de Alum Bay (un suceso que la Compañía Marconi había dado publicidad para mostrar la naturaleza “comercial” de la telegrafía inalámbrica). Pero después Kelvin, que sentía que el “éter” debía ser público, solicitó a la compañía que no aumentara el capital, la compañía debía buscar otros candidatos. Marconi se acercó a George FitzGerald, pero declinó (tal vez debido a su amistad con Lodge). Aunque menos famoso que Kelvin, se consideró a Fleming como una gran autoridad en la teoría y en la práctica. Además, era un amigo íntimo de Lodge y Thompson, y ciertamente era tan famoso como cualquiera de ellos.¹¹

Después de recibir el mensaje de Marconi, Fleming visitó Dover para inspeccionar los aparatos de Marconi con su amigo el Mayor Flood-Page, un anterior Director de la Compañía Edison-Swan. Allí se reunió con Marconi y Jameson Davis, Director Gerente de la Compañía Marconi, y presentó a Flood-Page a Marconi. Poco después de su visita, Fleming escribió una larga carta al *Times*. Después de describir brevemente el sistema de Marconi, Fleming, a diferencia de sus colegas científicos, resaltó los nuevos logros de Marconi en la telegrafía inalámbrica práctica. Fleming afirmó que Marconi había puentado “un vasto golfo que separa los experimentos de laboratorio, aunque ingeniosos, a demostraciones prácticas a gran escala,” trasladando “un método de telegrafía espacial de la región de inciertos experimentos delicados de laboratorio, y colocándolo en la misma base respecto a la fiabilidad de acción y facilidad de manipulación.”¹² La carta de Fleming al *Times* fue un golpe para Lodge, que hasta entonces había intentado reducir la credibilidad de Marconi por todos los medios posibles. Lodge escribió inmediatamente a Fleming, acusándole de hacer pública “una denuncia contra los hombres de ciencia, o la Royal Society,” a la que Fleming respondió fríamente.¹³ La carta de Fleming fue de hecho el primer reconocimiento cálido del trabajo de Marconi por un importante científico Británico.

Jameson Davis pronto ofreció a Fleming la asesoría científica en la Compañía Marconi. Fleming, que había servido durante 10 años como asesor científico a la Compañía Edison-Swan Electric Light y durante 5 años como asesor de London Electric Supply Corporation, vio en esto una posición de confianza.” Escribió para contar a Davis que esperaba fijar sus términos “en la suposición que tendría unos beneficios por mis ideas e invenciones o sugerencias. Podría hacer en sus negocios una propiedad exclusiva.”¹⁴ Con estos términos, Fleming solicitó 300 libras anuales como garantía y un “compromiso por un año fijo y renovable anualmente y finalizable por ambos lados.” La compañía aceptó estos términos, y Fleming recibió la notificación de su nombramiento como asesor científico el 9 de Mayo de 1899. En ese momento, consideró su señoría como una parte de su vida profesional. Le dijo a Davis que estaba demasiado ocupado “para prometer una atención exclusiva.”¹⁵

Durante el primer año de su asesoría, Fleming sirvió a la compañía de una variedad de formas. Primero y sobre todo, era el puente entre Marconi y la comunidad científica británica. En Septiembre de 1899, la reunión anual de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia se celebró en Dover, y se eligió a Fleming para dar una lectura en la conmemoración del centenario del descubrimiento de Volta. Durante su lectura, Fleming usó los aparatos de Marconi para enviar mensajes desde el hall de la lectura a las estaciones de Marconi en South Foreland y en Goodwin Lighthouse, que estaban separadas por 12 millas y los acantilados de Dover. También se enviaron mensajes a través del Canal entre el presidente de la Asociación Británica para el Avance de las Ciencias, Michael Foster, y el presidente de la Asociación Francesa, Paul Brouardel. El empleo de los aparatos de Marconi en esta demostración no tan sólo tenía un valor simbólico, presentó los trabajos de Marconi a la comunidad científica británica, además tuvo también un beneficio práctico, ya que se advirtió a Lodge que sólo su telegrafía por inducción magnética podía transmitir a través de los obstáculos.¹⁶

Uno de los dos proyectos de investigación en los que trabajó Fleming tenía que ver con los relés que se empleaban en los receptores. Normalmente se usaban en los receptores de Marconi los relés Siemens, construidos para la telegrafía ordinaria. Fleming quería diseñar un relé que fuera lo bastante sensible para trabajar con 0,1 miliamperios y pudiera soportar la vibración causada por el movimiento de los barcos. Tras varias pruebas en su laboratorio en el University College entre Diciembre de 1899 y Marzo de 1900, Fleming consiguió diseñar un relé que podía funcionar con 0,1 miliamperios y resistir pequeñas vibraciones.¹⁷ El segundo proyecto fue un

trabajo legal relativo con la patente de Marconi. Desde 1898, Marconi había estado trabajando para evitar las interferencias entre diferentes estaciones, y había conseguido diseñar y patentar su transmisor sintonizado (patente 7.777, concedida en 1900). La esencia de la patente “cuatro sietes” residía con la conexión de un circuito cerrado para la descarga del condensador sobre un circuito abierto de antena por medio de un transformador oscilante llamado “jigger”. (Para detalles ver el capítulo 4) Pero la patente estaba destinada a encontrarse con problemas, no sólo porque Lodge había patentado previamente la telegrafía inalámbrica sintonizada en 1897 sino también porque Ferdinand Braun de Alemania había solicitado una patente británica por un circuito con unas conexiones muy similares. Por tanto, Fleming, junto a Fletcher Moulton y el Mayor Flood-Page (que se había unido al equipo de la compañía Marconi como Director Gerente en Octubre de 1899), trazó un proyecto para reforzar la especificación completa de Marconi.¹⁸

Estos proyectos de investigación en los relés y en la patente apenas eran un reto para un científico de la habilidad de Fleming. Sin embargo, Fleming encontró rápidamente un nuevo proyecto desafiante: la telegrafía inalámbrica trasatlántica.

Construyendo una planta de ingeniería en el laboratorio

Incluso pensando que no sabía exactamente con lo que empezaba a especular Marconi sobre la “Cosa Grande” (el término de Marconi para la telegrafía inalámbrica trasatlántica), sabemos que sus conocimientos de que era tecnológicamente factible se basaban en su empírica “ley del cuadrado” (que afirmaba que la distancia de transmisión era proporcional al cuadrado de la altura de la antena) y sobre sus éxitos de 1896 en adelante, al transmitir mensajes entre estaciones cuyas líneas de visión estaban bloqueadas por colinas, acantilados o edificios, y al transmitir a suficiente distancia para que la curvatura de la tierra fuera significativa. Parecía que estos éxitos no se podían explicar con la transmisión rectilínea de las ondas eléctricas. En 1896, Marconi pensaba que sus ondas penetraban realmente en los obstáculos, pero gradualmente comenzó a considerar que la transmisión ocurría a lo largo de la superficie de la tierra. En su discurso en Marzo de 1899 a la Institución de Ingenieros Eléctricos, afirmó con precauciones que “las oscilaciones eléctricas se transmiten a la tierra por el hilo de tierra... y viajan en todas direcciones sobre la superficie de la tierra hasta que llegan al hilo de tierra del instrumento receptor” (Marconi 1899, pág. 280). La idea de Marconi de la tierra como guía onda cuadraba con la concepción de algunos Maxwellianos de la propagación guiada de las ondas electromagnéticas.¹⁹ Por ejemplo, Fleming, que entonces aún no tenía conexión alguna con Marconi en Marzo de 1899 comentó: “Yo también creo que un elemento importante en este éxito se debe a la conexión de tierra. En su sistema las esferas del chispero y el cohesor se insertan entre la tierra y los hilos largos verticales transmisor y receptor. Si la tierra actúa como un conductor perfecto tal vez pueda considerarse al sistema como un conductor donde se establecen oscilaciones eléctricas.” (Fleming 1899a.) Sin embargo, la transmisión por superficie, no garantiza automáticamente la telegrafía inalámbrica a larga distancia. Todo el asunto recaía en la potencia de la radiación y la sensibilidad de los detectores.²⁰

Alrededor de ese tiempo, emergieron varias conjeturas nuevas sobre la posibilidad de la telegrafía inalámbrica trasatlántica. El Jefe Electricista de la Compañía Marconi, James Erskine-Murray, predijo la telegrafía inalámbrica trasatlántica en una entrevista con una revista popular. Contó al periodista que, debido a la ley del cuadrado de Marconi y la naturaleza deslizante de las ondas Hertzianas, “si hubiera otra Torre Eiffel en Nueva York, sería posible enviar mensajes a París a través del éter y recibir las respuestas sin cables oceánicos” (Moffett 1899, pág. 106). El *Pall Mall Gazette* informó de un comentario similar de un amigo íntimo de Marconi. Incluso Silvanus Thompson pensaba que sería posible la comunicación mundial en un futuro próximo. Es probable que Marconi soñara con esto. Pero en ese momento Marconi negó inmediatamente “cualquier intento serio hecho para establecer la comunicación inalámbrica entre Irlanda y Nueva York.” También expresó la convicción que “sólo se podía hacer un progreso real en etapas cortas, y que estaba determinado a no emprender ningún experimento similar para desacreditar al sistema por medio de un fracaso completo o incluso parcial.”²¹

Después de convertirse en asesor científico de Marconi, la actitud de Fleming hacia las señales trasatlánticas cambió gradualmente. Un día de verano de 1899, Fleming escribió a Marconi: “No tengo la menor duda que una vez se levanten dos mástiles de 300 pies de altura y esto es sólo cuestión económica, tendremos la suficiente altura para enviar señales a América.”²² En ese tiempo, Fleming conceptualizó la transmisión por superficie de las ondas eléctricas usando la teoría del electrón de Joseph Larmor y J. J. Thomson. (Para detalles ver el Apéndice de este volumen). Marconi también se hizo más explícito sobre la posibilidad de la comunicación trasatlántica. Hizo su primera visita a los Estados Unidos entre Septiembre y Noviembre de 1899. A su regreso a Inglaterra, comenzó a considerar seriamente el experimento trasatlántico.²³ Poco después de transmitir a través del Canal de la Mancha, en Marzo de 1899, Marconi tuvo éxito al transmitir mensajes entre su factoría en Chelmsford y Wimereux, a una distancia superior a 85 millas. Sin embargo, en otoño de 1899, la Royal Navy envió y recibió mensajes entre dos barcos separados por 85 millas. A finales de 1899, Marconi no había transmitido a más de 100 millas.

Las objeciones de los directores de la compañía Marconi fueron numerosas. Los miembros de la directiva indicaron que aumentar la potencia cientos de veces, que era necesario para las señales trasatlánticas, era imposible. Arguyeron que tal experimento interferiría con todas las demás estaciones Marconi en Gran Bretaña. Finalmente, decidieron que el experimento sería más nocivo que beneficioso, ya que la compañía estaba en dificultades financieras. No se había firmado un gran contrato con la Royal Navy, con la Oficina Postal, o con Lloyd’s de Londres. Aunque las acciones de la compañía habían subido de 1 libra a 6 libras, era más bien una burbuja antes de estallar. Pero Marconi estuvo acertado al decir que, con la ayuda de Fleming, podía diseñar una estación de la suficiente potencia para transmitir a los Estados Unidos. Mostró a los miembros de la directiva los experimentos en sintonía para rebatir sus temores contra las interferencias. De hecho, Marconi concibió su experimento como una nueva estrategia corporativa. Pensaba que, si tenía éxito, podría eliminar de una vez por todas las dificultades de la compañía, no tan sólo porque la compañía podría monopolizar todas las comunicaciones barco–costa mostrando su capacidad para la comunicación a larga distancia en el Atlántico sino también porque podía competir con la telegrafía submarina de larga distancia. En Julio de 1900 la directiva asintió y comenzó el arriesgado experimento.²⁴

Toda la tarea se asignó a Fleming, que pensaba que lo primero y más importante era aumentar la potencia. La bobina de inducción de 10 pulgadas de Marconi producía de 100 a 200 vatios y a duras penas podía cubrir distancias superiores a 200 millas. (Marconi había alcanzado 185 millas a principios de 1900). Una relación del inverso del cuadrado entre la intensidad de radiación y la distancia mostró que transmitir a través del Atlántico (2000–4000 millas) podría requerir de 100 a 400 veces la energía producida por la bobina de inducción de 10 pulgadas. Incluso antes que la directiva acordara apoyar al experimento, Fleming había pensado en el problema de aumentar la potencia. Los trabajos teóricos y prácticos de Fleming en el sistema de corriente alterna de alta tensión en la década de 1890 era una buena base para el estudio de este nuevo problema. En Mayo de 1900, cuando la directiva todavía no estaba de acuerdo con Marconi sobre el experimento trasatlántico, Fleming escribió a Marconi que había tenido “algunas ideas para usar un transformador en vez de una bobina de inducción para el trabajo a larga distancia.”²⁵ Esta carta muestra que Fleming, al abandonar la bobina de inducción, había regresado a la ingeniería de potencia. En Julio, Fleming hizo una lista de cosas que necesitaba para una estación de 25 CV y pidió a la compañía 1000 libras para su adquisición:

- Un motor de petróleo de 25 H.P. [18,5 kW]
- Una dinamo de AC de 16 kW [21 CV]
- Un transformador para elevar el voltaje a 20.000 voltios
- Correas, interruptores
- Un condensador de una capacidad de 1 microfaradio
- Un motor especial de CA, un conmutador rotativo²⁶

No hay ninguna similitud entre estas cosas y los aparatos que se empleaban en la telegrafía inalámbrica ordinaria. Este fue el inicio de la transformación de Fleming de “aparatos de laboratorio en una planta de ingeniería” (Fleming 1934, pág. 118).

En Julio de 1900, se buscó el lugar adecuado para el experimento. Marconi eligió Niton, en la Isla de Wight, pero debido a que una planta de potencia podía perturbar el funcionamiento de la maquinaria en un faro cercano, Fleming urgió una localización diferente.²⁷ Se eligió a Poldhu, en la costa sur de Cornualles. Mientras Marconi y Page estaban trabajando en un contrato para unos terrenos en esa región, Fleming compró un generador de segunda mano de 25 CV Mather & Platt y un motor de 32 CV Horsby–Ackroyd. Solicitó dos transformadores Berry que podían aumentar el voltaje a 20.000 voltios a la British Electric Transformer Company. Diseñó un condensador de 0,033 microfaradios²⁸ y ordenó 36 unidades a los Sres. Nep Harvey & Peak. Las compras de tierra y materiales se hicieron sin el menor indicio de su intención real. Se tenía que mantener el más absoluto secreto hasta el éxito final. En Agosto de 1900, Richard Vyvyan, un joven ingeniero de la Compañía Marconi con conocimientos en ingeniería de potencia, se unió al equipo para ayudar a Fleming y supervisar la construcción de un edificio para el experimento. En Diciembre, con el edificio terminado, Fleming envió a Vyvyan dibujos del montaje de la maquinaria basados en una serie de experimentos que había hecho entre Septiembre y Diciembre de 1900 en el Laboratorio Pender en el University College.

Aprovechar los experimentos de laboratorio para la política de la Compañía

Antes de 1900, la antena de Marconi consistía en un dipolo vertical Hertz con la parte inferior enterrada y el chispero situado cerca de tierra. En 1900, en su patente “cuatro sietes”, Marconi separó el circuito de descarga del circuito de antena y los conectó por medio de un transformador oscilante especial, el “jigger”. En el nuevo sistema de Marconi (figura 3.1), el voltaje de la batería (a) se aumentaba con la bobina de inducción (C) y cargaba al condensador (e). La oscilación de alta frecuencia creada por la descarga del condensador a través del chispero pasaba por la bobina primaria del “jigger” (d), que inducía una oscilación similar en la bobina secundaria del “jigger” (d') y en la antena ($A-f$). Para asegurar la resonancia, se tenía que satisfacer la condición sintonica entre la inductancia y la capacitancia del circuito de descarga (el bucle que conecta e , d , y el chispero) y de la antena ($E-d'-g-A-f$). Marconi empleó también el “jigger” en el circuito receptor para conectar su antena y el cohesor. Cuando estos cuatro circuitos separados (el circuito de descarga, el circuito de antena en el transmisor, el circuito de antena y el circuito cohesor en el receptor) estaban todos sintonizados, este nuevo sistema garantizaba una sintonía práctica y también un considerable aumento en la distancia de transmisión debido a la concentración de la energía radiada en un estrecho rango de frecuencias. El principio del acoplamiento inductivo, como aparece en la patente “cuatro sietes” de Marconi, fue una parte importante para el trabajo a larga distancia de Fleming.

En el sistema de Marconi, la energía de la bobina de inducción provenía de docenas de células químicas. Fleming sustituyó estos componentes de baja potencia (baterías y bobinas de inducción) por alternadores y transformadores que podían suministrar una potencia cientos de veces superior. Este esquema que nos parece simple y directo, no lo era para los ingenieros a inicios del siglo XX. En algún momento a mediados de 1900. Marconi contó a Fleming que, según estimaba, para las señales trasatlánticas se necesitaba una chispa de 2 pulgadas con un condensador de 0,02 microfaradios. Como vemos, el compromiso de Marconi de una chispa de 2 pulgadas pesó mucho sobre Fleming. A grosso modo, una chispa de 2 pulgadas exigía más de 100.000 voltios, ya que una chispa de 1 mm se considera generalmente que corresponde a 3000–4000 voltios.²⁹ Fleming hizo algunos experimentos preliminares para encontrar que no se podía obtener tal voltaje elevado “con la acción de un solo transformador [AC].” Este era el primer problema que había que resolver. Finalmente “diseñó y patentó un *método de doble transformación*, en que se empleaba la corriente de un transformador para cargar un condensador y la descarga oscilante de este se enviaba a otro circuito que consistía en la bobina primaria de un transformador oscilante. El secundario de este transformador oscilante se conectaba a un segundo chispero, un segundo condensador y [otro] transformador oscilante, el secundario del último transformador estaba en serie con la antena.”³⁰ En este sistema de “doble transformación”, un alternador de baja frecuencia (p. ej. 50 Hz) de 20 kilovatios cargaba al primer condensador, que tenía una gran capacidad. Con la descarga de este condensador, se creaba una frecuencia media (p. ej. 10.000 Hz). Su voltaje se volvía a aumentar de nuevo con

un transformador oscilante para cargar al segundo condensador, que tenía poca capacidad. La chispa de descarga del segundo condensador creaba finalmente una alta frecuencia (p. ej. 10^6 Hz), que se radiaban al aire por medio de la antena.¹¹

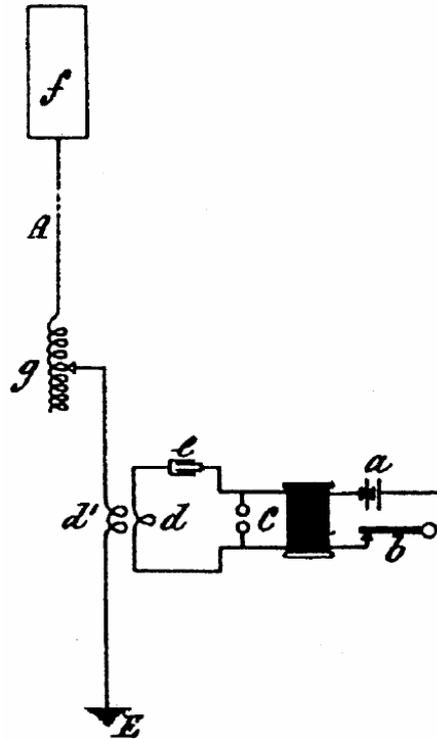


Figura 3.1

Transmisor sintonizado de Marconi ilustrado en la patente “cuatro sietes” (patente británica 7.777 1900). *e* es el condensador, *C* la bobina de inducción, *a* la batería, *b* el interruptor, *d* el primario y *d'* el secundario del “jigger”, *g* es la inductancia variable, y *A-f* la antena.

Surgió inmediatamente un problema con las señales. En su investigación sobre los transformadores Ferranti a principios de la década de 1890, Fleming había descubierto que la corriente se precipitaba hacia los transformadores cuando se conectaban y desconectaban de la alimentación, y esto causaba en ocasiones peligrosos arcos en los interruptores. En el caso de la ingeniería de potencia, el problema se resolvió sumergiendo los interruptores en aceite y abriendo y cerrando lentamente las conexiones. En el caso de la telegrafía inalámbrica, el mecanismo de manipulación creaba dos problemas diferentes. Primero, como había que pulsar rápida y repetidamente el manipulador para hacer las señales, la propia manipulación era muy peligrosa, ya que el manipulador debía abrir o cerrar 2000 voltios. Segundo, conectar el manipulador en el momento de descargar el condensador principal y desconectarlo en el momento de cargarlo hacía que el sistema fuera terriblemente ineficiente. Para la eficiencia, el condensador debía estar completamente cargado, y luego completamente descargado. Estos problemas no tenían precedentes en la ingeniería de potencia (Fleming 1934, pág. 110).³²

El primer “injerto” de Fleming de ingeniería de potencia en la telegrafía inalámbrica se ilustra en la figura 3.2. *A* es un alternador de 20 kW. T^1 es un transformador elevador 10:1, con su primario, *P*, conectado al alternador y su secundario, *Q*, al condensador *C* de gran capacidad. T^2 es un transformador oscilante de alta frecuencia diseñado por Fleming. Su primario, P^1 , conectado a *C*, tiene 100 espiras, y su secundario, Q^1 , conectado a un chispero D^1 y otro condensador C^x con una pequeña capacitancia, tiene 300–400 espiras. T^3 es el “jigger”, un transformador oscilante de alta frecuencia diseñado por Marconi. Su primario, P^2 , tiene una o pocas vueltas; su secundario, Q^2 , tiene varias vueltas. Un extremo de Q^2 se conecta a una antena, *V*, el otro a tierra.³³ El alternador tiene una frecuencia de 50 Hz y genera 2000 voltios. Estos 2000 voltios se aumentan a 20.000 voltios con T^1 . El brazo giratorio *x*, cuando gira cerca de C^1 , carga al condensador *C* a 20.000 voltios, ya que el alternador está sincronizado para

cargar C a su máximo voltaje. La capacitancia de C debe ser muy alta, ya que almacena toda la energía suministrada por el alternador. C se descarga cuando el brazo x gira cerca de C^2 . Debido a la gran capacitancia de C (0,5 microfaradios) y la gran inductancia de P^1 , se obtiene una oscilación de media frecuencia con su descarga. El voltaje de la oscilación se eleva nuevamente varias veces con T^2 ; y después carga C^x . Debido a su extremadamente alto voltaje, la energía de la oscilación de la descarga de C puede transferirse al condensador de baja capacitancia C^x . Debido a la pequeña capacitancia de C^x (0,02 microfaradios) y la pequeña inductancia de P^2 , la descarga de C^x puede crear potentes oscilaciones eléctricas de alta frecuencia. Estas oscilaciones se transfieren a la antena con el “jigger” de Marconi, T^3 .

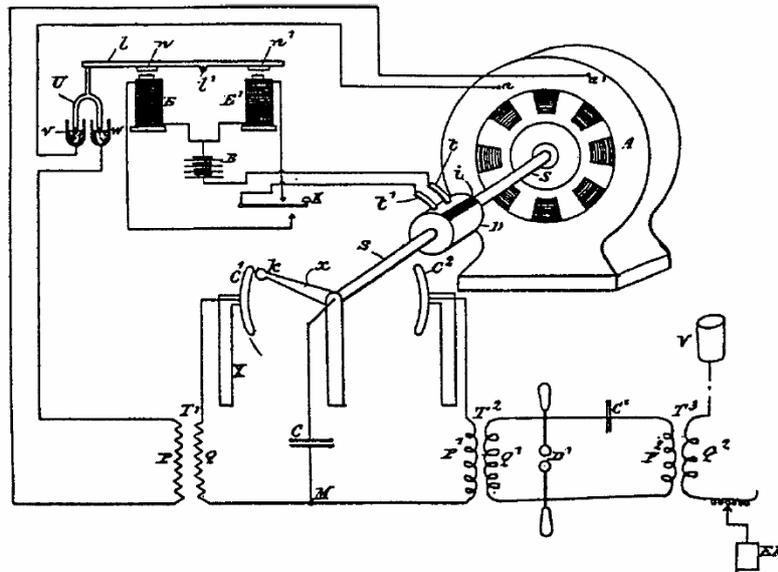


Figura 3.2

Primer “injerto” de Fleming de ingeniería de potencia en un circuito oscilante de alta frecuencia. Fuente: Fleming, patente británica 18.865 (1900).

El mecanismo de manipulación presenta un aspecto nuevo. K es un manipulador, y B es una batería para el funcionamiento de los electroimanes E y E^1 . Como muestra la figura 3.2, cuando se pulsa K , la batería B activa el electroimán E que cierra el interruptor de mercurio U ; Cuando se libera B se activa E^1 que abre el circuito primario P . El tambor D está diseñado para evitar que la manipulación interrumpa el proceso de carga y descarga de C . Es decir, el manipulador no funciona virtualmente cuando el brazo x pasa bien por C^1 o C^2 con las dos tiras aislantes opuestas i e i^1 (no dibujadas en la figura) sobre D . Los muelles t y t^1 presionan sobre D . Cuando t y t^1 están en i o i^1 , el circuito de la batería está desconectado. La palanca l está ajustada para permanecer bien arriba o abajo. Por tanto, siempre que el brazo giratorio pasa por C^1 o C^2 , no puede conectarse el manipulador si está desconectado, y no puede desconectarse si está conectado. Pulsar o liberar el manipulador no interrumpe la carga o descarga del condensador.

Debido al alto voltaje, se forma un arco casi permanente entre x y C^1 . La descarga del arco no sólo dificulta cargar plenamente al condensador C ; también deja descargarlo antes de que x alcance a C^2 . Desde Septiembre de 1900, en su laboratorio en el University College, Fleming experimentó para resolver este problema. En Noviembre descubrió un nuevo método de hacer señales “donde no se necesitaba ningún interruptor en ninguno de los circuitos”³⁴ Este método, para el que Fleming solicitó inmediatamente una patente, se ilustra en la figura 3.3. Como en la figura 3.2, A es el alternador, T es un transformador elevador 1:10, T^1 es un transformador oscilante, y T^2 es el “jigger” de Marconi. Ahora está ausente el complejo mecanismo de manipulación, el circuito primario de T siempre está cerrado. La distancia entre las dos esferas del chispero, S^1 se mantienen a 6–7 mm. J es un tubo de vidrio soplador, que pivota en J^1 , por donde sale aire a alta presión. Cuando se pone en marcha el alternador, crea un arco continuo en S^1 . Al estirar hacia abajo el muelle j^2 dirige J a S^1 , y el chorro de aire a alta presión extingue el arco. Esto carga inmediatamente al condensador C^1 que se descarga en el chispero por medio de

S^1 . Debido a la gran capacitancia de C^1 , la oscilación es de media frecuencia. Se transforma con el transformador oscilante T^1 para cargar el condensador C^2 , y el proceso que sigue a través de C^2 , S^2 , T^2 e I es el mismo que antes. Con este manipulador de chorro de aire, Fleming podía hacer señales “bien y con bastante rapidez con el mero movimiento del chorro de aire sin tocar el circuito transformador en absoluto.”³⁵ En un sentido, Fleming utilizó el arco en vez de eliminarlo; el arco se transformó en una especie de manipulador sustituto que producía señales del tren de ondas sin diferenciar.

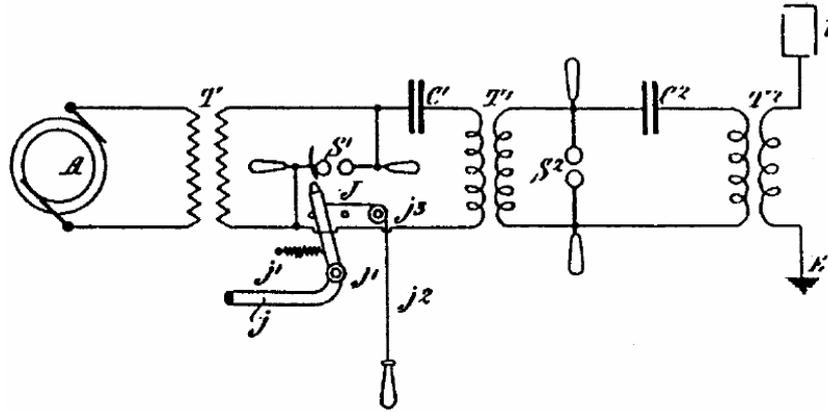


Figura 3.3

Soplador de aire de Fleming. Fuente: Fleming, patente británica 20.576 (1900)

El manipulador de chorro de aire resultó tener demasiados defectos. Aparte de la inestabilidad de la acción del aire, se necesitaba maquinaria extra para producir y mantener una alta presión. Además, estirar de la cuerda hacia abajo era diferente de pulsar un manipulador telegráfico. Combinar el chorro de aire de alta presión con una manipulación telegráfica exigía un complejo mecanismo. Estos defectos hacían que el sistema, en la práctica, fuera muy poco fiable e inconveniente. Por tanto Fleming orientó sus experimentos de laboratorio al diseño de un sistema de uso práctico. Se le ofrecían dos alternativas. Una era eliminar el chorro de aire pero mantener el mecanismo del arco; el otro era evitar el arco. Para el primero, Fleming insertó un transformador regulador reductor 10:1 en la bobina primaria y conectó dos resistencias (resistencias de agua) en serie con el circuito de bajo voltaje del transformador regulador. Descubrió que cuando se conectaban las dos resistencias la descarga en el chispero se hacía continua (es decir, la descarga de arco), pero cuando se abrían las mismas, se aumentaba la impedancia del circuito y extinguía el arco al reducir la cantidad de corriente que fluía por el transformador principal. Esta extinción del arco cargaba rápidamente el condensador, que después se descargaba en una chispa, creando potentes oscilaciones. Conectar y abrir las resistencias sería suficiente para hacer una señal.³⁶ Para la segunda alternativa, Fleming colocó condensadores auxiliares de gran capacitancia (que llamó “condensadores de apagado del arco”) en serie con el primer condensador de descarga. El condensador de apagado del arco cogía parte del voltaje aplicado, así que el condensador de apagado del arco “detiene casi por completo cualquier descarga real en arco del transformador de corriente alterna mientras permite que se cargue el condensador activo y se descargue con una descarga oscilante.”³⁷

Fleming descubrió estos métodos “simples” en el Laboratorio Pender a finales de Noviembre de 1900. Aunque todavía eran experimentales, hicieron que el proyecto fuera mucho más factible. Sin embargo, en una carta a Marconi, Fleming aludió brevemente a su importante descubrimiento; aunque no dio ningún detalle.³⁸ En una carta a Flood-Page, preguntó por una mejora en los términos de su contrato. La intención de Fleming es evidente en los dos borradores que se conservan de su carta a Flood-Page. En un borrador, después de quejarse que “en los últimos seis meses el trabajo ha sido de una proporción tal que todos mis otros trabajos de consultor (excepto la enseñanza) está siendo descuidado simplemente porque estoy abrumado todo el día con cosas que atañen a la radio,” escribió:

Apenas puedes darte una idea de la cantidad de trabajo que exige este experimento de Cornwall. Como dije el otro día estamos involucrados en un gigantesco experimento. No es un trabajo rutinario como poner en marcha una Estación de Alumbrado. Tengo que dar todos los pasos lo más lejos posible para asegurar con experimentos de laboratorio y continuar pensando en ello día y noche para tener la menor oportunidad de éxito.¹⁰

En otro borrador, que parece ser el que envió realmente a Flood-Page, fue más explícito. Después de mencionar “un experimento peligroso nuevo exige todas las precauciones posibles,” escribió:

Quiero llevar este trabajo a una escala de pago proporcional a la responsabilidad. Están ocupados en un gigantesco experimento en Cornwall que si tiene éxito podría revolucionar la telegrafía oceánica. Mi punto de vista en este caso es que si continuo el trabajo que me han pedido en el presente momento mi salario debería aumentarse a 500 libras por año, como era el caso cuando estuve ocupado por completo en London Electric Supply Corp. –y en vez de ser un mero contrato de tres meses debería tener alguna perspectiva de una recompensa razonable (con un aumento) si mi trabajo e invenciones son de ayuda material para conseguir cruzar el Atlántico.⁴⁰

Flood-Page discutió la propuesta de Fleming con Marconi. Sabiendo que la ayuda de Fleming era crucial en ese momento, acordaron presentar su propuesta a la directiva. El 1 de Diciembre de 1900, Flood-Page notificó a Fleming que los directores estaban “preparando entrar en un acuerdo con Ud. a la razón de 500 libras anuales por tres años.” Sin embargo, Flood-Page agregó una importante cualificación: “Si conseguimos cruzar el Atlántico, el principal crédito será y deberá ser siempre para el Sr. Marconi.” Sin prever lo que podría significar esto, Fleming aceptó: “Puedo dejar en confianza esto [el reconocimiento de su ayuda en la telegrafía inalámbrica trasatlántica] para que se considere cuando llegue el momento, asegurando que yo recibiría un trato generoso.” Sólo después de este acuerdo, el 5 de Diciembre, Fleming (con la Compañía Marconi Wireless Telegraph) presentó las patentes del manipulador con resistencias de agua y los condensadores de apagado del arco. Después Fleming envió “un plano” de la planta de energía a Vyvyan en Poldhu.⁴¹

Unos días más tarde, Fleming recibió una carta “privada” de Marconi:

Estimado Sr. Fleming

Quiero que sepa la cosa que tengo en mente desde hace algún tiempo. Ha estado trabajando duro ayudándome en tantas cosas para convertir en éxito la prueba de larga distancia, que quiero que sepa lo que sería un gran acuerdo para mí, he determinado en el caso que pueda cruzar la señal el Atlántico, transferirle 500 (quinientas) acciones de Marconi Wireless Telegraph Co. Ltd. Espero que acepte mi propuesta que sería independiente de cualquier cosa que decida hacer la Compañía.

Creo que las acciones serán muy valiosas si lo conseguimos.

Apresuradamente

Atentamente

(Firm.) G. Marconi⁴²

La propuesta de Marconi tranquilizó mucho a Fleming, ya que no sólo significaba una considerable compensación sino que Marconi reconocía también el valor del trabajo de Fleming. “Cuando lleguen días felices,” respondió a Marconi, “será un placer aceptar su obsequio.” Pensando que “tendremos grandes dificultades,” añadió, “mi opinión cierta es que no es imposible y revolucionará todo.”⁴³ Ese “día feliz” llegó justo un año después, pero durante ese año Fleming encontró más problemas serios.

Experimentos de campo de Fleming en Poldhu

A finales de 1900, el mástil hecho para el experimento de Dover (1899) se envió a una pequeña población conocida como Lizard, que estaba a 6 millas de Poldhu. George Kemp, que había estado trabajando en el sistema sintonizado, fue llamado para supervisar una estación experimental en Lizard para recibir los mensajes emitidos desde Poldhu así como la construcción de la antena principal de la estación de Poldhu. Poldhu estaba lejos de Londres y muy

aislada. En su diario, Kemp escribió lo siguiente de su primer viaje a Poldhu, el 8 de Enero de 1901:

Dejé Chelmsford [donde se localizaba la Compañía Marconi] a las 8.5 am para Lestón, Cornwall, me reuní con el Sr. Grooves [un empleado de la Compañía] en Exeter, y llegué a mi destino a las 7:30 pm. Fuimos en autobús al hotel “The Angel” donde nos reunimos con el Sr. R. N. Vyvyan que había traído un carruaje para llevarnos al hotel “Poldhu”, Mullion, donde cenamos a las 10:30 pm. El terreno en la vecindad del hotel estaba cubierto de nieve hasta una profundidad de 6 pulgadas.⁴⁴

Mientras Kemp estaba ocupado construyendo la estación el Lizard, Fleming fue por primera vez a Poldhu el 22 de Enero de 1901. Richard Vyvyan había construido la planta y había preparado la maquinaria de acuerdo a los planos de Fleming. Fleming probó por separado el alternador, dos transformadores de 20 kW de relación 1:10, un transformador regulador de 20 kW de relación 1:10, resistencias de agua, condensadores, chisperos, y dos transformadores oscilantes instalados en la estación. El transformador principal (primero) oscilante era diseño de Fleming; tenía una bobina primaria de 20 espiras y una bobina secundaria de 40 espiras. El segundo transformador oscilante, conectado a la antena, era un “jigger” de Marconi. El 26 de Enero, Fleming probó primero su sistema de doble transformación con un manipulador de resistencia de agua (figura 3.4). Al principio, con un voltaje de alternador de 1500 voltios, consiguió una primera chispa de 6 mm y una segunda chispa de 7 mm con el primer condensador de 0,3 microfaradios y el segundo de 0,033 microfaradios. La potencia de la chispa primaria era inferior a 0,5 kW. Después aumentó el voltaje a 1800 voltios y consiguió una primera chispa de 8–9 mm y una segunda de 11 mm. El 29 de Enero, usó dos transformadores de 1:10 para aumentar la potencia, con sus primarios en serie y sus secundarios en paralelo. Después, reduciendo el voltaje del alternador a 1200–1300 voltios, obtuvo una chispa secundaria de 19 mm.⁴⁵ Marconi también visitó Poldhu y presencié algunos de los primeros experimentos de Fleming. Fleming y Marconi se animaron mucho al ver mensajes enviados desde la Isla de Wight que venían por medio de Lizard, habiéndose transmitido a más de 180 millas.

Pero la chispa de 19 mm, aunque era mucho más potente que las chispas de las bobinas de inducción, estaba lejos de lo que deseaba Marconi: una chispa de 2 pulgadas.⁴⁶ Fleming atribuía la corta longitud de la chispa a la pérdida de energía en las resistencias de agua. Mientras experimentaba, Fleming encontró un método muy simple para usar una bobina de choque en vez de una resistencia de agua. Esto se ilustra en la figura 3.5, donde H^1 y H^2 son bobinas de choque para regular el voltaje con el manipulador K conectado en paralelo con H^1 y donde I^1 y I^2 son núcleos en forma de E que se usaban para ajustar las impedancias de las bobinas de choque. La calibración procedía de la siguiente forma: Se retira por completo I^1 de H^1 , y en esta posición, se mueve I^2 hasta que su impedancia es lo suficiente grande para impedir que la FEM de la bobina secundaria de T^1 haga saltar una chispa continua en S^1 , pero al mismo tiempo, lo suficiente para cargar por completo y descargar al condensador C con las chispas. Después, con I^2 colocada, se introduce I^1 en H^1 . Esto aumenta muchísimo la impedancia de las bobinas de choque, y la consecuencia es que C^1 deja de cargarse por completo, cesando cualquier descarga en S^1 . Al pulsar el manipulador, que cortocircuita H^1 , se reanuda la chispa de descarga. De esta forma pueden crearse y destruirse las chispas sin ningún arco. En un sentido, dos de las alternativas en el plan de Fleming de Diciembre de 1900 –utilizar un manipulador telegráfico y apagar el arco– se sintetizaban ahora. Como antes, debido a la gran capacidad de C^1 , las oscilaciones eléctricas de la primera descarga de chispa son de media frecuencia, y este voltaje se vuelve a transformar por medio de T^2 para cargar C^2 (que tiene poca capacitancia). La descarga final de C^2 a través de S^2 es de alta frecuencia y se radia a través de T^3 y la antena A .⁴⁷ Fleming especificó estas bobinas de choque y las ordenó inmediatamente a British Transformer Manufacturing Co. Aumentó el número de espiras en el bobinado secundario del transformador oscilante principal de 40 a 320.⁴⁸

En Febrero, Marconi y Vyvyan fueron a los Estados Unidos para encontrar el lugar adecuado para una estación de potencia similar. Antes de partir, Marconi dio instrucciones a Kemp para ordenar la madera para los mástiles de soporte de los hilos que formarían la antena.

Marconi se decidió por South Wellfleet, Massachussets, como el lugar para una estación receptora. Vyvyan permaneció en los Estados Unidos, y Fleming le envió un memorando detallado de una estación de potencia para South Wellfleet.⁴⁹ La posición que ocupaba Vyvyan en Poldhu fue ocupada por W. S. Entwistle.

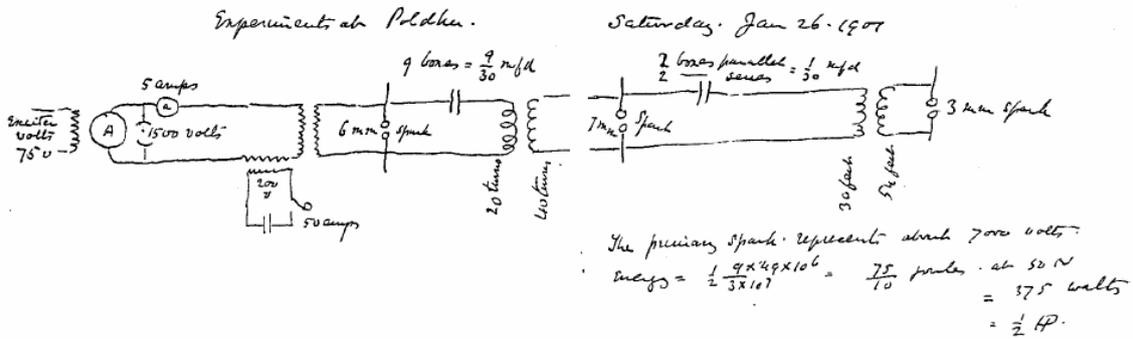


Figura 3.4 Primera prueba de Fleming del sistema de doble transformación. Fuente: Libro de notas de Fleming: Experimentos en UCL y Poldhu, University College Londres, MS Add. 122/30.

Marconi oyó que Nikola Tesla, con el apoyo financiero de J. Pierpoint Morgan, también estaba intentando enviar señales a través del Atlántico. “Si puede recibir allí [en los Estados Unidos], aseguró Fleming a un nervioso Marconi, “establecerá la prioridad.”⁵⁰ Marconi se apresuró. En Abril comenzó la construcción de la antena. Consistía de un círculo de 20 mástiles, de 200 pies de altura cada uno, con 400 hilos conectados a ellos para formar un cono invertido. Este grandioso diseño fue de Marconi; la construcción la supervisó George Kemp. Vyvyan (1933, pág. 28) dudaba de la estabilidad mecánica de la antena, pero se ignoraron sus objeciones.

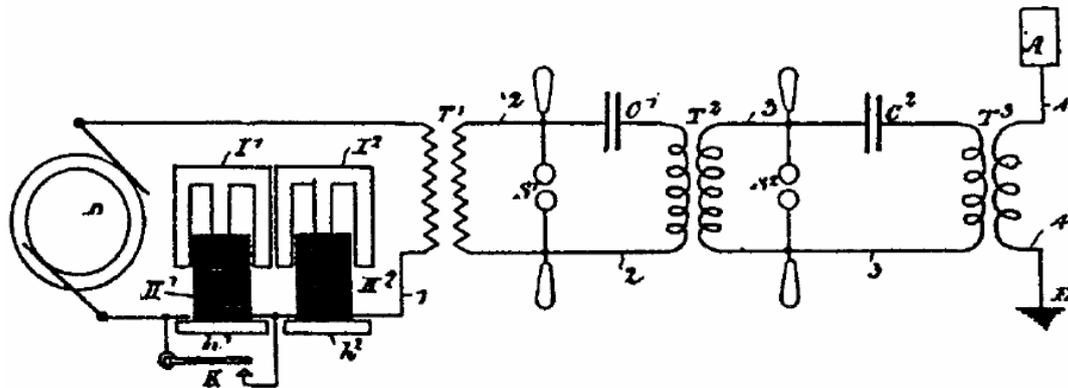


Figura 3.5 Sistema final de doble transformación con bobinas de choque. Fuente: Fleming. Patente británica 3.481 (1901).

Fleming comenzó a hacer su segundo experimento el 3 de Abril de 1901. Después del éxito de las pruebas de su bobina de choque y su nuevo transformador oscilante, Fleming conectó temporalmente su sistema de alternador–transformador a una antena de 50 pies enviando mensajes de Poldhu a la estación de Lizard, a 6 millas, donde fueron captados claramente por Kemp.⁵¹ Sin embargo, una vez que se formó un arco en el primer chispero cuando se presionó el chispero el suficiente tiempo para marcar una raya. El voltaje en el transformador principal aumentaba misteriosamente mientras se pulsaba el manipulador. Fleming cambió el voltaje del alternador, la frecuencia del alternador, las conexiones del condensador, y la localización de las bobinas de choque, pero cuando la segunda chispa era mayor de 20 milímetros se generaba un arco mientras estaba pulsado el manipulador. El 18 de Abril marcó esto como “la gran corriente de barbas” (es decir, la gran diferencia de fase entre la corriente del primario y el voltaje).⁵² Al día siguiente, añadió inductancia a la bobina primaria del transformador oscilante principal para

controlar esta diferencia de fase, y observó que esto tenía “un maravilloso efecto.” Obtuvo una buena primera chispa de 8 mm sin ningún arco, y una segunda chispa de 41 mm. Prácticamente había alcanzado la meta. Anotó cuidadosamente las condiciones que llevaban a este buen resultado. El número de espiras de la bobina primaria del transformador oscilante principal eran 55 o 56. Para su sorpresa, el voltaje del alternador era sólo de 500 voltios. La frecuencia eran 35 Hz. Parecía esencial una gran inductancia, un bajo voltaje y una baja frecuencia.⁵³

Después de regresar a Londres, Fleming probó a perfeccionar su sistema. Diseñó interruptores de mercurio para cortocircuitar las bobinas de choque, y aumentó el número de vueltas en la bobina primaria del transformador oscilante a 52.⁵⁴ El 22 de Mayo, Fleming hizo su tercera visita a Poldhu. Marconi, que regresó de los Estados Unidos, se unió a este experimento. Kemp había levantado los dos primeros mástiles. Durante su visita, Fleming probó sus interruptores de mercurio, que resultaron muy satisfactorios. También observó que reducir la frecuencia por debajo de 31 Hz causaba un efecto de resonancia muy peligroso; así cambió el bobinado de la armadura del alternador, y aumentó el número de vueltas de la bobina primaria del transformador oscilante a 85. Empleando el mismo principio que había usado en Abril, Fleming podía obtener ahora una segunda chispa de 1 pulgada. La potencia del primario eran 4,4 kW; la bobina del secundario eran 3 kW. El 28 de Mayo anotó lo siguiente:

En los experimentos previos probé usar el voltaje lo más alto posible [1400–2000 voltios]... Pero en estos casos la chispa tan pronto alcanzara una longitud de 9 mm se acompañaba de un gran arco. La chispa tenía un sonido silbante y cuando así era el caso no se obtenía ninguna chispa en el secundario o tan sólo una breve inicial con la que no se podían hacer las rayas. El verdadero secreto del éxito es usar un voltaje bajo de unos 400 y una baja frecuencia de unos 40 Hz y tener la separación para la chispa primaria no mayor de 6 mm preferiblemente 5,5 mm. Con esto podemos obtener una chispa secundaria con 1/60 [0,017] mfd.⁵⁵

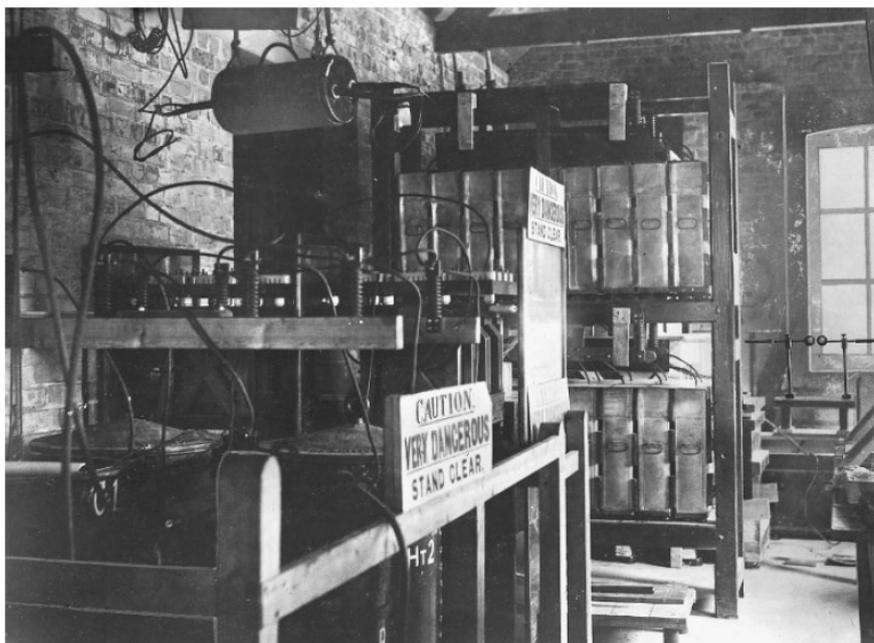


Figura 3.6

Transformadores y condensadores en la estación de Poldhu hacia mediados de 1901. Fuente: Archivos de la Compañía Marconi.

La situación parecía prometedora. Al regresar a Londres, Fleming instruyó a Entwistle para cambiar la bobina del principal transformador oscilante. El 6 de Junio, escuchó que se había obtenido una chispa secundaria de 26 mm con un condensador de una capacidad de 0,033 microfaradios (figura 3.6). La potencia había aumentado en un factor 6 desde el 19 de Abril. Mientras Fleming estaba en Londres trabajando en un condensador que pudiera soportar la alta tensión, Marconi, en Poldhu, comenzó a experimentar con la sintonía del sistema, usando una antena rudimentaria. A mediados de Junio, Marconi consiguió una “buena comunicación” entre

Poldhu y la estación de St. Catherine, que estaba a 160 millas.⁵⁶ Marconi viajó después las 250 millas hasta Crookhaven, Irlanda, para captar las señales de Poldhu. En una carta a Marconi con fecha 29 de Junio, Kemp escribió: “Me place saber que está captando nuestras señales O.K. y espero que sean más fuertes cuando la antena esté terminada adecuadamente.”⁵⁷ El equipo y una antena preliminar estaban listas para una prueba definitiva.

Marconi se hace cargo

El 1 de julio, Fleming fue a Poldhu, donde pasó 10 días trabajando con Marconi. Se habían levantado dos mástiles de 200 pies y se habían tendido 200 hilos, cada uno de una longitud de 200 pies, entre ellos para formar una antena temporal. Fleming usó su diapason de sintonía para medir las capacitancias de varios condensadores e hilos de antena. El 4 de Julio de 1901, probaron la transmisión a “larga distancia” entre Poldhu y Crookhaven. Como esta era la primera prueba con la antena diseñada por Marconi (pensar que sólo se habían levantado dos mástiles), era una prueba crítica de la armonía entre la maquinaria de potencia de Fleming y la antena de Marconi. Se ajustó toda la maquinaria para producir las mejores señales. Se emitieron las señales desde las 12:00 hasta las 12:35 PM, desde las 12:35 hasta las 12:45 PM y a la 1:00 PM.⁵⁸

¿Tuvo éxito la prueba? Ni el libro de notas de Fleming, ni su *Historia*, ni ninguna otra fuente –incluso el detallado diario de Kemp– parecen dar una respuesta definitiva. Mi lectura de varias fuentes sugiere, sin embargo, que Fleming y Marconi no detectaron señales (al menos en su primera serie de pruebas, que comenzaron el 4 de Julio). Cuatro evidencias apoyan mi inferencia, aunque no de forma directa:

- Si hubiera habido una transmisión exitosa, seguramente Fleming, que estaba ansioso por asegurar su credibilidad en el experimento de Poldhu, hubiera registrado el éxito en algún sitio.
- Un pasaje, en que Fleming separa deliberadamente los logros de Marconi de los suyos, sugiere que Marconi por sí solo consiguió el éxito en la transmisión a Crookhaven (Fleming 1906a, pág. 451):

En interés de la historia científica, puede ser justo mencionar brevemente los hechos y fechas relacionados con el primer intento serio de la telegrafía inalámbrica trasatlántica. La maquinaria especificada por el autor, después de consultar con el Sr. Marconi, comenzó a levantarse en Poldhu en Noviembre de 1900, y al mismo tiempo el Sr. Marconi decidió la naturaleza de la antena que propuso emplear... En Diciembre de 1900, las obras de la construcción estaban tan avanzadas que el escritor pudo enviar los dibujos que mostraban el montaje propuesto para la planta eléctrica en la estación. Esta se entregó y levantó, el autor eligió los experimentos en Poldhu en Enero de 1901... En Pascua de 1901, el autor hizo una segunda larga visita a la estación de Poldhu, y por medio de una corta antena temporal, hizo experimentos entre Poldhu y Lizard, a una distancia de 6 millas... Durante los siguientes cuatro meses se hicieron muchos trabajos entre el Sr. Marconi y el autor, modificando y perfeccionando los montajes para generar la onda, y se hicieron numerosas pruebas telegráficas entre Poldhu, en Cornualles, y Crookhaven, en el sur de Irlanda, y Niton [cerca de St. Catherine] en la isla de Wight.

Hay que resaltar que Fleming atribuye el éxito en las transmisiones a St. Catherine y Crookhaven a Marconi sin especificar la fecha exacta.

- El libro de notas de Fleming informa que Fleming y Marconi comenzaron a probar y modificar las condiciones de trabajo del sistema de Poldhu después del experimento del 4 de Julio.⁵⁹ En particular, Marconi cambió algunos aspectos esenciales del diseño de Fleming. Si el primer experimento hubiera tenido éxito, no hubieran sido necesarios este chequeo ni las modificaciones.
- En 1903, Marconi recordó: “En Octubre y Noviembre de 1901, conseguí hacer 225 millas sin la menor dificultad entre mi estación en Poldhu y Crookhaven en la costa oeste de Irlanda.”⁶⁰

Estas cuatro evidencias sugieren fuertemente que el experimento del 4 de Julio no tuvo éxito.

¿Qué estaba equivocado en el sistema de potencia de Fleming, y cómo podía encontrar el error? Lo que Fleming había olvidado era la sintonía. Entendía bien el principio matemático de

la sintonía ($C_1L_1 = C_2L_2$). Sin embargo, en la práctica, la medición de la capacitancia de una antena era muy complicado, y más la medición de la inductancia, que era prácticamente imposible en muchos casos. Para empeorar las cosas, el sistema de Fleming consistía de dos circuitos de descarga con diferentes características. En la figura 3.5, por ejemplo, la sintonía entre la bobina primaria (el circuito de descarga de C^2) y la bobina secundaria (la antena) de T^3 era posible, porque el sistema se había diseñado para sintonizarla con el “jigger” de Marconi T^3 , las condiciones de sintonía que Marconi había establecido bien. El problema real residía en sintonizar los circuitos de descarga de C^1 y C^2 , no sólo porque C^1 difería mucho de C^2 sino también porque no se podía estimar la inductancia de T^2 (Transformador oscilante de Fleming). Por supuesto, no había ondámetros en ese tiempo. Fleming debía haber considerado que la sintonía de los dos circuitos por medio de T^2 no tenía importancia, ya que la descarga oscilante de C^1 era sólo de frecuencia media.

El 8 de Julio Fleming usó su “tunmeter” (de hecho un amperímetro de hilo caliente) para determinar la sintonía de varios circuitos midiendo la máxima corriente, y concluyó que la antena no estaba en sintonía con el circuito de descarga, Pero Marconi tenía una opinión diferente y propuso una solución radical. Sustituyó el transformador oscilante principal de Fleming por su “jigger” para sintonizar los dos circuitos de descarga entre sí (figura 3.7). El 10 de Julio, con el “jigger” de Marconi en el circuito, hicieron “algunos experimentos buenos” variando la capacitancia.⁶¹

Después del experimento, Marconi intervino activamente en el experimento de Poldhu. Fleming regresó a Londres, y Marconi se fue de nuevo a Crookhaven, dejando a Kemp para manipular la maquinaria de potencia en Poldhu. A finales de Julio, el propio Marconi aumentó la longitud de la chispa cambiando la capacitancia y el voltaje. Después, Marconi decidió reorganizar la maquinaria en Poldhu. Construyó una nueva casa cerca de la vieja y colocó el condensador y el “jigger” en la nueva casa, separándolos de la maquinaria. Este acto simbólico representa el fuerte monopolio de Marconi sobre el proyecto. Marconi, y sólo Marconi, podía manipular sus “jiggers” para sintonizarlos. Marconi tenía acceso a la maquinaria de potencia de Fleming. El papel de Fleming se reducía ahora a reconstruir los condensadores rotos y rebobinar la armadura de un alternador para Marconi. Se reorganizó la maquinaria entre el 2 y el 20 de Agosto de 1901. El 23 de Agosto, Fleming regresó a Poldhu y probó este nuevo montaje. El 2 de Septiembre terminó sus pruebas, “dejando todo listo para el Sr. Marconi”, y partió a París de vacaciones.⁶² La antena estaba casi terminada.

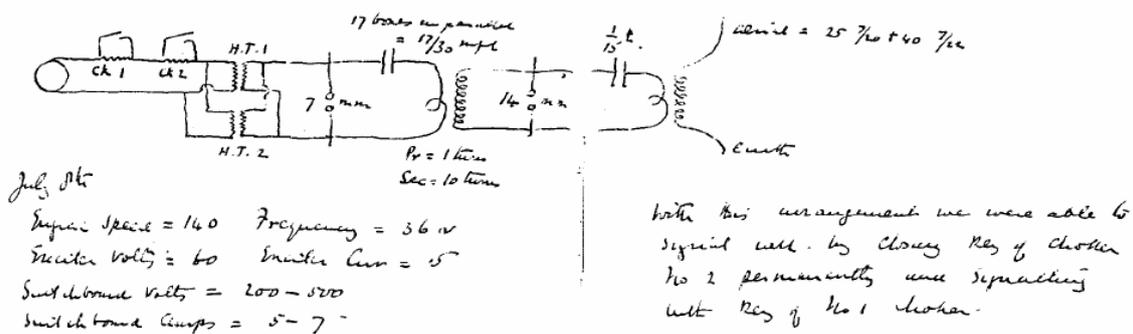


Figura 3.7

El sistema de Poldhu después del 8 de Julio de 1901. Obsérvese que el “jigger” de Marconi ha sustituido al transformador oscilante de Fleming. Compárese este con la figura 3.4. Fuente: libro de notas: Experimentos en el UCL y en Poldhu, University College Londres, MS Add. 122/20.

El 17 de Septiembre, los 20 mástiles y 200 hilos en Poldhu colapsaron en medio de una fuerte tormenta. Marconi decidió rápidamente construir dos mástiles nuevos en Poldhu para formar una antena en forma de abanico con sólo 54 hilos. Su plan para la comunicación recíproca entre Poldhu y Wellfleet se alteró a una emisión unilateral en Poldhu y la recepción en cualquier parte de los Estados Unidos. La antena fabricada rápidamente por Marconi era muy inferior a su primer diseño, no obstante resintonizó el sistema para los experimentos. En Octubre y Noviembre, se recibieron claramente las señales en Crookhaven. El receptor que usó

Marconi en estos nuevos experimentos, un nuevo cohesor de mercurio, que le había dado a Marconi en Agosto de 1901 su amigo Luigi Solari, un oficial de la Marina de Italia. Después de todo era muy eficiente.⁶³

El experimento Poldhu–Crookhaven tuvo tanto éxito que Marconi se decidió a hacer el experimento trasatlántico. Eligió San Juan como lugar de recepción debido a su proximidad a Inglaterra. Con sus ayudantes George Kemp y P. W. Paget, y con dos globos, seis cometas, cohesores, y otros dispositivos receptores (incluyendo el “cohesor de la Marina de Italia”), zarparon de Inglaterra el 27 de Noviembre de 1901. Antes de zarpar, escribió lo siguiente en una carta a Entwistle:

Cuando le pida que comience a emitir, le telegrafiaré la fecha a la oficina de Londres, esta fecha se le enviará inmediatamente y desde ese aviso comenzará a emitir el punto programado desde las 3 pm hasta las 6 pm hora de Greenwich [que se corresponde desde las 11:30 am hasta las 2:30 pm en hora de San Juan], y continuará emitiendo el mismo programa durante las mismas horas cada día (excepto los domingos) hasta que le ordene parar...⁶⁴

En Terranova, Marconi pretendía investigar la influencia de la costa rocosa sobre las ondas Hertzianas.⁶³ El resto de la historia, que ha sido contada en muchas obras sobre Marconi, es bien conocido. El 9 de Noviembre envió por cable las instrucciones a la oficina de Londres para transmitir “SSS”⁶⁶ entre las 3 y las 6 pm cada día desde el 11 de Diciembre en adelante; se envió desde la oficina de Londres un telegrama “comiencen miércoles 12” a Entwistle en Poldhu. La primera prueba de Marconi con globos fracasó el 11 (miércoles) cuando un fuerte viento arrastró y se llevó al globo. A pesar del mal tiempo, Marconi y Kemp, usando una antena elevada con una cometa, un cohesor de mercurio y un teléfono, recibieron las señales en San Juan el 12 de Diciembre (a las 12:30, 1:10 y 2:20 pm) y el 13 de Diciembre (a las 1:38 pm). Como posteriores experimentos fueron frustrados por el tiempo, la falta del equipo adecuado, y la reluctancia de la compañía American Telegraph a prestarles ayuda, Marconi preparó un anuncio en la prensa el 14 de Diciembre.⁶⁷

Que Marconi oyera la señal “SSS” sólo fue atestiguado por él y por Kemp. Los escépticos discutieron, no sin razón, que Marconi se había engañado por el ruido atmosférico o por señales de barcos cercanos. Famosos científicos e ingenieros, entre ellos Thomas Edison, Oliver Lodge, William Preece y Edouard Branly, dudaron mucho de la declaración de Marconi. John Ambrose Fleming, Michael Pupin (asesor científico de la Compañía Marconi de América) y Elihu Thomson apoyaron a Marconi. La opinión general, y la de muchos periódicos y revistas públicas, fue a favor del joven héroe. Por razones desconocidas, Edison cambió rápidamente de idea. Su apoyo fue extremadamente útil. El 21 de Diciembre de 1901, el *Times*, que había sido escéptico con el anuncio de Marconi, publicó un caluroso editorial que comentaba: “Probablemente sea difícil de exagerar el efecto de la telegrafía inalámbrica, si, como el Sr. Marconi y el Sr. Edison creen evidentemente, y la Compañía Anglo–Americana evidentemente teme, en no mucho tiempo evolucionará en un éxito comercial.”

En Enero de 1902, el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos anunció una cena especial en honor de Marconi. Esto marcó el comienzo de un giro a su favor.⁶⁸

“El principal crédito debe ser siempre para Marconi”

¿Qué hizo Fleming en ese momento crucial? Según el historiador de la ingeniería George Blake (1928, pág. 101) “Fleming había transmitido la letra “S” desde Poldhu, en Cornwall, a San Juan en Terranova.” Esta afirmación incorrecta fue amplificada por el escritor David Woodbury (1931, pág. 146–147), que llenó los detalles que faltaban con su imaginación:

Lo que debe chocar al oído es que él [Marconi] ¡había visto su pequeño cohesor conectado al extremo inferior de un hilo! Al igual que Franklin, estaba determinado a robar a las nubes otro gran secreto de la electricidad. Al mismo tiempo que se sacudían las limaduras en el cohesor. Algo estaba pasando –sí, ¡era Fleming!... Débilmente, casi demasiado débiles para entenderse, llegó la letra “S” de la señal Morse... Marconi había vencido. La presión de la mano de Fleming sobre un manipulador se había escuchado a dos mil millas de distancia.⁶⁹

Fleming no había estado en Poldhu. Había estado en Londres, cumpliendo sus obligaciones de profesor y preparando su lectura de Navidad para la Royal Institution. No se le había informado cuando comenzaron las señales. Había sido completamente excluido de los experimentos desde Septiembre de 1901. “Se le dejó en la ignorancia del éxito hasta que abrió el periódico *Daily Mail* en Londres la mañana del lunes, 16 de Diciembre de 1901” (Fleming 1934, pág. 124). Unos días más tarde, preguntó a un empleado de la Compañía Marconi sobre la disposición real de la maquinaria usada en Poldhu el 12 de Diciembre; reconoció que esta “era sustancialmente tal como la dejé en Septiembre de 1901” (ver figura 3.8).⁷⁰

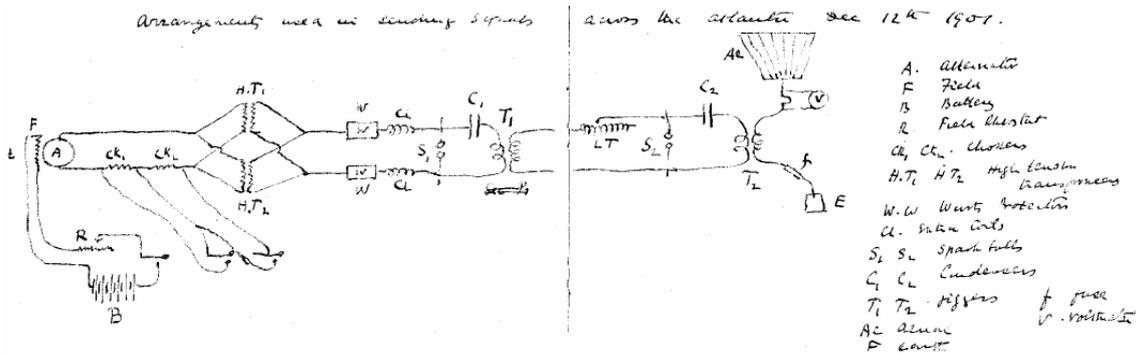


Figura 3.8

Último dibujo de Fleming del montaje de la maquinaria en Poldhu que usó realmente Marconi para su primera transmisión atlántica del 12 de Diciembre de 1901. Fuente: libro de notas de Fleming: Experimentos en UCL y Poldhu, University College Londres, MS Add. 122/20.

A medida que pasaba el tiempo, Fleming se sentía cada vez más frustrado. El *New York Herald* citó a Marconi: “Antes de partir de Inglaterra preparé nuestra estación de larga distancia.” En Enero de 1902, cuando el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos le ofreció una cena de homenaje a él, Marconi expresó su deuda con James Clerk Maxwell, Lord Kelvin, Joseph Henry, Heinrich Hertz y Alexander Graham Bell (por el detector telefónico). Habló de Fleming sólo como uno de los varios empleados de la compañía que habían ayudado a Marconi. En los subsiguientes artículos, informes y discursos, nunca se mencionó el nombre de Fleming. Incluso a su regreso a Inglaterra, Marconi atribuyó todo a sus propias decisiones y logros.⁷¹ Como Flood-Page había contado a Fleming un año antes, el principal crédito sería “siempre de Marconi.”

Sin embargo, la involucración de Fleming en este revolucionario experimento recibió algunos reconocimientos. *The Electrician* del 7 de Marzo de 1902, anotó la ayuda de Fleming “al asesorar en la selección y montaje” de la estación de Poldhu. Dijo que Fleming había sido responsable del “diseño de los detalles de la potencia motriz y la maquinaria eléctrica para generar y controlar las potentes oscilaciones eléctricas que se usaron para producir las ondas eléctricas,” y que acudió a Poldhu durante muchas semanas durante el pasado año supervisando las pruebas de la estación y experimentando, sólo y en compañía del Sr. Marconi, de su potencial.⁷² Esta imagen de los sucesos proporcionó una oportunidad a los enemigos de Marconi. En Abril de 1902, Silvanus Thompson, todavía amigo de Fleming, atacó a Marconi apuntando que la estación de Poldhu había sido diseñada por Fleming, no por Marconi, y que el detector que Marconi había usado en Terranova no era de diseño propio (S. P. Thompson 1902a, pág. 425).⁷³ Al discutir su respuesta a Thompson, Fleming se quejó a Marconi sobre la falta de crédito. Marconi respondió:

No es necesario que me diga que he tenido y tengo toda intención de referirme a sus trabajos y ayuda relacionada con la planta de Poldhu... no me he retenido de hacerlo por petición suya... En la presente unión agradecería que facilitara mi declaración sobre su ayuda en los experimentos trasatlánticos si pudiera ver también como científico protegerme de la misma manera que ha hecho en el pasado de los violentos y a menudo injustos ataques a los que estado tan expuesto últimamente.⁷⁴

Marconi había planeado dar una Lectura del Viernes sobre sus recientes trabajos en telegrafía inalámbrica en la Royal Institution el 13 de Junio. Como las Lecturas del Viernes tienen siempre mucha influencia, sería una buena forma de acreditar a Fleming. Fleming especificó: “Puede estar seguro que una mención generosa en la Royal Institution de mi trabajo no sólo me agradaría y sería muy amistosa pero haré igualmente un reconocimiento público de que mi parte en los hechos se debió esencialmente a sus invenciones.”⁷⁵ “Amigo mío” no puede ser otro más que Silvanus Thompson. Marconi mantuvo modestamente su promesa durante la Lectura del Viernes, mencionando que “los montajes generales de ingeniería de la estación de potencia levantada en Poldhu para la ejecución de este plan y para crear las ondas eléctricas de la frecuencia que desee emplear fueron hechos por el Dr. J. A. Fleming” (Marconi 1902d).

Consolado por el reconocimiento de Marconi, Fleming intentó tomar parte en la mejora de la estación de Poldhu para una comunicación trasatlántica más estable. Marconi, con la ayuda de Vyvyan y Entwistle, había cambiado previamente el sistema de doble transformación de Fleming a otro de transformación simple, y había puesto una antena mayor y más estable. Fleming fue a Poldhu en Julio para supervisar un experimento de larga distancia entre Poldhu y el *Carlo Alberto*, un barco de la Marina de Italia puesto a disposición de Marconi. El *Carlo Alberto* navegaría desde Poldhu a San Petersburgo, en Rusia. Marconi, a bordo del *Carlo Alberto*, estaba preocupado por la modificación de Fleming del sistema en Poldhu. Para disgusto de Marconi, Fleming había instalado un nuevo descargador de disco rotativo de su propio diseño para los experimentos y había cambiado el sistema de transformación simple a un sistema de doble transformación. Las señales emitidas desde Poldhu se recibieron en Kiel, Alemania, a más de 600 millas de Poldhu. Sin embargo, en el momento crucial cuando el Emperador de Rusia estaba visitando el barco de Marconi, Marconi no pudo recibir las señales, y tuvo que enviar las señales desde otra habitación del barco.⁷⁶

Marconi, ya enfadado por el juego de Fleming respecto al ataque de Thompson, escribió a H. Cuthbert Hall, entonces Director Gerente de la compañía, que “el descargador de disco rotativo diseñado por el Dr. Fleming para esta estación en la práctica había resultado ser insatisfactorio,” y que “el Dr. Fleming parece introducir tantas complicaciones que en la práctica resultan inútiles, y por tanto creo que estaría bien que los detalles relativos a los cambios en esa planta [Poldhu]... deben discutirse y aprobarse entre Ud. y el Sr. Entwistle, ya que me temo que no sería útil servirse de referirlos al Dr. Fleming.”⁷⁷ Marconi ordenó a Hall cambiar algunos equipos de la estación de Poldhu, y los cambios incluían instalar discos rotativos diseñados por Marconi. Fleming se resistió a estos cambios, que volvieron a molestar a Marconi. Marconi se quejó a Hall:

[El Dr. Fleming] ha informado al Sr. Entwistle que los diseños deberían, como cortesía, enviarse a él mismo para su aprobación antes de enviarlos a la oficina. Esta actitud por su parte abre de nuevo la amplia cuestión de su posición general en la Compañía y deseo que se defina claramente a él sin ningún retraso. Se le debe explicar que su función como Ingeniero Consultor es simplemente asesorar sobre puntos que puedan referirse expresamente a él y de ningún modo la Compañía tiene obligación alguna de pedir su ayuda en cualquier tema que parezca innecesario. En este caso en particular no veo razón para consultarle por cortesía o por cualquier otra consideración. También se le pidió en el primer ejemplo que preparase un diseño y, al resultar ser insatisfactorio, he tratado el tema yo mismo junto con el Sr. Entwistle. No deseo entrar en conflictos innecesarios con las propensiones del Dr. Fleming, pero, a menos que sea Ud. capaz de ponerle el tema ante él con efectividad de una forma clara, me gustaría hacer una comunicación formal a la Junta con referencia a su posición general.⁷⁸

El olvido de Marconi de su primera promesa de dar a Fleming 500 acciones de su compañía podría deberse por completo a la gran ocupación, pero dolió profundamente a Fleming, que nunca olvidó esta importante rotura de confianza. Parece que Fleming recordó la promesa de Marconi en Febrero de 1903, y Marconi le entregó las acciones.⁷⁹ Parece que Fleming quedó defraudado de que el crédito por la primera comunicación trasatlántica se le hubiera dado a Marconi, aunque no se quejó de ello hasta después de la muerte de Marconi en 1937. “Marconi” contó Fleming a Lodge, “siempre estaba determinado a reclamar todo para él mismo. Su conducta conmigo en la primera transmisión trasatlántica fue muy poco generosa. Yo había planeado la planta de potencia para él y la primera emisión se hizo con los circuitos escritos en

mi primera patente británica No. 3481 de 1901. Pero nunca tuvo el cuidado de mencionar mi trabajo relacionado con ello.”⁸⁰ Como se anotó en el capítulo 2, Fleming incluso declaró que Marconi no podía decir que había inventado la telegrafía inalámbrica. Esto es menos comprensible.

Diferentes estilos de investigación entre Marconi y Fleming

La frustración de Fleming y las vejaciones de Marconi tienen profundas raíces en sus diferentes estilos de investigación. Fleming había sido entrenado bajo James Clerk Maxwell y el Laboratorio Cavendish en Cambridge, donde había aprendido la importancia de combinar mediciones precisas y consideraciones matemáticas en la investigación física.⁸¹ Durante los años 1882–1899, Fleming aplicó sus conocimientos científicos y metodología a la ingeniería de las grandes corrientes, estableciendo una sólida reputación entre los ingenieros eléctricos y los físicos. Después de entrar en el campo de la telegrafía inalámbrica, aplicó su metodología y conocimientos de ingeniería científica a la tecnología. En el experimento de Poldhu, como hemos visto, Fleming comenzó por establecer la maquinaria de potencia, después midió las cantidades eléctricas que estaba acostumbrado a medir (como las corrientes en el primario y secundario) además de voltajes, capacitancias, resistencias y frecuencias del alternador. Con los datos numéricos y fórmulas teóricas a mano, aumentó progresivamente la longitud de la chispa secundaria hasta 2 pulgadas.

Marconi tenía pocos conocimientos en física. En Gran Bretaña, se hablaba de él como un práctico. Desde el comienzo de su carrera, Marconi aprendió por sí mismo por medio de numerosas pruebas. Al diseñar los circuitos de radio y otros dispositivos, Marconi empleó una lógica rigurosa personal y un tipo de talento que no parecían poseer ni los científicos ni los ingenieros de orientación científica. Como Fleming declaró una vez, Marconi “no llegaba a ninguno de sus resultados por predicción matemática. De hecho, creo que sus conocimientos matemáticos no eran muy grandes... Además de su fuerte anticipación intuitiva poseía una enorme perseverancia y energía para el trabajo constante.”⁸²

El punto de partida de Marconi para el experimento de Poldhu fue el diseño de la antena, un campo en el que realmente era competente. Inicialmente, dejó la maquinaria de potencia a Fleming. Marconi, parece que gradualmente llegó a entender que la “muy peligrosa” maquinaria de potencia no era nada más que un sustituto de la bobina de inducción y baterías químicas, y que no incluía en absoluto los principios de la telegrafía inalámbrica. Una vez que permanecían estos principios, pensó Marconi, que era posesión suya.

El “fracaso de Julio” sucedió en un momento crucial. Si los principios eran los mismos, pudo haber razonado Marconi, ¿por qué no probar sus “jiggers” en el nuevo sistema de potencia? Como hemos visto, el “jigger” cambió radicalmente la dirección del experimento de Poldhu, ya que Marconi, no Fleming, era capaz de manipular las relaciones especiales entre las formas de las bobinas y los bobinados primario y secundario.⁸³ Después de la introducción del “jigger” en el sistema de Poldhu, el papel de Fleming estaba destinado a minimizarse.

Varios elementos de ingeniería viejos y nuevos están representados en la historia Fleming–Marconi. Fleming representaba una rama establecida de la ingeniería eléctrica: ingeniería de potencia. El “jigger” y la antena, contribuciones de Marconi, pertenecían al campo emergente de la telegrafía inalámbrica. La ingeniería científica de Fleming era un nuevo acercamiento de ingeniería científica a la ingeniería práctica, que se había originado con William Ranking y William Thomson (más tarde Lord Kelvin) a mediados del siglo XIX y floreció en las décadas de 1880 y 1890 con el trabajo de ingenieros como Alexander Kennedy, Fleming y John Hopkinson (Buchanan 1985). En comparación, el método de Marconi –asociado con famosos mecánicos, ingenieros eléctricos y civiles de los siglos dieciocho y diecinueve, incluían a James Watt, James Brindley, M. I. Brunel, R. E. B. Crompton y Sebastian Sian de Ferranti– más bien era viejo y tradicional.⁸⁴ Y aunque la posición de Fleming como profesor universitario en ingeniería era relativamente nueva, la posición de un ingeniero consultor para firmas privadas era una ocupación muy tradicional en la historia de la ingeniería británica. En contraste, aunque la posición de Marconi como inventor independiente estaba bien establecida, su posición como

ingeniero empresario en una corporación internacional no tenía precedentes en la historia de la ingeniería británica.

Estos diferentes estilos de ingeniería chocaron en el caso del experimento de Poldhu, y las diferencias fueron evidentes especialmente en la tensión sobre el crédito. Fleming tenía buenas razones para considerar los meticulosos experimentos en maquinaria de potencia que hizo desde Septiembre de 1900 a Septiembre de 1901, que hicieron estable el sistema de doble transmisión, tan esencial para el éxito de Marconi. Fleming se acercó al experimento de Poldhu como un experimentador. Para él, la antena, la sintonía, los detectores y otros dispositivos eran auxiliares a los componentes de potencia del transmisor. Para Marconi, la maquinaria de potencia era sólo un componente de su sistema para la telegrafía inalámbrica de larga distancia; otros componentes eran igualmente importantes. Como dijo Fleming, Marconi se quedó “el crédito para los montajes esenciales necesarios que diseñó para usarlos en conjunción con la planta de gran potencia, la sintonía de los diferentes circuitos en el transmisor y receptor, la determinación de la forma y tamaño de la antena y la forma especial de los transformadores oscilantes que demostraron tener éxito en la práctica.”⁸⁵

Fleming, que fue contratado como ingeniero consultor, se atascó con las muchas limitaciones. Por ejemplo, tenía que satisfacer la petición de Marconi de una chispa de 2 pulgadas. Esto exigía más de 100.000 voltios, y tal voltaje exigía un sistema de doble transformación. Para la doble transformación, Fleming empleó otro transformador oscilante, de su propio diseño, cuya inductancia no se podía estimar. Debido a este defecto, la sintonía entre el primer circuito de descarga y el segundo era prácticamente imposible. (En Julio de 1901, como hemos visto, Marconi sustituyó el transformador de oscilación de Fleming por el “jigger”). Además, el sistema tenía dificultades para producir rayas sin generar un arco entre el chispero. Debido a este defecto, sólo se pudieron transmitir puntos en la prueba final de Marconi. Esto estaba lejos de ser un sistema estable para usarlo en la telegrafía comercial.

El sistema de doble transformación de Fleming pronto se reemplazó por un sistema de condensador único similar al circuito “cuatro sietes” de Marconi (Marconi 1908, pág. 117; Vyvyan 1933, pág. 35). Más tarde se emplearon alternadores mucho más potentes que la unidad de 25 kW en Poldhu, incluyendo uno de 75 kW en Glace Bay (1902, otro en Glace Bay de 150 kW (1904) y otro de 300 kW en Clifden (1906). Los condensadores de vidrio de Fleming se reemplazaron por enormes condensadores de aire (Clifden en 1906). También se empleó maquinaria de señalización automática en las nuevas estaciones en los Estados Unidos e Irlanda. El nuevo sistema de “transmisión única” trabajaba bien. El original sistema de Fleming de doble transmisión no se originó solamente por necesidades técnicas, sino también porque Fleming tenía el compromiso de alcanzar, con una maquinaria relativamente de baja potencia, la meta de Marconi de una chispa de 2 pulgadas. Debido a que el sistema de doble transmisión en Poldhu resultó problemático y sustituible, Marconi consideró la contribución de Fleming como menos que esencial.

La diferencia entre los estilos profesionales de Fleming y Marconi aumentó su mutuo malentendido. La incentiva de Fleming como consultor tenía dos elementos. Primero, ser capaz de procurarse aparatos, maquinaria y algunas bases para el “campo” de la enseñanza e investigación para las compañías de suministro eléctrico. Segundo, poder aumentar su credibilidad profesional en la comunidad de ingenieros eléctricos y físicos al combinar la experiencia de campo con el conocimiento científico. Su primera asesoría científica le había servido bien en este aspecto. Su trabajo de consultor para la London Electric Supply Corporation y otras compañías le permitió resolver los misterios del efecto Ferranti y la eficacia de los transformadores.⁸⁶ Su asesoría a Edison–Swan Company le proporcionó una oportunidad de investigar el efecto Edison en las lámparas incandescentes –una investigación que le hizo ser becario (fellow) de la Royal Society en 1892. Esperaba de su involucración en el experimento de Poldhu unos resultados similares.

Marconi era un ingeniero y un organizador independiente. Empleaba todo recurso útil para él. Fleming contribuyó a la maquinaria de transmisión; Vyvyan y W. Eccles contribuyeron mucho al perfeccionamiento del diseño del “jigger” de Marconi; Solari proporcionó el detector más sensible; el propio Marconi diseñó la antena y el sistema de sintonía; Kemp construyó la antena; Entwistle operó la maquinaria de transmisión; Marconi y Kemp vencieron al tiempo en

Terranova. El experimento fue de colaboración. Marconi ejecutó el papel de organizador, y creía fuertemente que al organizador era al que había que asignarse el mayor crédito. Fleming, aunque ayudó mucho, fue sólo su asesor.

Marconi era también un hombre de negocios. Marconi decidió comenzar el experimento trasatlántico en un momento que su compañía había llegado a un punto muerto. El experimento se concibió como un paso vital para su monopolio de las comunicaciones barco costa del Atlántico, y finalmente para un gran plan de comunicaciones mundiales. Se concibió para proporcionar un avance en las negociaciones con la Armada, con Lloyd's de Londres, y con la Oficina Postal. Al mismo tiempo, fue un arma para silenciar a sus enemigos y una oportunidad para aumentar el capital de la compañía. La fortuna de la compañía dependía fuertemente de la autoridad y los logros de Marconi. Su deseo de monopolizar el crédito del primer experimento trasatlántico parece que se originó tanto de su plan de negocios como de su codicia personal. Fleming, como ingeniero consultor, nunca pudo entender esto.

4

Sintonía, Interferencias y el Asunto Maskelyne

Había un tipo joven de Italia
Que estafaba con mucha gracia al público

– Nevil Maskelyne, 4 de Junio de 1903 (Bloque 1954)

Presenciar e informar de los experimentos exitosos era crucial para Marconi. Ansiaba la naturaleza práctica de su sistema. Las demostraciones de Marconi en Salisbury Plain en 1896 y 1897, su demostración a través del Canal de Bristol en 1897, la comunicación en 1898 entre el Yate Real *Osborne* y Osborne House en la Isla de Wight, y la transmisión de mensajes a través del Canal de la Mancha en 1899 y a través del Atlántico en 1901 publicitaron ampliamente su sistema de radio. El hecho que el famoso y respetado Lord Kelvin pagara un chelín para enviar un mensaje a William Preece y George Stokes fue anunciado para mostrar la eficacia comercial del sistema inalámbrico de Marconi. Esto impresionó profundamente al público; sin embargo, llevó a Marconi y su compañía en conflicto directo con la Oficina Postal Británica, que monopolizaba todas las formas de comunicación comercial en el Imperio.

Cuando la sintonía se convirtió en un tema central en la radiotelegrafía, Marconi diseñó un nuevo sistema para emitir y recibir los mensajes. Este sistema “cuatro sietes”, como hemos visto en el capítulo anterior, se empleó en el experimento trasatlántico de Marconi. Marconi también hizo una serie de demostraciones de la efectividad del sistema. Fueron presenciados y actuó como informador el asesor científico de Marconi, John Ambrose Fleming. Fleming fue capaz de actuar como testigo veraz debido a su alta credibilidad entre las comunidades de ingeniería eléctrica y física –una credibilidad que había levantado tras veinte años sirviendo como mediador entre la ingeniería de corriente alterna de potencia y la física.

Fleming, como testigo de apoyo, tuvo problemas con los adversarios de Marconi. En Junio de 1903, Nevil Maskelyne, uno de los oponentes de Marconi, interfirió con la demostración pública de Fleming del sistema sintonizado de Marconi en la Royal Institution enviando mensajes despectivos desde su propio transmisor simple. Este incidente, que se conoció como el asunto Maskelyne, dañó severamente la credibilidad de Marconi y Fleming. Además, Fleming dimitió como asesor de Marconi poco después del asunto.

El asunto Maskelyne nunca ha sido completamente analizado en todo su contexto (el científico y el tecnológico, en que se entendieron y desarrollaron los primeros dispositivos sintonizados, en que la competición para monopolizar el mercado de la telegrafía inalámbrica era intenso; el contexto autorial, en que cuestiones como las que mantenían las autoridades en el campo en rápido desarrollo de la telegrafía inalámbrica se hicieron importantes). Este capítulo pretende dar un examen detallado del asunto Maskelyne dentro de estos contextos. Se descubrirán varias publicaciones con una exploración valiosa, como la lucha entre Marconi y sus oponentes, la eficacia de los primeros dispositivos sintonizados, el papel de Fleming como testigo público de los experimentos privados de Marconi, y la naturaleza de los “espectáculos” de Marconi. Además, el asunto proporciona un raro caso de estudio de la manera en que se creaba la credibilidad de los ingenieros, se consumía, y desaparecía bruscamente.

La sintonía y la patente “cuatro sietes”

Como hemos visto antes, el primer sistema de Marconi empleaba antenas verticales, con un polo conectado a tierra. Marconi alcanzó una distancia de varias millas con este sistema, pero era difícil de sintonizar. En la práctica, mala sintonía significa que cualquiera puede capturar mensajes fácilmente con un simple detector. En teoría, esto significa que las ondas generadas por el transmisor no tienen un margen de frecuencia estrecho. Según Hertz, la frecuencia (f) de la onda generada por un circuito de descarga de un condensador estaba (al menos muy cercana) determinada sólo por su inductancia (L) y su capacitancia (C), según la ecuación

$$F = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

Por tanto la onda generada por el transmisor de antena vertical de Marconi debía tener una frecuencia bien definida determinada por su propia inductancia y capacitancia, pero ese no parecía ser el caso. Surgió un consenso entre los físicos e ingenieros que la principal razón para esto era que las ondas generadas por los dispositivos de Hertz y Marconi estaban muy amortiguadas. Aunque las primeras opiniones relacionadas con la razón de la amortiguación eran muy variadas, finalmente se decidió que una onda amortiguada podía entenderse, física y matemáticamente, como una superposición de muchas ondas diferentes. Además, según el análisis de Fourier (que aquí tiene una gran significación física), cuanto más amortiguada está una onda más ancho es el rango de su frecuencia. Esta “resonancia múltiple” se consideró como uno de los problemas más difíciles de la física Hertziana.¹ Cuanto más homogénea (o “continua”, como lo describieron los ingenieros en aquel momento) es la onda, más estrecho es el rango de la frecuencia. Por tanto, para obtener una buena sintonía se han de producir (o acercarse a su producción) ondas homogéneas o continuas.

Aunque no es posible producir ondas continuas por medio de un transmisor de chispa, hay un modo de reducir su amortiguación. Desde principios de la década de 1890, los físicos saben que un transmisor en forma de bucle es un vibrador más persistente que una antena vertical. A principios de 1897, mientras comentaba con Silvanus Thompson sobre la telegrafía inalámbrica de Marconi, Oliver Lodge recordó sus trabajos de 1889 para producir la sintonía entre botellas de Leyden, y sus implicaciones prácticas para la telegrafía inalámbrica.² En estos experimentos había empleado una especie de circuito cerrado que Lodge adaptó ahora a las demandas de la señalización inalámbrica. Solicitó una patente de este circuito en Mayo de 1897.³ En la patente, Lodge describe dos principios. Primero, la amortiguación de las ondas radiadas se reduce por medio de un transmisor de circuito cerrado, cuyas superficies de chispa están parcialmente encerradas en una caja metálica. Segundo, para recibir una onda con una frecuencia específica, Lodge insertó una inductancia variable en el receptor en serie con la capacitancia de la antena del receptor (figura 4.1).

Marconi, al principio prestó poca atención a la sintonía. Cuando presentó una especificación provisional (Junio de 1896) y una especificación completa (Marzo de 1897) para su primera patente inalámbrica (12.039) no menciona la sintonía en absoluto, aunque hay evidencias que la conocía en 1896.⁴ Al principio, la sintonía no causó problemas a Marconi. Debido a la naturaleza de su transmisor, la onda emitida era una mezcla de ondas que tenía un amplio rango de frecuencias, y esto hacía que la antena receptora no sintonizada de Marconi funcionara extremadamente bien.

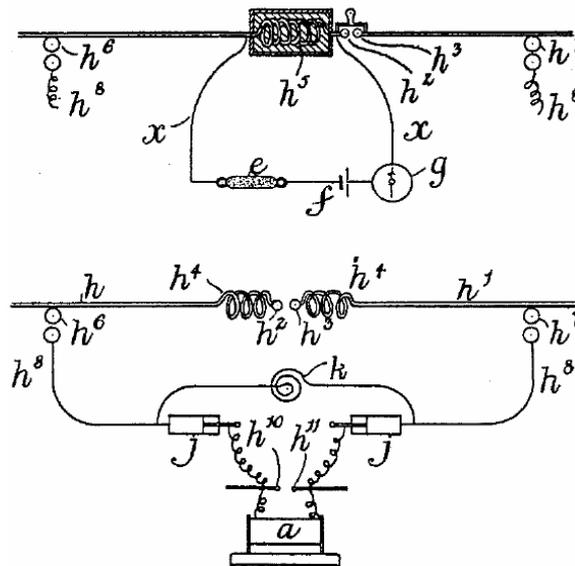


Figura 4.1

Transmisor y receptor sintonizado de Lodge que emplea una inductancia variable. Fuente: O. Lodge, “Perfeccionamientos en telegrafía sintonizada sin hilos de línea”, patente británica 11.575, presentada en 1897.

Sin embargo, a la larga, el mercado para la telegrafía inalámbrica forzó a Marconi a enfrentarse con la sintonía. Inicialmente, la demanda para la telegrafía inalámbrica provino de los militares (Ejército, Armada y la Oficina de Guerra), principalmente debido a que no había hilos que pudiera cortar el enemigo. Marconi sabía bien esto, y de la importancia del secreto. El único modo que parecía asegurar el secreto era la sintonía. En Enero de 1898, el principio de la sintonía de Lodge y su transmisor cerrado con una inductancia variable en el receptor se hicieron públicos en un papel que leyó Lodge ante la Sociedad de Física.⁵ Se hizo común hablar sobre la sintonía. Adolf Slaby (1898) y Silvanus Thompson (1898) indicaron que la mala sintonía era un serio problema en el sistema de Marconi; una larga revisión del sistema en el *Times* (20 Abril 1898) y un artículo líder en *The Electrician* (13 Mayo 1898) estaban de acuerdo con ello. Ambos artículos apuntaban que la fuerte amortiguación era la principal causa de la mala sintonía.

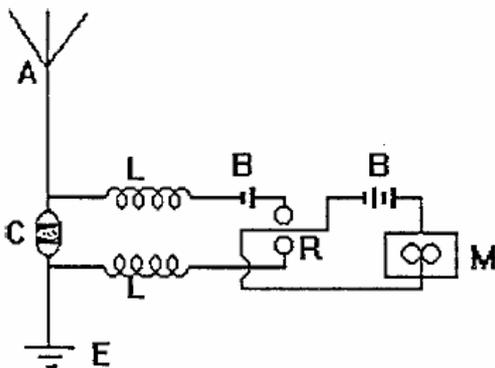


Figura 4.2
Receptor Marconi en 1896. A: antena. C: cohesor. K: capacitancia (variable). L: inductancia. B: batería. J: jigger. R: relé. M: impresor Morse. Fuente: G. Marconi, “Mejoras en la transmisión de impulsos eléctricos y señales en los aparatos”. Patente británica 12.039, presentada en 1896.

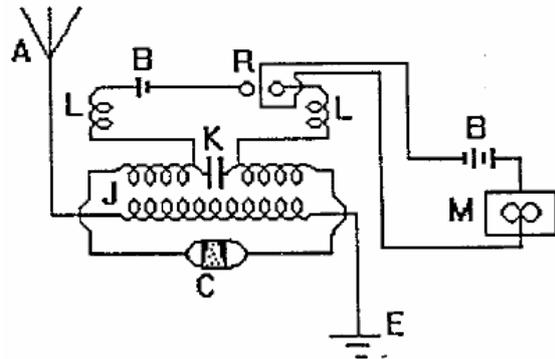


Figura 4.3
Receptor Marconi en 1898. A: antena. C: cohesor. K: capacitancia (variable). L: inductancia. B: batería. J: jigger. R: relé. M: impresor Morse. Fuente: G. Marconi, “Perfeccionamientos en aparatos empleados en telegrafía inalámbrica,” Patente Británica 12.326 (1898).

Marconi no podía usar el principio de sintonía de Lodge por dos razones. Primero, estaba protegido por una patente. Segundo, y más importante, el transmisor cerrado no es un buen radiador. Es decir, aunque el transmisor cerrado de Lodge era bueno para la sintonía, era malo para la comunicación práctica porque no podía transmitir lejos. Había un dilema fundamental e irreconciliable: se necesitaba un circuito abierto para producir una radiación potente, pero el resultado era que se terminaba con un resonador muy “sucio”; se necesitaba un circuito cerrado para reforzar una buena sintonía, pero esto producía una mala radiación. Era indispensable una radiación fuerte para la telegrafía inalámbrica comercial, junto con un buen secreto. Marconi se preguntaba cómo obtener ambas características al mismo tiempo.

Cuando Marconi inició extensos experimentos con su estación en Alum Bay (en la Isla de Wight), a principios de 1898, la distancia de transmisión era de unas 10 millas. Hasta ese momento, había incrementado la distancia levantando antenas más altas; sin embargo, la estabilidad mecánica de una antena era insegura cuando se alcanzaba una altura de 100 pies. El otro medio de aumentar la distancia de transmisión era aumentar la sensibilidad del receptor (es decir, el “cohesor”). El cohesor se activaba por la diferencia de potencial entre sus dos extremos. En el primer receptor de Marconi, patentado en 1896 (figura 4.2), se conectaba cerca del lado inferior a tierra de la antena. La desventaja de esto era que la curva de potencial a lo largo de la antena tenía un nodo cerca de tierra, así la diferencia de potencial aplicada al cohesor era muy pequeña allí. Para vencer esto, Marconi intentó en efecto amplificar el voltaje en la antena receptora conectando el bobinado primario de la bobina a la antena y su bobinado secundario al circuito cohesor (figura 4.3). Después de muchos experimentos, encontró que con una bobina de inducción ordinaria el efecto se deterioraba, y sólo las bobinas de inducción hechas con hilo muy fino con una cierta relación entre sus bobinados primario y secundario

aumentaban el efecto. Marconi presentaba que esta mejora en la sensibilidad del receptor podía tener alguna relación con la sintonía. Cuando presentó la patente de su bobina de inducción (el “jigger”, como le llamó más tarde), Marconi insertó dos sentencias relacionadas con la sintonía en la especificación provisional⁶:

Es deseable que la inducción de la bobina esté en sintonía con las oscilaciones eléctricas transmitidas.

La capacidad del condensador debe variarse (para obtener los mejores efectos) si se varía la longitud del hilo.

Con este receptor (figura 4.4), Marconi transmitió con éxito a través del Canal de la Mancha, a una distancia de 32 millas.

El “jigger” receptor fue el comienzo del sistema sintonizado de Marconi más eficiente. En uno de sus experimentos en 1898, instaló una antena transmisora de 150 pies en su estación en St. Catherine, en la isla de Wight y una antena de 56 pies en un barco. En la estación receptora en Poole, levantó dos antenas receptoras con “jiggers” sintonizados en cada una de estas antenas. La distancia entre St. Catherine y Poole era de 30 millas, y cuando la distancia entre el barco y Poole era de 10 millas los dos receptores podían recibir cada mensaje por separado.⁷ Con estos experimentos Marconi descubrió las reglas empíricas para los bobinados de sus “jiggers” que proporcionaban las mejores condiciones de sintonía.

En aquel tiempo no era posible satisfacer la condición de sintonía $L_1C_1 = L_2C_2$ midiendo o calculando la capacitancia y la inductancia de los diversos circuitos, principalmente debido a las dificultades inherentes en la medición de la inductancia. Marconi (1901, pág. 511) recordó más tarde: “Había encontrado que no era práctico con ninguno de los métodos que yo conocía medir la inductancia de, por ejemplo, dos o tres espiras de hilo. Para calcular la inductancia del secundario de transformadores pequeños, el efecto mutuo de otro circuito próximo y los efectos debidos a la inducción mutua complicaban grandemente el problema.” Fleming (1900, pág. 90) comentó: “Aunque es fácil describirlo, exige una gran destreza y habilidad hacer la sintonía requerida.” La sintonía no era un principio matemático sino un *arte*. Captar con sintonía requería más técnica que habilidad matemática, Marconi con sus “jiggers”, era el maestro en ello. El diario de 1898 de George Kemp, primer ayudante de Marconi, muestra el modo tortuoso con que procedieron:

14 Nov.– “Jigger” No. 26 – primario 150 espiras secundario 200 espiras

16 Nov.– Se da instrucciones a la otra estación para que ponga su “jigger” y su MM recibida [absolutamente] con un detector que les de Q [bueno pero olvidado] sin el “jigger”. Les dije que pusieran 5 vueltas de inductancia en serie con su antena que daba las señales más fuertes, pero al aumentar el número de espiras me daban menos energía. Nota – Hay puntos de sintonía que precisan toda la atención.⁸

El sistema de sintonía inicial de Marconi, sólo tuvo poco éxito. Con sus “jiggers” receptores, no era capaz de recibir dos mensajes en la estación receptora “si las dos estaciones transmisoras se colocaban a igual distancia de él” o la señal de una estación era mucho más fuerte que la otra. Razonó que el punto débil en su sistema estaba en el transmisor, y pronto llegó a la conclusión que “es necesario alguna forma de transmisor menos amortiguado” (Marconi 1901, pág. 509). La reducción de la amortiguación estableció una meta tecnológica, pero aquí Marconi se enfrentaba a un obstáculo fundamental: si bien un vibrador persistente con menos amortiguación (como el circuito cerrado de botella de Leyden de Lodge) era un mal radiador, un buen radiador (como la antena recta de Marconi) era un mal resonador debido a su fuerte amortiguación. Lodge pensaba que un buen resonador era incompatible con un buen radiador.

Enfrentado con este obstáculo, Marconi intentó al principio insertar una inductancia en el transmisor, como sugería la patente de Lodge de 1898. Por medio de experimentos Marconi determinó como influía la inductancia en la transmisión y sintonía de una señal. Sus resultados eran coherentes con la teoría, debido a que el factor de amortiguación en la descarga oscilante $L-R-C$ era $R/2L$, aumentando la inductancia o reduciendo la resistencia podía reducir la amortiguación. Reducir la resistencia implicaba acortar la antena, que ponía en peligro la meta de Marconi de la comunicación a larga distancia. Aumentar la inductancia hubiera sido una

solución, pero en la práctica añadir bobinas de inductancia al transmisor resultaba poco satisfactorio. La inductancia era, en cierto modo, igual que aumentar la resistencia para las oscilaciones de alta frecuencia. Por tanto, Marconi llegó a la conclusión que el fallo lo creaba la pequeña capacidad de los conductores en proporción a sus inductancias (ibid.). Lodge había considerado una gran capacitancia como una especie de depósito de energía.⁹ Max Plank (1897) y S. Lagergren (1898) calcularon una fórmula teórica para un cierto oscilador que indicaba que las grandes capacitancias o grandes inductancias estaban asociadas con la reducción de la amortiguación.

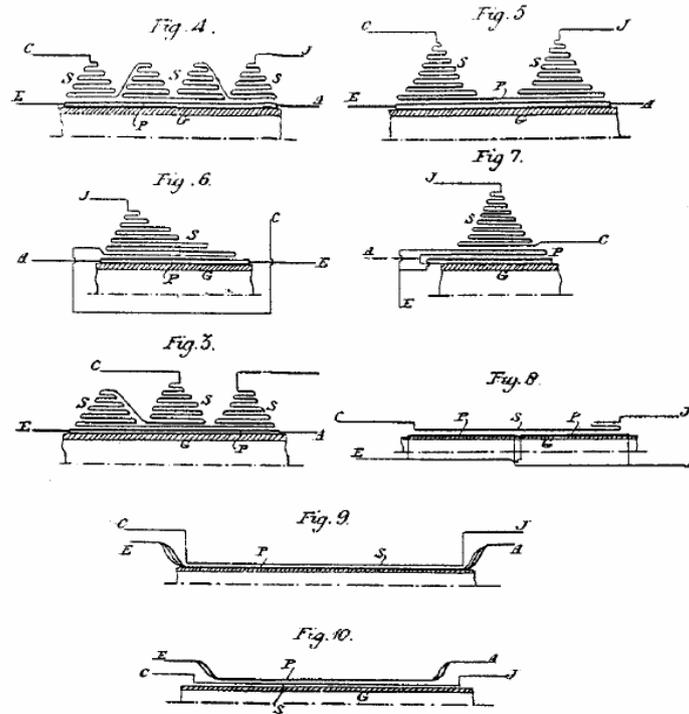


Figure in Drawings.	Diameter of Tube G in centimetres.	Diameter of Wires in centimetres.		Resistance in Ohms.		Number of Turns in Windings.		Length in centimetres.
		Primary.	Secondary.	Primary.	Secondary.	Primary.	Secondary.	
Fig. 3	.935	.01	.01			2 layers of 180 turns each in parallel.	3 sections of 10, 12, 10 layers with 150 45 40 45 40 39 40 35 37 35 30 35 30 25 23 25 20 29 20 13 25 15 12 21 17 5 15 14 10 5 turns—	2.5
4	.937	.012	.012			2 layers of 180 turns each in parallel.	4 sections of 9 layers each with 40 30 40 35 35 35 35 30 30 30 30 27 27 27 27 23 23 23 23 20 20 20 20 15 15 15 15 10 10 10 10 5 5 5 5 turns—	4.0

Improvements in Apparatus Employed in Wireless Telegraphy.

No 12,326—A.D. 1898.

Figura 4.4

Jiggers de Marconi y condiciones de sintonía. Fuente: G. Marconi "Mejoras en aparatos empleados en telegrafía inalámbrica", patente 12.326 (1898).

Para aumentar la capacitancia, Marconi multiplicó primero el número de antenas. Este método no tardó en resultar poco práctico, debido a que en un barco no se podían instalar antenas altas y pesadas. Después, hizo una “antena cilíndrica concéntrica” para el transmisor y el receptor¹⁰ (figura 4.5). La antenna cilíndrica, de un diámetro de 3 pies y 25–30 pies de altura, incluía el mérito de ser un circuito abierto y un circuito cerrado. Esto no era una verdadera síntesis; la antenna cilíndrica concéntrica jugaba el papel de una guía ondas concéntrica, y así la radiación emitida por ella era muy débil. Aunque muy experimental, la antenna concéntrica indica que Marconi comenzaba a considerar los circuitos abierto y cerrado como complementarios, no contradictorios. Marconi el “práctico” estaba derribando lo que Lodge y otros famosos físicos consideraban irreconciliable.

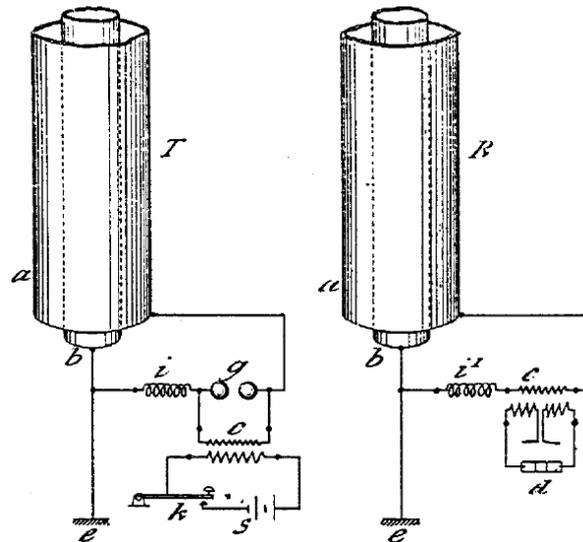


Figura 4.5

Transmisor y receptor de Marconi que emplea una antena cilíndrica concéntrica. Esto era un “híbrido” entre un sistema abierto y cerrado. Fuente: G. Marconi, “Perfeccionamientos en aparatos para telegrafía inalámbrica.” Patente británica 5.387 (1900).

Pronto se introdujo otro avance revolucionario cuando Marconi adoptó un “jigger” en el transmisor para combinar el circuito cerrado de descarga con el circuito abierto de antena (figura 4.6). Esto se describe en la patente “cuatro sietes”¹¹, donde Marconi deja claro que el circuito de antena debe estar convenientemente sintonizado para ello y especifica una dimensión del “jigger” transmisor. Este método resultó ser extremadamente bueno para la sintonía entre el transmisor y el receptor, ya que se reducía considerablemente la amortiguación.¹² Fleming comentó más tarde (1903a) que la patente 7.777 de Marconi proporcionó “el medio de radiar trenes de ondas más o menos continuos.” Habiendo presentado esta patente, Marconi y Kemp comenzaron extensos experimentos para obtener las mejores condiciones de sintonía para el “jigger” transmisor, los condensadores transmisores, el “jigger” receptor y los condensadores receptores. Kemp recoge algunos de estos experimentos en su diario:

12 Abril, 1900 – Exp. Entre Haven & Leedle; con 204 = 60 pies “jigger” para la recepción en Needles y cinco espiras en la impedancia grande en el circuito secundario de nuestro “jigger” T, en Needles se recibe M [que significa perfecto] y con 30 espiras de impedancia en la estación de Needles se recibe S [que significa parcialmente legible], pero con 140 espiras de impedancia en la estación de Needles se recibe Q [bueno pero con desvanecimientos]...

7 Mayo, 1900 – Experimento con 224 = 130 pies “jigger” también 112 = 110 pies aquí, y con 202 = 130 pies “jigger” y en Leedles recibo M [que significa perfecto] con casi cualquier composición que pueda hacer... Una buena sintonía – experimento con 215 = 150 pies “jigger” en Leedles; 6 botellas y 25 espiras de “Henry largo” aquí pero nada en Needles con esto da esa estación M, mientras que con 6 botellas y 30 espiras de “Henry largo” no da señales. Esta era una buena sintonía.

9 Mayo – con 112 “jigger”; 7 + 4 botellas de 30 “Henry largo” aquí y 35 “Henry largo” en Needles; 10 + 4 botellas de 49 “Henry largo” aquí y 70 “Henry largo” en Needles. Después probé 202 = 130 pies

“jigger” en Needles con 7 botellas y 29 espiras de “Henry largo” cuando ellos reciben M, después se bobinó con 226 con primario de 10 pies y secundario de 10 pies de hilo del No. 28 en un tubo de vidrio de 1,4 cm. De diámetro, cuando las señales recibidas eran débiles, desaparecen...

14 Mayo – Marconi parte para Londres¹³

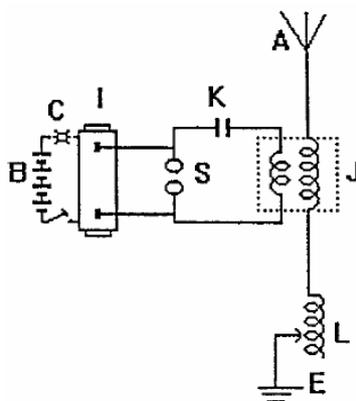


Figura 4.6

Transmisor Marconi “cuatro sietes” en 1900. A: antena. B: batería. I: bobina de inducción. C: interruptor. S: Chispero. K: capacitancia. L: inductancia. J: jigger. Fuente: G. Marconi, “Perfeccionamientos en aparatos para telegrafía inalámbrica”, patente británica 7.777 (1900).

Marconi y Kemp hicieron más experimentos entre Julio y Septiembre de 1900. A finales de Septiembre, por primera vez, consiguen la “doble recepción”. La estación Marconi de Niton envió dos mensajes desde dos antenas diferentes, y estos mensajes se recibieron por separado en la estación de Haven con dos antenas diferentes, cada antena receptora estaba sintonizada para cada transmisor. El sistema de sintonía de Marconi incluso aumentaba considerablemente la distancia de transmisión. En palabras de Marconi (1901, pág. 515), era un “aparato sintonizado apto para uso comercial.”¹⁴ El momento era oportuno, ya que necesitaban un sistema potente para la estación de Poldhu.

Pero el nuevo sistema de sintonía “cuatro sietes” de Marconi no estaba libre de problemas. El peor de todos, era más vulnerable a la disputa de patentes, ya que Lodge había presentado una patente sobre la sintonía. Ferdinand Braun también había solicitado (en 1899) una patente sobre “Mejoras relacionadas con la transmisión de señales telegráficas eléctricas sin hilos de conexión”, que se publicó en Enero de 1900.¹⁵ En esta patente, Braun, sin dar detalles, describe un modo de emplear un transformador para conectar un circuito cerrado con botella de Leyden a una antena oscilante. Al igual que Braun, Marconi empujó un “jigger” con acoplamiento inductivo. Aunque Marconi menciona que el circuito de antena “es preferible que esté adecuadamente sintonizado para este propósito,” y aunque menciona una dimensión para el “jigger” transmisor, las patentes de Lodge y Braun hacían que la base de la patente 7.777 de Marconi fuera vulnerable al desafío.

La ayuda de Fleming fue crucial en esta coyuntura. Su asesoría científica a la Compañía British Edison–Swan durante el periodo 1882–1893 se había relacionado principalmente con temas de patentes, y había actuado como testigo experto en otras disputas de patentes. Justo antes que Marconi presentara la especificación completa de la patente 7.777, Fleming, Marconi, John Fletcher Moulton (apoderado de patentes de Marconi), y el Mayor Flood–Page (Director Gerente de la Compañía Marconi) discutieron el mejor modo de reforzar la reclamación de la patente. Adivinando el litigio con Braun, Fleming afirmó que la estrategia más simple era argumentar que el transformador oscilante de Braun había sido precedido por el de Nikola Tesla. Pero claramente esto no era la mejor táctica, ya que debilitaría la base de la propia reclamación de Marconi.¹⁶

Una estrategia superior sería enfatizar los aspectos nuevos de la patente de Marconi. Fleming señaló tres aspectos:

- La mejora de Marconi consistía en la sintonía de los cuatro circuitos en el transmisor y en el receptor, exigiendo la condición $L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3 = L_4C_4$, donde L y C son las inductancias y capacidades respectivas.

- La cuádruple sintonía de Marconi, de hecho, aumentaba enormemente la distancia de transmisión.
- Para producir las vibraciones persistentes en el transmisor, el acoplamiento inductivo entre el oscilador y la antena debía ser débil.¹⁷

Las recomendaciones de Fleming se reflejaron en la especificación completa. Y en parte como resultado de esta estrategia, la patente sobrevivió a la subsiguiente litigación.¹⁸

El ataque de Maskelyne y la crucial demostración de Marconi – Fleming

El sistema “cuatro sietes” de Marconi se adoptó en el diseño de la estación de Poldhu en 1901. Aumentó la distancia de transmisión, ya que concentraba la energía radiada en un pequeño rango de frecuencia. Sólo después que Marconi sintonizara todos los circuitos del transmisor de Poldhu con sus “jiggers” se estabilizó la transmisión entre Poldhu y Crookhaven (una distancia de más de 250 millas).¹⁹ El sistema “cuatro sietes” de Marconi también ayudó a persuadir a los miembros de la directiva de la Compañía Marconi (que presentaban objeciones al arriesgado experimento basándose en que las potentes ondas necesarias para las señales trasatlánticas podrían interferir con las otras comunicaciones barco–costa, donde residía el éxito de la compañía) para apoyar al experimento trasatlántico. Para persuadir a la directiva, Marconi tenía que demostrar “líneas de comunicación aisladas” entre la estación transmisora de St. Catherine (la estación de Niton) y la estación receptora en Poole (la estación de Haven, a 30 millas de distancia).

Se hicieron tres experimentos usando el montaje “cuatro sietes” de Marconi. En el primero, dos transmisores, sintonizados a frecuencias específicas, enviaron mensajes diferentes al mismo tiempo desde St. Catherine, y dos receptores separados, sintonizados respectivamente a estas frecuencias transmisoras, imprimieron dos mensajes diferentes. Marconi conectó después las dos antenas receptoras y unió inductivamente sus dos receptores a una única antena. Se emitieron dos mensajes –uno en inglés y otro en francés– desde St. Catherine. Los dos receptores imprimieron los dos mensajes separadamente a pesar de estar conectados a una única antena. En el tercer experimento, la línea de transmisión entre St. Catherine y Poole fue cruzada oblicuamente por otra línea entre Portsmouth y Portland. Ambas señales se transmitieron perfectamente. Estos experimentos fueron hechos sólo ante la directiva de Marconi, pero Fleming escribió más tarde una carta al *Times* describiendo el éxito en la sintonía comercial.²⁰

El sistema de Marconi no siempre estaba libre de dificultades. La sintonía demostró problemas durante la regata de yates de Nueva York el verano de 1901, cuando el sistema de Marconi y otro construido por el inventor americano Lee DeForest, situados en barcos de la competencia enviaron mensajes a la prensa, generando interferencias con el sistema de un tercer competidor desconocido.²¹ Aunque este suceso en particular no tuvo mucha influencia, después del éxito de Marconi en la telegrafía inalámbrica trasatlántica en Diciembre de 1901 la sintonía se convirtió en una importante edición pública cuando algunos individuos que habían financiado a otros intereses en la telegrafía submarina por cable criticaron el plan de Marconi. Por ejemplo, *The Electrician* publicó lo siguiente:

Si se puede establecer la comunicación inalámbrica a través del Atlántico, sería perfectamente factible todas las veces para cualquiera bien en Inglaterra o en Norteamérica –o, además, a cualquiera en una parte amplia del globo– levantar aparatos similares que pudieran continua y regularmente “marcar” todas y cada una de las palabras de cualquier mensaje... De hecho, si el Sr. Marconi establece la telegrafía inalámbrica con América, sus señales se dispersarán también por toda Europa;... cualquiera en esta frontera puede “marcar”, y en toda esta área podría interferir con otros aparatos telegráficos inalámbricos que trabajaran localmente.²²

Este tipo de crítica se dirigía a la posibilidad de perder el secreto y la posibilidad de interferencias con otras estaciones que estuvieran trabajando. El primer problema puede ocurrir también con el cable submarino y la telefonía; el segundo pertenece principalmente a la telegrafía inalámbrica.

El 20 de Febrero de 1902, Marconi se dirigió a la quinta reunión general de la Compañía Marconi. Después de dar una breve descripción de los experimentos en los 2 años pasados en telegrafía trasatlántica, y después de refutar el escepticismo corriente en el logro, Marconi defendió confidencialmente su sistema sintonizado, afirmando que podía transmitir a través del océano “sin interferencias con, o, bajo las condiciones ordinarias, ser interferido, por cualquier barco que trabajase con sus propias instalaciones de radio.” También apuntó que en la telegrafía por cable un experto podía mandar mensajes sin cortar el cable. Al final de su discurso propuso un desafío (Marconi 1902a, pág. 713):

El sábado parto de Inglaterra para el Canadá y espero regresar a Inglaterra a finales de Marzo. A mi regreso, Sir W. H. Preece o el prof. Oliver Lodge, serán de la opinión que, en el espacio de una semana, después de darme la noticia prevista, he podido interceptar y leer mensajes probablemente transmitidos por mi, a horas preestablecidas, en ese periodo entre dos de mis estaciones, y me alegraría colocar poner a su disposición una estación cualquiera adyacente a la mía o si lo desean, hacer sus operaciones desde un barco, en lo que a mí me respecta, serán bienvenidos.

The Electrician respondió inmediatamente que los términos de la prueba no eran imparciales, debido a que “no se espera que ninguno de estos expertos se vean satisfechos de usar una estación cercana a una estación Marconi, y no es razonable esperar que construyan ellos mismos una estación costosa en sólo una semana para esa prueba.” *The Electrician* también indicó que una semana sería muy poco tiempo (apoyando por tanto la declaración de Marconi). Pero esto no significa que fuera imposible. En principio, “la sintonía puede ser ineficaz para impedir cualquier intento determinado de captar las señales que sus estaciones dispersan en todas direcciones.” Además, *The Electrician* argumentó, mostrando que la emisión sería difícil aunque no hubiera interferencias en absoluto.²³ Como predijo *The Electrician*, ni Lodge ni Preece se prestaron a la prueba. Rápidamente se olvidó, enterrada por otros éxitos y escándalos de Marconi.

En Marzo de 1902, durante un viaje a los Estados Unidos, Marconi recibió mensajes con “SSS” con un impresor Morse a través de 1500 millas. Este éxito fue seguido por una fuerte crítica de Silvanus Thompson, que reveló que ni la estación transmisora de Poldhu ni el cohesor de mercurio usado en San Juan eran de diseño de Marconi. Además, Thompson reclamó que el transmisor había sido diseñado por Fleming y que el cohesor había sido inventado por el ingeniero italiano Luigi Solari. Thompson argumentó además (y no por primera vez) que Oliver Lodge era el verdadero inventor de la telegrafía inalámbrica (Thompson 1902a; ver capítulo 2 anterior).

Poco después del ataque de Thompson, se reveló el intento de Marconi de presentar su propia patente sobre el cohesor de Solari. Esto hizo surgir cuestiones relacionadas con su propia ética. Marconi escapó a la cuestión anunciando la invención de un nuevo detector magnético basado en el descubrimiento de Ernest Rutherford en 1896 del efecto magnetizante de las ondas electromagnéticas. El detector libró a Marconi de los dañinos efectos del cohesor de Solari.²⁴ Desde Julio a Septiembre de 1902, Marconi continuó experimentando la telegrafía inalámbrica de larga distancia entre Poldhu y su laboratorio a bordo del *Carlo Alberto*. Mientras navegaba hacia Italia en Septiembre, Marconi consiguió recibir mensajes telegráficos (no meramente “SSS”) de Poldhu a una distancia de 750 millas a través de tierra y mar. Esta noticia, junto con la noticia de los primeros mensajes telegráficos a larga distancia, fueron ampliamente publicitados por el informe de Solari en *The Electrician* (1902).

Incluso el escéptico *Electrician* admitió que había que felicitar al Sr. Marconi.²⁵ Sin embargo, *The Electrician* afirmó que las señales habían sido emitidas en Inglaterra, “con instrumentos no sintonizados por la Compañía Marconi para este propósito.” Los experimentos de Marconi, mantenía el artículo, habían demostrado de hecho la falta de secreto en la telegrafía a larga distancia y la posibilidad de captar a otras estaciones.²⁶ El Director Gerente de la Compañía Marconi negó rápidamente la reclamación del *The Electrician*, pero el diario publicó después un detallado reportaje sobre la emisión de Nevil Maskelyne. Maskelyne publicó sus papeles de Morse en que se imprimieron los puntos y rayas y afirmó que los mensajes impresos en sus papeles eran exactamente los mismos que lo que había recibido Solari a bordo del *Carlo*

Alberto navegando hacia Italia. Y Maskelyne (1902) hizo otras afirmaciones que sorprendieron a Marconi y su Compañía:

He estado casi constantemente en contacto con las estaciones Marconi en las diversas partes del país. En todo caso he observado que nuestros trabajos producen interferencias mutuas. En consecuencia, infiero que estas estaciones en particular no están equipadas con los aparatos sintonizados del Sr. Marconi. No puedo adivinar las razones de ello; pero este es el hecho. Por supuesto, he leído la maravillosa eficacia de la sintonía. He leído los “triumfos” conseguidos un día tras otro. He leído de experimentalistas – incluso a Sir Oliver Lodge, a quien le debo tanto – que han probado a interceptar los mensajes de Marconi. Así surge la cuestión, ¿por qué no usa el Sr. Marconi sus aparatos sintonizados? Parece que son demasiado preciosos para proporcionarlos a las estaciones. Pero, deben usarlos *en algún sitio*, y la única conclusión a la que he podido llegar es que el montaje sintonizado debe emplearlo exclusivamente el Sr. Marconi en la última y mayor estación en Poldhu. Además, cuando fui a Porthcurnow, a 18 millas de distancia, recibí los mensajes de Marconi con un circuito colector de 25 pies levantado en un andamio. No es extraño que me interesara. Cuando, finalmente, se levantó el mástil y se instaló un circuito colector del tamaño completo, el problema que se presentó no era como interceptar los mensajes de Poldhu, sino como tratar el enorme exceso de energía. Por supuesto, no tuve ninguna dificultad, y al pasar mis instrumentos por medio de líneas terrestres a la estación más abajo en el valle, tuve todas las señales de Poldhu en mi hogar a cualquier hora del día y la noche. Por esta razón afirmo saber algo de los experimentos que se hicieron entre Poldhu y el “*Carlo Alberto*.”

Si los mensajes sintonizados de Marconi eran tan fáciles de interceptar, Maskelyne preguntaba, “¿Qué ha sido de la sintonía de la que he oído hablar tanto?” Maskelyne retó a Marconi: ¿Puede el Sr. Marconi sintonizar su estación de Poldhu para que, trabajando un día tras otro, no afecte a la estación de Porthcurnow?... sólo ha conseguido demostrar que no puede.”

Maskelyne, que provenía de una familia acaudalada y muy conocida, era un electricista autodidacta que se había interesado en la telegrafía inalámbrica desde finales de la década de 1890. Su demostración en 1899 que se podía explotar la pólvora controlada por radio generó un gran interés público. En 1900, en la reunión anual de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia en Bradford, demostró un sistema de comunicación entre un globo y una base separados por 10 millas.²⁷ Junto a H. M. Hozier, secretario de Lloyd’s de Londres, intentó desarrollar un sistema telegráfico inalámbrico para la compañía de seguros; sin embargo, sin emplear una antena conectada a tierra (es decir, sin violar la patente de Marconi) no pudo obtener resultados prácticos. Después que Lloyd’s firmara un contrato con Marconi para este propósito, Maskelyne comenzó a criticar el monopolio de la telegrafía inalámbrica de Marconi. Finalmente se convirtió en una figura líder de la facción anti-Marconi. Maskelyne tenía varias patentes en telegrafía inalámbrica, pero después de su debacle con Lloyd’s pareció estar más involucrado en los ataques a Marconi que en desarrollar su propio sistema práctico.²⁸

Después de la publicación del reportaje de Maskelyne, surgieron opiniones críticas relacionadas con los experimentos de Marconi en Poldhu. Se argumentó en *The Electrician* que “es más importante que tengamos un sistema telegráfico efectivo barco a barco a que la Compañía Marconi pueda establecer la comunicación telegráfica a través del Atlántico.”²⁹ La Compañía Marconi castigó los mensajes impresos de Maskelyne como falsificaciones y afirmó que el “pinchazo” por un experto no era el problema, ya que era posible en la telegrafía por cable y en la telefonía. En cambio, la compañía argumentó que su prioridad era desarrollar una tecnología que no interfiriera con la comunicación ordinaria barco a costa, y que confiaba en su habilidad para hacerlo, y de hecho se había hecho en Poldhu (Hall 1902). En resumen, la compañía comenzó a dar más importancia a la interferencia que a los “pinchazos” como el mayor problema. Los críticos pidieron una “prueba definitiva de justicia de su repetida reclamación que podía trabajar la estación de Poldhu... sin interferir con otras estaciones en su proximidad.”³⁰

El 9 de Febrero de 1903, Marconi regresó a Inglaterra desde los Estados Unidos. Estando en los Estados Unidos, había ayudado el Presidente Theodore Roosevelt a enviar un mensaje al Rey Edward por telegrafía inalámbrica. Sin embargo, la respuesta del rey llegó por cable telegráfico, y se debió a que la oficina Postal cercana a Poldhu, que en ese momento había cerrado, no había entregado el telegrama a la estación de Poldhu. Marconi culpó a la Oficina

Postal por esta negligencia. Al mismo tiempo, la Compañía Telegráfica Anglo Americana, que estaba a cargo del negocio de la telegrafía trasatlántica submarina, publicó críticas a la telegrafía inalámbrica de Marconi por su falta de secreto. En respuesta a esta crítica, Marconi anunció en una entrevista del *St. James Gazette* (publicada el 9 de Febrero) que estaba “bastante preparado para aceptar una licencia sujeta a revocación si las instalaciones navales del sistema terrestre existente eran interferidos por medio de la inducción.” Marconi también declaró que “durante los experimentos con el *Carlo Alberto* se levantó una estación cerca de nosotros y hubo un “pinchazo”, pero entonces no se intentaba mantener el secreto.” Maskelyne escribió después una agria carta al *St. James Gazette* indicando que su estación en Porthcurnow estaba a una distancia de 18 millas, y que había tratado de conseguir el secreto, más que “pinchar” los mensajes.³¹

Marconi se decidió a diseñar un “espectáculo” crucial sobre el funcionamiento de su sistema sintonizado y de la seguridad de la estación de potencia de Poldhu (figura 4.7). El programa fue preparado por Fleming. Una pequeña estación transmisora que simulaba a una estación ordinaria de un barco se construyó a 100 metros de la gigantesca estación de Poldhu. La potencia de la estación pequeña era $\frac{1}{100}$ de la grande. Las dos estaciones se sintonizaron a diferentes frecuencias. Se instalaron en la estación de Lizard dos de los receptores duplex de Marconi, uno sintonizado a la estación pequeña y el otro a la grande. El experimento consistía en transmitir dos mensajes diferentes desde estas dos estaciones al mismo tiempo y recibirlos por separado en la estación de Lizard.

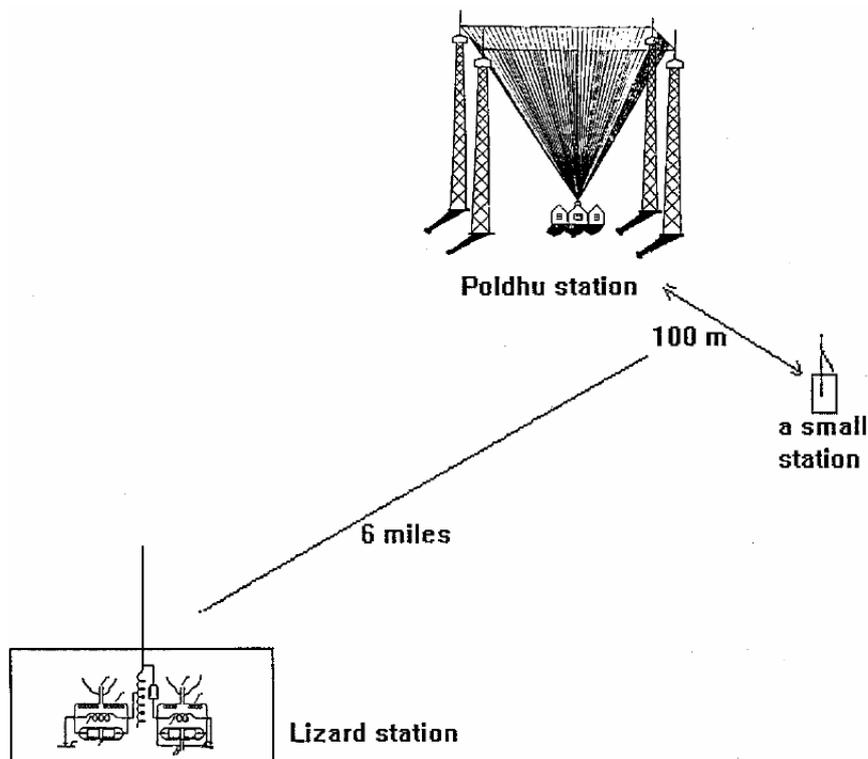


Figura 4.7

La demostración crucial de Marconi y Fleming. Se emitieron por separado dos mensajes desde la “gran” estación de Poldhu y una estación pequeña cercana y se captaron por separado en la estación de Lizard, a 6 millas de distancia.

Fleming preparó dieciséis mensajes. Ocho eran los mensajes típicos barco a costa para la estación pequeña; los otros ocho incluían algunos mensajes cifrados en ABC y algunas sentencias simples en inglés. Estos se transmitieron con la estación grande de Poldhu. Guardó copias para una comparación final con las señales transmitidas, Fleming puso los mensajes en sobre sellados para mantenerlos en secreto, sin mostrarlos a Marconi. Inspeccionó la estación de Poldhu para determinar si estaba trabajando a toda su capacidad. Para demostrar que esto era cierto, Marconi preparó otra de sus estaciones, esta localizada a 200 millas en Poole, para recibir

simultáneamente los mensajes emitidos desde la estación de Poldhu. Como Fleming estaba para inspeccionar los mensajes recibidos en Lizard en la Compañía de Marconi, preparó un ayudante desinteresado, “sin conexión con la organización Marconi,” para que permaneciera en Poldhu, donde su deber era abrir los sobres cada cierto tiempo y entregar los dos primeros a los operadores de las dos estaciones. Los operadores enviarían los mensajes durante 10 minutos; después de un intervalo de 5 minutos, el ayudante les daría los sobres que contenían los dos siguientes mensajes, y así sucesivamente. El experimento se hizo el 18 de Marzo de 1903, desde las 2 a las 4 pm. Marconi y Fleming vigilarían los mensajes imprimidos en la estación de Lizard. Después, Fleming le pidió a Marconi que leyera los mensajes que habían recibido de la estación pequeña. Marconi los leyó y escribió los ocho mensajes “sin un solo error.”

En su Lectura Cantor del 23 de Marzo (Fleming 193a, pág. 772) y en una larga carta al *Times* fechada el 4 de Abril,³² Fleming declaró orgulloso que estos resultados eran una demostración satisfactoria de la carencia de interferencias entre los sistemas sintonizados de Marconi. En la sexta reunión general de la compañía, que tuvo lugar el 31 de Marzo de 1903, Marconi (1903b) declaró que los experimentos de Fleming confirmaron su creencia que no podía haber interferencias entre la estación de Poldhu y las comunicaciones ordinarias barco-costa, siempre que todos ellos estuvieran equipados con equipos de la Compañía Marconi. Sin embargo, el triunfo de Marconi y Fleming no duraría mucho tiempo.

Maskelyne interfiere con la Lectura de Fleming en la Royal Institution

El experimento Marconi–Fleming no había sido una demostración pública, ni había inspeccionado un testigo irreprochable los mensajes recibidos (que al fin y al cabo habían sido leídos por Marconi y comparados con las copias guardadas por Fleming). La autenticidad de la demostración, y por tanto de la sintonía y seguridad del sistema de Marconi, recaían enteramente en el propio testimonio de Fleming.³³ Su autoridad resultaba de la reputación que había alcanzado en los anteriores 20 años en la ingeniería eléctrica británica y la comunidad de físicos. Se conocía a Fleming por ser meticuloso, honesto, ingeniero y científico trabajador duro que había tendido los fundamentos de la ingeniería científica eléctrica (Hong 1995a, b).

¿Pero tenía valor la reputación de Fleming en el nuevo mundo de la telegrafía inalámbrica? Los físicos como Oliver Lodge, pioneros en la ingeniería al igual que Fleming, telegrafistas como Alexander Muirhead y William Preece, e inventores autodidactas como Marconi y Maskelyne estaban compitiendo ahora por llegar a ser una autoridad en el nuevo mundo de la “ingeniería del éter”. Además, como resultado del monopolio virtual del mercado del propio Marconi, el reto para él era intenso y provenía de varias direcciones. Como resultado, desde 1899 hasta 1903 Fleming había trabajado duro para tener credibilidad en este nuevo campo, y había hecho prácticamente todo al trasladar la telegrafía inalámbrica práctica de Marconi al lenguaje de la ingeniería científica. En sus dos Lecturas Cantor (Fleming 1900, 1903a) que se leyeron a nivel mundial y se han citado como las que han proporcionado el primer vistazo científico racional a la tecnología de la radio, Fleming había usado su autoridad como testigo cualificado para dar publicidad a las demostraciones secretas de Marconi. Por tanto, para los oponentes de Marconi, era esencial retar la credibilidad de Fleming.

Justo después que Fleming anunciara el éxito de Marconi en la sintonía práctica, Maskelyne reclamó “el derecho a exigir la justificación absoluta de las afirmaciones [de Fleming].”³⁴ Varios días más tarde, en una reunión de la compañía, Marconi declaró que Fleming podría repetir los experimentos bajo la supervisión de Lord Kelvin y Lord Rayleigh. Esta repetición no se hizo. En su lugar, Fleming preparó demostraciones a escala de laboratorio para darlas en la Royal Institution en un par de lecturas públicas sobre “Resonancia eléctrica en la telegrafía inalámbrica.” La primera lectura, dada el 28 de Mayo de 1903, estaba relacionada principalmente sobre los aspectos teóricos de la resonancia Hertziana y sus implicaciones prácticas a la telegrafía inalámbrica.³⁵ En la segunda lectura, dada el 4 de Junio, Fleming trató de las condiciones para la sintonía y la generación y recepción de oscilaciones sintonizadas. De acuerdo al breve resumen que apareció 2 semanas más tarde en *The Electrician*,³⁶ Fleming había “referido la posibilidad de sintonizar transmisores y receptores... indicando como ejemplo, los experimentos hechos recientemente por el Sr. Marconi en la costa sur de Inglaterra.” Después,

continuaba *The Electrician*, Fleming había demostrado la recepción de dos mensajes inalámbricos, uno enviado desde el laboratorio de Fleming en el University College de Londres y el otro por el propio Marconi desde la distante estación de Poldhu. Estos mensajes, se indicó, no se recibieron directamente en la Royal Institution; se habían recibido en Chelmsford (donde Marconi tenía su factoría) y después retransmitidos; la razón dada para ello era que la antena levantada temporalmente en la Royal Institution era simplemente demasiado corta (60 pies) para recibir directamente el mensaje de Poldhu (figura 4.8). Estas demostraciones no se diseñaron para mostrar la carencia de interferencias entre diferentes sistemas transmitiendo simultáneamente en diferentes frecuencias, sino más bien para demostrar la fuerza de los mensajes inalámbricos con un sistema inalámbrico. Pero Maskelyne tenía otra meta en mente.

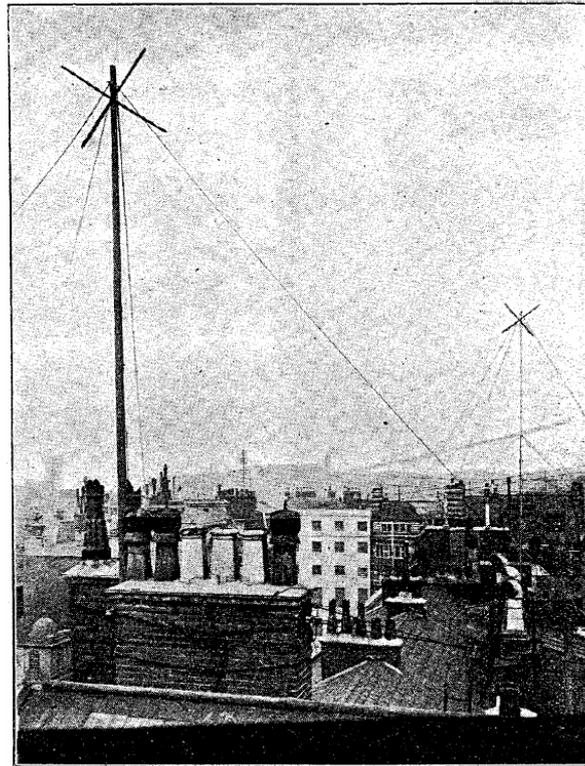


Figura 4.8

La antena levantada en el tejado de la Royal Institution para la lectura de Fleming con la que interfirió Nevil Maskelyne el 4 de Junio de 1903. Fuente: *Wireless Telegraphy*, ed. E. Sharman (S.C. Mss. 17 Instituto de Ingenieros Eléctricos).

Según esta memoria, Maskelyne planeó al principio asistir a las lecturas pero “al momento se dio cuenta que la oportunidad era demasiado buena para dejarla pasar.” Decidió probar la afirmación de Marconi sobre la no interferencia intentando interferir en la lectura de Fleming sobre la sintonía. Pensó, “que era algo más que un derecho; era un deber.” Marconi había afirmado siempre que incluso la estación gigante de Poldhu no podía interferir con su comunicación de baja potencia barco a costa. Si este era realmente el caso, razonó Maskelyne, las estaciones de transmisión ordinarias realmente no podrían causar problemas en las comunicaciones entre las estaciones Marconi. Instaló una bobina de inducción de 10 pulgadas en el Teatro Egipcio (que era propiedad de su padre), cerca de la Royal Institution, y ajustó su transmisor para que la radiación estuviera “fuera de sintonía” con la de Marconi. Usó ondas cortas, ya que sabía que Marconi usaba ondas largas. El problema final era como saber si su prueba había tenido éxito o no. Para ello, envió mensajes “calculados para irritar y provocar a alguien en el extremo receptor.”³⁷ La lectura comenzó a las 5 pm. Maskelyne comenzó a transmitir alrededor de las 5:45.

Gracias a Arthur Blok (1954), que ayudó a Fleming en la lectura, tenemos una detallada descripción de lo que ocurrió en el salón de lectura de la Royal Institution:

Uno del equipo de la Compañía Marconi estaba esperando en el impresor Morse y mientras yo [Arthur Blok] estaba ocupado con la demostración de varios experimentos escuché un campanileo ordenado en la lámpara de arco de la linterna de proyección que se usaba para dominar el teatro como si fuera un faro descarado. Estaba claro que el arco captaba señales y supusimos que los hombres en Chelmsford estaban haciendo algunos arreglos de sintonía de último minuto.

Pero cuando escuché claramente la sorprendente palabra “ratas” resonando en Morse el asunto tomó un nuevo cariz. Y cuando se repitió esta irrelevante palabra, la sospecha dejó paso al temor. El hombre en el impresor conectó el instrumento y las manecillas del reloj se movieron inexorablemente hacia el minuto que debía llegar el mensaje de Chelmsford. Pasó un corto tiempo y las “ratas” en el papel enrollado dieron paso increíblemente a una fantástica mala poesía, que, en lo que recuerdo, era algo parecido a esto

Había un joven italiano

Que estafaba con mucha gracia al público

Unas pocas líneas más *en la línea* completaron el verso, y también llegaron citas de Shakespeare.

Era evidente que algo estaba mal. ¿Era un juego práctico o estaban borrachos en Chelmsford? ¿O era más bien un sabotaje científico? La sordera de Fleming le mantuvo en un caritativo olvido y tranquilamente prosiguió la lectura. Y las manecillas del reloj con la misma indiferencia, siguieron adelante, mientras yo, con una furiosa atención dividida, miraba a la audiencia para ver si alguien se había dado cuenta de esos increíbles mensajes. Todo parecía ir bien –un testimonio del hechizo de la lectura de Fleming– hasta que mis atormentados ojos encontraron una cara de inocencia sobrenatural y entonces se resolvió el misterio. La cara era la de un hombre [el Dr. Horace Manders] que sabía que estaba asociado con el finado Mr. Nevil Maskelyne en algunos de sus trabajos científicos.

La historia terminó felizmente, al menos en lo que respecta a la lectura. Por un margen de segundos antes del momento asignado a Chelmsford, cesaron las señales vagabundas y con la mayor sangre fría que pude reunir, rompí la cinta con sus ridículos puntos y rayas, la enrollé, y con una pretensión de tirarla, la guardé en mi bolsillo. Siguió el mensaje de Chelmsford y la suerte de un ignorante Fleming lució en medio de los aplausos.³⁹

Deben observarse tres puntos en estos recuerdos. Primero, parece que ni Fleming ni Marconi tenían la más mínima sospecha de un atentado que arruinara su espectáculo público.⁴⁰ Fleming preparó su demostración pública con el mayor cuidado, y confiaba en la eficacia del sistema de Marconi. Segundo, se suponía que las antenas y receptores de Marconi en la Royal Institution no captarían ningún otro mensaje aparte de los propios de Marconi, debido a que estaban diseñados en base al sistema “cuatro sietes” de Marconi. Tercero, Fleming recibió los mensajes de Poldhu (repetidos por Chelmsford), no por las interferencias de los mensajes de Maskelyne, sino porque estos mensajes se habían parado antes que llegaran los de Chelmsford. De haber continuado unos minutos más los mensajes de Maskelyne, ciertamente habrían generado un resultado embrollado mezclándose con los de Marconi.

Fleming, una vez que le contaron el intento después de la lectura, se enfureció. El 5 de Junio informó a Marconi:

Todo fue bien en la Royan Institution y recibimos perfectamente su respuesta al telegrama del Presidente antes y en la lectura, y tengo las cintas de esta mañana de Chelmsford. Sin embargo hubo un ruín intento de desquiciarnos; cuándo llegaron no lo puedo decir. Me han contado que el ayudante de Maskelyne estuvo en la lectura y cerca del receptor. Nada de este tipo sucedió en los ensayos previos pero a las 5:45 el Sr. Woodward [un ingeniero que trabajaba en la Compañía Marconi] recibió un mensaje que venía “a través del éter” desde algún lugar y se escucharon algunos efectos misteriosos en la lámpara de arco que parecían indicar las “sacudidas eléctricas” como diría Lodge que suceden entre la placa de tierra y la antena. Se había visto al ayudante de Maskelyne holgazaneando por allí unos días antes. De todos modos el intento no tuvo ningún éxito de arruinar nuestro “espectáculo”. Tuvimos por supuesto excelentes señales de mi laboratorio. Le diré más sobre este intento de sacarnos de quicio cuando nos reunamos, pero quiero hacer algunas investigaciones antes, y si puedo encontrarlo le aseguro que no será agradable para él.⁴¹

No sabemos si Marconi agradeció la intención de Fleming de investigar, ya que no ha sobrevivido la respuesta de Marconi; sin embargo, tenemos la siguiente carta de Fleming a Marconi, en la que afirma que Maskelyne había interferido con la demostración haciendo correr una fuerte corriente de tierra cercana. “El profesor Dewar [el director de la Royal Institution]

cree que debía exponerlo,” escribió Fleming. “Como si fuera un experimento puramente científico para beneficio de la R. I. fue un acto brutal para intentar molestarla, y muy fuera de las ‘reglas de juego’. Si el enemigo probara que no han conseguido nada en la R. I. tal vez fuera bueno que lo supiera.”⁴² ¿Por qué estaba fuera de las reglas el juego? Parece ser que Fleming pensaba que el “pinchazo” de los mensajes inalámbricos estaba dentro de las reglas del juego. Fleming aparentemente creía que alguien había creado una fuerte corriente de tierra para destruir la puesta a tierra de la antena de Marconi, y por tanto interferir con la comunicación sintonizada de una forma inaceptable. En otras palabras, tenía completa confianza en el sistema “cuatro sietes” de Marconi. Pero, al contrario de la conjetura de Fleming, Maskelyne no había usado de hecho una corriente de tierra; había usado ondas electromagnéticas.⁴³ El error de Fleming estaba en que asumía que si Maskelyne había emitido realmente las ondas aéreas adecuadas debería haber usado un transmisor sintonizado similar al que estaban empleando Fleming y Marconi. Es decir, cualquiera que hubiera buscado interferir con el sistema sintonizado de Marconi debería haber usado una frecuencia muy definida diferente a la que estaba usando Marconi. Los dispositivos “cuatro sietes” de Marconi, Fleming estaba totalmente convencido que estaban protegidos contra las interferencias de otro; así, si Maskelyne había tenido éxito, no podía deberse a usar ondas aéreas. Aparentemente nunca se le ocurrió a Fleming que Maskelyne podía usar simplemente una bobina de inducción para generar ondas cortas. Maskelyne, tal vez sin pretenderlo, había usado ondas “sucias” (ondas que tienen una gran anchura de banda), a las que el sistema sintonizado de Marconi era vulnerable. La vieja y simple tecnología del transmisor de chispero, que Fleming y Marconi, junto con muchos otros, hacía tiempo que habían tirado al cubo de la basura, les había vencido. Fleming no podía imaginar que Maskelyne hubiera usado una tecnología equivocada y desfasada, y llegó a la conclusión que Maskelyne les debía haber engañado de la forma más simple posible: destruyendo la eficacia de las antenas conectadas a tierra de Fleming enviando una fuerte corriente directamente a tierra desde un lugar cercano oculto. Maskelyne, por su parte, probablemente no empleó intencionadamente un dispositivo que sabía que estaba que estaba avanzado y que sería detectado por cualquier dispositivo fuera cual fuera, sin importar como estuviera diseñado. Además, nos parece que no comprendía por completo la razón de su éxito al interferir con el sistema sintonizado de Marconi.

¿Quién era el vándalo?

Inicialmente, la interferencia de Maskelyne se mantuvo en secreto. Sólo Maskelyne, Fleming, sus ayudantes, Marconi y unos pocos empleados de Marconi sabían de ello. Pero el 8 de Junio Fleming escribió una carga al *Times* (publicada el 11 de Junio) en que decía que había sido emprendido un “intento deliberado” de “arruinar la exhibición” de la comunicación entre Londres y Poldhu por parte de un “diestro telegrafista y alguien conocedor del funcionamiento de la telegrafía inalámbrica.” Fleming recalcó la naturaleza científica y el propósito de esta demostración, invocando el sagrado nombre de Faraday y quejándose que “el teatro que había sido el sitio de las más brillantes lecturas y demostraciones del pasado siglo) no estaba protegido del ataque de un *vandalismo científico*.” Después solicitó a los lectores los nombres de los responsables de la “imitación de broma.”⁴⁴ El *Daily Telegraph* entrevistó inmediatamente a Fleming, y Cuthbert Hall, el director gerente de la Compañía Marconi. Fleming declaró que “la opinión pública habría condenado un intento de hacer a los propios perpetradores el sujeto de un ‘llamativo experimento’.” Hall afirmó que los aparatos que usó Fleming en la Royal Institution no eran tan estables como los de las estaciones comerciales de Marconi, se habían fabricado con cierta prisa para la lectura, y comentó “podemos permitirnos reír de ello” ya que se capturaron los mensajes de Poldhu.⁴⁵

En una carta al *Times*, Nevil Maskelyne, que esperaba ansiosamente la respuesta de Fleming, admitió con franqueza y orgullo lo que había hecho él y su amigo Horace Manders. Sin embargo, Maskelyne negó la acusación de Fleming de que había intentado “hundir” el espectáculo. Se defendió afirmando que podía haberlo hecho si hubiera querido. Justificó su comportamiento de dos formas: (1) Fleming no había intentado demostrar los principios científicos de la sintonía Hertziana, que no estaban cuestionados, sino la “fiabilidad y eficacia

que tenía la sintonía de Marconi.” (2) Maskelyne había adoptado el “único medio posible de averiguar el *hecho* que debía conocer el público.” ¿Cuál era ese hecho? Era que un simple radiador no sintonizado tumba los receptores Marconi ‘sintonizados’.”⁴⁶

Después de la confesión de Maskelyne, el *Daily Express* entrevistó a Fleming. Evidentemente teniendo un cierto placer al haber identificado por él mismo al perpetrador, Fleming observó que “había anticipado algunos intentos de este tipo” y había tomado “algunas precauciones”. Ignorando o pasando por alto las referencias de Maskelyne a su “simple radiador no sintonizado”, Fleming repitió su creencia que “alguien que estaba muy cerca envió a tierra corrientes de alta tensión”, y esto hacía del intento “una interferencia no legal” sino que “había entrado por la puerta trasera.” A pesar de esto, “no tuvo ningún éxito al intentar interrumpir mi lectura.” Finalmente, Fleming recordó de nuevo que “una lectura científica” en la “sagrada” Royal Institution “debe mantenerse libre de cosas de este estilo.”⁴⁷ Sin embargo, Fleming evitó responder a cuestiones relacionadas con la eficacia del sistema sintonizado de Marconi. Cuando se le preguntó, sólo repitió que la interferencia era de mala fe y no probó nada.

Fleming invocó la Ciencia y la Royal Institution en sus reproches a Maskelyne, mientras que Maskelyne se defendió en nombre del público. La reclamación de Fleming depende en gran parte del argumento implícito que Fleming no había tratado específicamente de la sintonía de Marconi, y que había estado hablando de principios físicos que trascendían las particularidades del mundo comercial. Como continuaba la disputa, parece que Fleming adoptó la estrategia de separar su lectura “científica” del sistema “sintonizado” comercial de Marconi.⁴⁸ Esta estrategia podría proteger a Fleming y Marconi. Se podía decir que los instrumentos de Fleming no eran del tipo comercial, y que la “broma de mal gusto” arruinó sólo la lectura científica de Fleming y no el sistema comercial de Marconi. Para Fleming, que pensaba de él mismo como científico, esta distinción entre ciencia y comercio era natural. Pero para el público, Fleming era inseparable de Marconi. Su argumento probablemente no convenció a mucha más gente que a Maskelyne. La antena y los otros aparatos en la Royal Institution habían sido instalados con la ayuda de Marconi, y era Marconi quien había enviado los mensajes desde Poldhu para la lectura de Fleming. Además, Fleming había afirmado claramente en la lectura, como recordó más tarde un observador, que “sus instrumentos estaban preparados para que nadie más pudiera impedir que le llegaran los mensajes de Poldhu” (Black 1903).

Maskelyne respondió: “El profesor ha citado el nombre de Faraday para condenarnos de lo que hicimos. Suponiendo que Faraday siguiera con vida, ¿quién habría sido acusado de desgraciar la Royal Institution –los que avanzan para descubrir la verdad o los que la usan para usos comerciales? El profesor Fleming dio dos lecturas esa mañana. La primera fue del profesor Fleming, el científico, y era todo lo que debe tener una lectura científica; la segunda fue por el profesor Fleming, el asesor experto de la Compañía Marconi.”⁴⁹ Para muchos, el nombre de Fleming estaba tan íntimamente conectado con el de Marconi que era difícil asociarlo con la física pura Hertziana, y de todos modos era telegrafía comercial, no el reino rarificado de las “ondas del éter”, que buscaba el interés público. En una carta al *Times*, Charles Bright, un viejo y respetable telegrafista, pedía una “investigación completa, abierta y desinteresada de los méritos del sistema desde todos los puntos de vista, acompañado por una serie completa de pruebas por autoridades imparciales.”⁵⁰ En un editorial titulado “¿Quién es el vándalo?” el *Electrical Review* se alineaba con Maskelyne:

Si resulta que Mr. Maskelyne hizo uso de medios extraordinarios para molestar al conferenciante, el profesor Fleming tiene cierta razón para su protesta; pero, si como pensamos, los medios empleados eran justos, y esto podía ocurrir en la práctica, entonces la protesta la debe hacer el público contra el profesor. En su capacidad dual de *sabio* en una institución de enseñanza, y experto en una empresa comercial, el prof. Fleming ha descubierto que mientras el público no tiene nada más que ofrecer que cortesía y respeto, debe buscar la crítica y todavía más buscar experimentos para oponerse, si es necesario, a las declaraciones del otro. Cuando el filósofo se inclina ante el comercio debe aceptar las condiciones del comercio. Habiendo descendido del alto pedestal, sobre el cual lo colocó la ciencia, a la arena del comercio y la competición, intenta, cuando es atacado, trepar de nuevo al templo sagrado, donde, al igual que el proverbial armadillo, puede evadirse en seguridad, y observar y ridiculizar a sus perseguidores. Pero, de hecho, para él es ridículo apelar en su dilema por la reverencia que sentimos por las tradiciones de la Royal Institution. Para empezar, Faraday nunca se hubiera colocado en una posición anómala; y,

además, Faraday nunca tendría interés en que el Sr. Nevil Maskelyne hubiera intentado destapar que, si así creemos la afirmación del Sr. Maskelyne, que el prof. Fleming estaba buscando, por razones comerciales, ocultar al conocimiento público.⁵¹

La controversia terminó de una forma inesperada. Además de la segunda lectura de Fleming, se habían planeado unas pocas demostraciones más para el 4 de Junio. Por la mañana, Marconi fue a Poldhu a enviar un mensaje al profesor Dewar en la Royal Institution vía Chelmsford. Ese mensaje fue captado en la Royal Institution, inspeccionado por el presidente de la Royal Society, y después pasado a Dewar. Dewar despachó después un telegrama de felicitación (por cable) a las 3 pm, que Marconi recibió fácilmente en Poldhu a las 4 pm. Finalmente, Marconi envió una respuesta inalámbrica a Dewar vía Chelmsford durante la lectura pública de Fleming; Fleming lo leyó ante la audiencia. Así, la estación de Poldhu tuvo que enviar dos mensajes diferentes de Marconi: su primer mensaje, por la mañana, y su respuesta a Dewar, después de las 4 pm.

Sin embargo, según al *Morning Advertiser*, que recogió su información de Maskelyne, la estación de Poldhu envió sólo un mensaje en el periodo entre las 11:50 am y las 4:30 pm: “BRBR. Mis mejores deseos al prof. Dewar enviados a través de Poldhu. – Marconi. PDPD,” Este sería el primer mensaje de Marconi para Dewar; no podía ser su respuesta, que fue (de nuevo según el *Morning Advertiser*) “Mis mayor agradecimiento al Presidente de la Royal Society y a Ud., por su bondadoso mensaje; Comunicación con Canadá reestablecida el 3 de Mayo.” Surgieron las dudas por la preocupación de Maskelyne si el primer mensaje de Marconi se envió repetidamente desde Poldhu hasta las 4:30. ¿Cuándo recibió Marconi el telegrama de Dewar? Si Marconi no había recibido el telegrama de Dewar a las 4:30 pm, el mensaje de Marconi no había llegado a la Royal Institution? Cuando un reportero del *Morning Advertiser* preguntó a Fleming su opinión, la respuesta de Fleming fue: “No tengo nada que decir; nada más por mi parte.”⁵² La respuesta de Fleming podría haber amplificado las dudas. Maskelyne (1903b) volvió de nuevo a la carga en la edición del 10 de Julio de *The Electrician*.

En su edición del 17 de Julio, *The Electrician* publicó una carta de Maskelyne y una carta de la Compañía Marconi que respondía al cargo de Maskelyne. En su carta, Maskelyne admitía que se había equivocado. Había descubierto que otra estación, a 50 millas de Poldhu, había captado repetidamente el segundo mensaje de Marconi emitido desde la estación de Poldhu (la respuesta de Marconi a Dewar relacionada con el reestablecimiento de la comunicación trasatlántica) después de las 5 pm. –es decir, durante la lectura de Fleming (Maskelyne 1903c). La Compañía Marconi respondió al ataque de Maskelyne el 10 de Julio con un registro detallado de las operaciones de las estaciones de Poldhu y Chelmsford del 4 de Junio, y con una copia del mensaje emitido desde ambas estaciones; el último estaba firmado por dos técnicos de cada una de estas dos estaciones y por Fleming y su ayudante en la Royal Institution. El certificado refutable de la compañía que el mensaje, que decía; “Mis mejores deseos al Presidente de la Royal Society y su bondadoso mensaje; Comunicación con Canadá reestablecida 23 Mayo” (tal como había impreso el *Morning Advertiser*), había sido emitido desde Poldhu a Chelmsford a las 5:15, y reenviado desde allí a la Royal Institution a las 5:25 (Allen 1903).

Desgraciadamente para Fleming y Marconi, el mensaje específico que la compañía certificaba que se había enviado desde Poldhu no cuadraba bien con el recibido en la Royal Institution. Según Maskelyne (1903d), el mensaje leído en la Royal Institution por Fleming decía específicamente “P.D. para R.I. – Para el prof. Dewar. Para el Presidente Royal Society y Uds. Gracias por el bondadoso mensaje; Comunicación con Canadá fue reestablecida 23 Mayo – Marconi.” Los mensajes tenían claramente el mismo significado, pero, como dijo Maskelyne, las palabras eran algo diferentes. Fleming, sin duda alguna, había recibido un mensaje desde Chelmsford, pero aparentemente no era el mismo mensaje que la Compañía Marconi había enviado desde Poldhu.

A la vista de la evidencia que el mensaje enviado desde Poldhu había sido captado por otra estación cercana, había dos posibilidades: (1) Los técnicos en Chelmsford, mientras despachaban el mensaje, podían haber transcrito mal el mensaje de Poldhu. (2) El mensaje enviado desde Poldhu podía no haber sido recibido de hecho, o haberse recibido imperfectamente en

Chelmsford. En este último caso, el mensaje que recibió Fleming en la Royal Institution se habría originado en Chelmsford por alguien que conociera algo o simplemente conjeturado el contenido del mensaje de agradecimiento de Marconi. La recepción imperfecta de mensajes era común en ese tiempo.

Maskelyne tenía pocas dudas de lo que probablemente había pasado. Como indicó, “Chelmsford podía haber enviado fácilmente un mensaje sin haber recibido una palabra de Poldhu.” Después de esa revelación, la parte Fleming–Marconi dejó de responder. La controversia terminó con dudas sobre la autenticidad de todo el montaje científico de Fleming. El *Punch* publicó una sátira de un diario de un buque de línea hecho por medio de “Marconigramas”; el chiste estaba que las historias estaban al revés debido a las interferencias de un buque cercano.⁵³

El asunto Maskelyne dañó considerablemente la credibilidad de Fleming. No podía repetir más que era un “testigo cualificado” en lo que respectaba a Marconi. No podía hacerlo, y no escribió ninguna carta más al *Times* sobre las demostraciones secretas de Marconi.

El asunto forzó a Marconi a moderar su afición a las demostraciones públicas. Desde 1896 había usado las demostraciones públicas para llamar la atención y exhibir la naturaleza práctica de su telegrafía inalámbrica. Estas demostraciones habían sido hechas por y para gente famosa, entre los que estaban Lord Kelvin, Alfred Lord Tennyson, el Príncipe Edward (posteriormente el Rey Edward VII) y otros miembros de la Familia Real Británica, el Rey de Italia, el Emperador de Rusia y el Presidente de los Estados Unidos. Los informes de estas representaciones fueron publicadas por la Compañía Marconi describiendo de forma brillante éxito tras éxito. Aunque algunas de las representaciones fueron más bien diferentes de las descripciones de ellas. En Septiembre de 1902, por ejemplo, Marconi había recibido mensajes de felicitación a bordo del *Carlo Alberto* enviados desde Poldhu por el Rey de Italia. El informe de Solari publicando el suceso decía que había sucedido sin contratiempos. Sin embargo, la recepción había sido tan mala que el temperamental Marconi había aplastado todos los receptores. Durante su segunda ronda de experimentos trasatlánticos en el invierno de 1902–03, la transmisión y recepción había sido difícil e inestable, aunque los papeles publicados describían los resultados como si hubieran sido totalmente claros (D. Marconi 1982, pág. 116–123).

El ciclo de credibilidad

El asunto Maskelyne ilumina varios aspectos interesantes de la primera historia de la telegrafía inalámbrica. Primero, delata una gran y además crítica limitación del sistema sintonizado de Marconi. Cualquier sistema sintonizado era extremadamente vulnerable a las interferencias de los viejos y simples transmisores que generaban ondas “sucias”. En 1901, Marconi había declarado “los días del sistema no sintonizado... están contados” (Marconi 1901, pág. 515), y Fleming había observado confiadamente en *The Electrician* (24 de Mayo) “Ahora es posible proporcionar al Almirantazgo y a la Oficina Postal instrumentos que tengan una frecuencia del Almirantazgo o de la Oficina Postal, y registrar la frecuencia como se registra una dirección telegráfica, para que nadie pueda usar esta frecuencia en particular.” El asunto Maskelyne indicó que para evitar las interferencias se necesitaría una especie de monopolio instrumental bajo el cual los transmisores no sintonizados estarían estrictamente prohibidos. El asunto reflejó, y aceleró, la tecnología de la transmisión inalámbrica desde un periodo en que los espectáculos públicos y sensaciones (como la primera recepción trasatlántica de las señales SSSS) habían sido esenciales para el éxito económico hasta un periodo en que se hacía un asunto serio la regulación de las frecuencias y la garantía y uniformidad instrumental.

El asunto Maskelyne tuvo un mayor impacto en la carrera profesional de J. A. Fleming. En 1899, Fleming había sido nombrado asesor científico de la Compañía Marconi por un año, con un salario anual de 300 libras.⁵⁴ Como se ha indicado en el capítulo anterior, en Diciembre de 1900, cuando estaba totalmente ocupado con los primeros esfuerzos de Marconi en telegrafía trasatlántica, Fleming consiguió un aumento a 500 libras anuales y se extendió su contrato por 3 años. Desde 1899 a 1903, y en particular después de conseguirse la primera transmisión inalámbrica trasatlántica, el papel de Fleming quedó muy limitado a ayudar a Marconi a dar demostraciones públicas e informar al público británico de los espectáculos privados de Marconi. El

asunto Maskelyne socavó sobremanera su credibilidad, impidiendo que sirviera de testigo imparcial. Además, no se renovó su contrato con la Compañía Marconi, que terminó en Diciembre de 1903. Se había convertido en algo inútil para la Marconi.

Fleming regresó al Laboratorio Pender en el University College, donde inventó en 1904 un instrumento para medir la longitud de onda (el “cimómetro”) y un rectificador de CA de alta frecuencia (la “válvula termoiónica”). En Mayo de 1905, con estos dispositivos en la mano, reestableció su relación con Marconi, habiendo creado un nuevo capital técnico y, como consecuencia directa, una nueva fuente de credibilidad.

5

Transformando un efecto en un artefacto: La válvula termoiónica

No he mencionado esto a nadie ya que podría ser muy útil.

– John Ambrose Fleming a Guglielmo Marconi, Noviembre de 1904 (Archivo de la Compañía Marconi)

Reclamando la válvula: Inventada, mejorada y litigada

Casi todas las radios domésticas construidas entre los años 1920 y 1960 empleaban “lámparas” en sus receptores. A ojos de los no expertos, se parecían a las lámparas incandescentes de Thomas Edison. Por supuesto, realmente eran tubos de vacío para amplificar las señales. Los tubos de vacío también se usaban en los transmisores, para producir ondas continuas. Su antepasado era la válvula termoiónica de Fleming, inventada en 1904. La válvula termoiónica – el primer tubo en contener un electrodo extra– se usó en el campo de la recepción inalámbrica. Rectificaba las corrientes alternas de alta frecuencia que las oscilaciones electromagnéticas inducían en la antena receptora.

En 1906, inspirado por la válvula termoiónica de Fleming, Lee DeForest inventó el audión, en el cual uno de sus tres electrodos actuaba como rejilla de control. A comienzos de la década de 1910, el audión DeForest (o triodo) se usaba no sólo como rectificador sino también como amplificador y oscilador. Esto abrió el periodo de la radiodifusión.

La historia de la invención de la válvula termoiónica es muy conocida, en parte debido a que la válvula fue la “caldera de vapor” para todos los diversos tubos de vacío que se desarrollaron durante el siglo veinte, sino también porque su invención fue dramática. La historia popular dice lo siguiente: Un curioso efecto –“el efecto Edison”– fue descubierto accidentalmente a principios de la década de 1880 por Thomas Edison y sus electricistas, que no comprendieron su mecanismo. John Ambrose Fleming, un físico ingeniero que trabajaba para la Compañía Edison Británica, investigó el efecto en las décadas de 1880 y 1890; lo entendió en términos de “conductividad unilateral” en el interior de las lámparas. Mientras servía de asesor científico a Marconi en 1904, Fleming usó sus conocimientos en el proceso de la conductividad unilateral para crear la válvula, que diseñó como detector de señales para telegrafía inalámbrica. En esta historia, Fleming medió entre la física y la ingeniería, y entre el área de la ingeniería asociada con la lámpara y el área asociada con la radio. Esta mediación no fue aleatoria, prosigue la historia, debido a que Fleming había estado trabajando en el efecto Edison desde hacía más tiempo que nadie; esto le llevó a aprovechar en 1904 una oportunidad económica que otros podrían haber pasado por alto.¹ Esta historia –contada por el propio Fleming por primera vez a finales de la década de 1910, mientras estaba en la Compañía Marconi luchando con Lee DeForest sobre la patente del tubo de vacío– es errónea.

Con la “autoría” de una tecnología en juego en el tribunal, recordar cómo inventó uno o contribuyó a la invención de la tecnología es importante. Se usan diferentes estrategias. Un inventor puede indicar diferencias radicales entre su tecnología y la de otros. El inventor puede recalcar la continuidad entre sus trabajos anteriores y la nueva tecnología en cuestión. La discontinuidad simultánea con el trabajo de otros y la continuidad con sus propios trabajos anteriores suele caracterizar los recuerdos de la invención de un artefacto nuevo. Todos estos factores se hayan presentes en los recuerdos de Fleming sobre la invención de la válvula termoiónica.

La historia de Fleming es interesante por varias razones. Sobre todo, el efecto Edison era muy conocido a finales de la década de 1880 y principios de la década de 1890, y parece, que no hubo cambios significativos en la transformación del efecto Edison en la tecnología de la válvula termoiónica. Así, ¿qué fue lo que llevó a Fleming por ese camino? ¿Podría haber hecho otro lo mismo? ¿Fleming tuvo únicamente suerte? Fleming podía haber razonado que, aunque el efecto Edison era bien conocido, pocos científicos e ingenieros habían experimentado con él, e incluso pocos se habían interesado en la telegrafía inalámbrica después de 1896. Por tanto Fleming podría haber sido el único individuo en hacer extensos experimentos sobre el Efecto

Edison entre las décadas de 1880 y 1890 y haber trabajado en telegrafía inalámbrica. Pero ¿por qué sus experimentos de las décadas de 1880 y 1890 fueron esenciales, si, como indica la historia popular, la transformación del efecto Edison en la válvula termoiónica fue continuo e incluso inevitable?

Fleming exageró, e incluso distorsionó, la continuidad de la transición de un efecto a un dispositivo, el alcance de sus investigaciones sobre el efecto, la importancia de su asesoría científica a Marconi como contexto para la invención, y la noción que visionó un uso muy definido de la válvula termoiónica como detector en la telegrafía inalámbrica cuando inventó el primero, y todos estos puntos eran cruciales para ganar el litigio por la patente.

Aunque el examen por parte de Fleming del efecto termoiónico fue esencial para la invención de la válvula termoiónica, esto no se debió a unos pocos caracteres del propio efecto; se debió al contexto específicamente Maxwelliano en que hizo su investigación. Ese contexto llevó a Fleming a construir un circuito donde una lámpara Edison, una sonda, una batería y un galvanómetro se combinaron de forma única. En las décadas de 1880 y 1890, este circuito especial tenía significado para el Maxwelliano Fleming; pero tenía poco sentido para los demás. Fue *este* circuito el que transformó Fleming en la válvula termoiónica en 1904. Esto explica por qué fue Fleming, antes que nadie, el que inventó la válvula, aunque el efecto Edison era muy conocido. El efecto se había conocido a finales de la década de 1880 y durante la década de 1890, pero no en la forma específica que lo usó Fleming.

El final de su asesoría científica a la Compañía Marconi en Diciembre de 1903 obligó a Fleming a cambiar significativamente su estilo de investigación, y sus esfuerzos para recuperar la credibilidad en la Compañía Marconi fueron cruciales para la invención de la válvula termoiónica.

Los usos posibles de la válvula no fueron obvios cuando se fabricó al principio. Fleming realmente pretendía usarla para medir la corriente alterna de alta frecuencia en el laboratorio. Marconi, no Fleming, transformó la válvula en un receptor práctico. Al igual que el primer experimento trasatlántico y el asunto Maskelyne, la válvula termoiónica fue un artefacto contestado que Fleming y Marconi habían usado para ganar credibilidad para su nuevo régimen de la radio.

Un nuevo efecto en el laboratorio de Edison (el “Efecto Edison”)

Un defecto en el primer sistema de alumbrado de Edison era el ennegrecimiento de las lámparas de carbón, que disminuía la eficacia del sistema. Entre 1879–80, Edison y sus ayudantes en el laboratorio de Menlo Park se dieron cuenta de una fina sombra blanquecina del filamento de carbón (le llamaron la “sombra fantasma”) en una porción de la superficie interna del bulbo donde no se depositaba el carbón. También observaron que la sombra era más clara cerca del lado positivo del filamento que cerca del lado negativo. Parecía que el carbón se proyectaba desde el lado positivo del filamento en todas direcciones. Sin embargo, su pretensión no era comprender el mecanismo que creaba la sombra fantasma sino impedir el ennegrecimiento de la lámpara, Edison y sus ayudantes diseñaron (en 1880) una lámpara especial en la que se insertaba una placa metálica extra para absorber el carbón que producía el ennegrecimiento. A partir de ese momento, las lámparas con una placa metálica extra fueron comunes en el laboratorio de Menlo Park.²

En Octubre de 1883, un ayudante de Edison conectó un galvanómetro a la “placa anti carbón” y midió la corriente que pasaba por él. Esto era una extensión natural de los diversos intentos de Edison desde 1800 de minimizar el ennegrecimiento, pero llevó a un resultado inesperado. Cuando la placa añadida se conectaba al lado positivo de una lámpara incandescente de filamento de carbón, el galvanómetro indicaba una corriente de unos pocos miliamperios. Cuando la placa añadida se conectaba al lado negativo del filamento de carbón, fluía una corriente mucho más pequeña, aunque el voltaje del filamento fuera lo suficiente grande para fundirlo. Tras este descubrimiento, se dejó de lado la sombra fantasma por la corriente asimétrica, Edison, siempre predispuesto a las cosas prácticas, pensó inmediatamente en usar este efecto. Diseñó un regulador para indicar la corriente principal en el final de la línea principal. El regulador de Edison (figuras 5.1, 5.2) medía la corriente entre el filamento y la

placa anti carbón, a partir de la cual se estimaba aproximadamente la fluctuación de la corriente principal.³

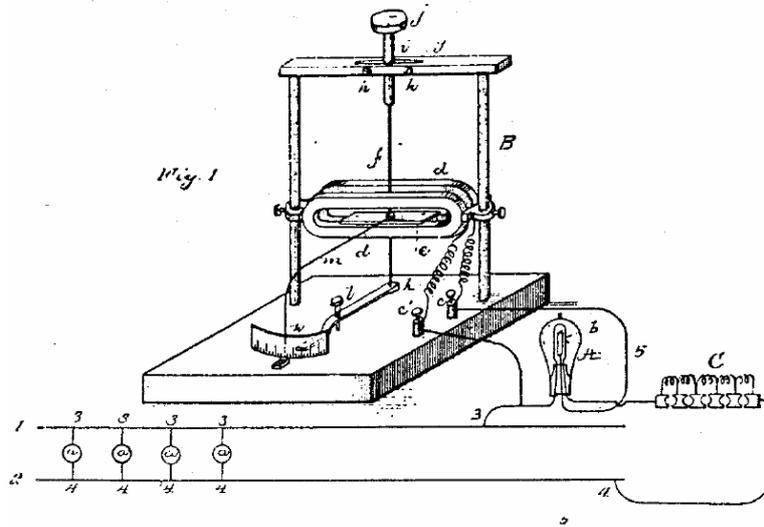


Figura 5.1
Uso de Edison de la corriente entre el filamento y la placa intermedia. Fuente: Patente de Edison U.S. 307.031 (1884).

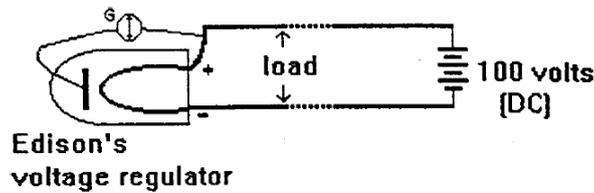


Figura 5.2
Representación esquemática de la figura 5.1.

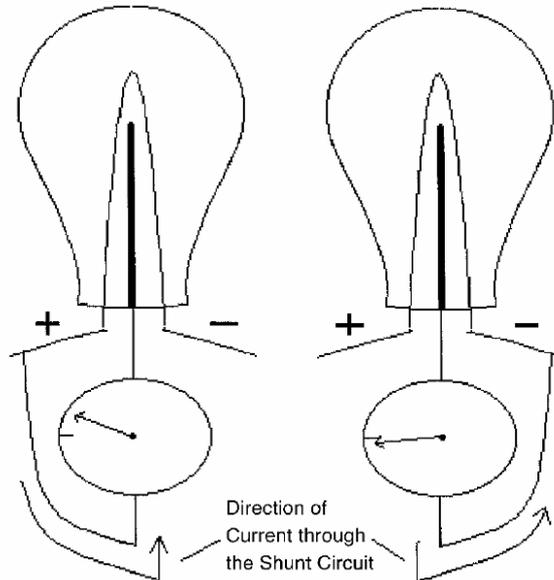


Figura 5.3
El efecto Edison a principios de la década de 1880, con una débil corriente inversa en la conexión negativa.

En aquel tiempo estaba ampliamente admitido que la corriente debía fluir sin importar que la placa se conectara al terminal positivo o negativo del filamento (figura 5.3). Esto se corrobora en la patente de Edison, donde, al describir la conexión del circuito, especifica que la “sustancia conductora” (es decir, la placa metálica) se “conecta fuera de la lámpara con un terminal,

preferiblemente el positivo, del conductor incandescente.” Edison prefería la conexión positiva a la negativa porque la primera producía mucha más corriente. Uno de los primeros registros impresos del efecto Edison también apoya mi opinión. Volumen 38 (1884) de *Engineering*, una importante revista británica, contiene un pequeño comentario del efecto Edison: “cuando la lámpara está en funcionamiento, si se conecta un galvanómetro entre el electrodo y un terminal del filamento, se observa una corriente que cambia de dirección según se conecte el terminal + o – del carbón al instrumento... La corriente es muchas veces más fuerte cuando se conecta al polo + del carbón.” Edwin J. Houston, socio de Elihu Thomson en la Compañía Houston & Thomson, habló del efecto Edison en la reunión de 1884 del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos (que se había fundado ese mismo año). De sus experimentos con lámparas con una placa de platino, dijo Houston, que había observado que, incluso con la conexión negativa, “también fluía una corriente a través del galvanómetro pero esta vez en la dirección opuesta,” cuya “cantidad era mucho menor, alrededor de $\frac{1}{40}$ de la cantidad del primer circuito.”⁴ Según Houston, la corriente fluía “desde el lugar de mayor potencial al de menor”; a través de un alto vacío como el que existía en la lámpara de Edison, sin embargo había que considerar otra condición.

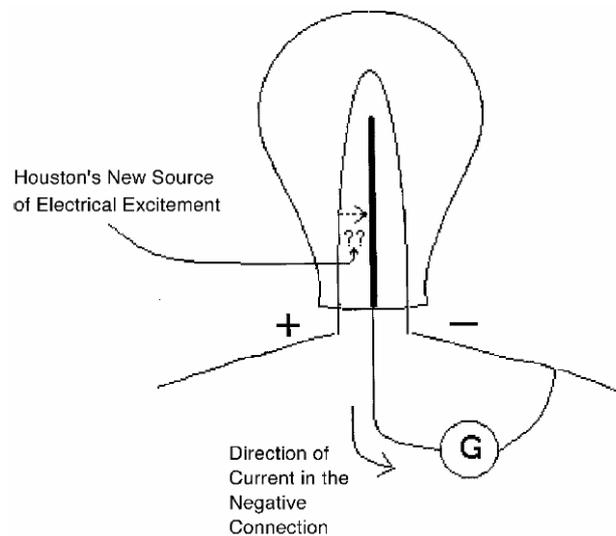


Figura 5.4

“Nueva fuente de excitación eléctrica” de Houston.

A finales de la década de 1870, William Crookes demostró convincentemente que en una descarga en alto vacío parecía que moléculas cargadas negativamente pasaban del electrodo negativo al positivo de un tubo de vacío. A este fenómeno se le llamó “efecto Crookes” o “bombardeo molecular”⁵ Fuera o no este fenómeno el mismo en la lámpara de Edison que el efecto Crookes era una cuestión abierta; sin embargo nadie que quisiera explicar el primero consideró el efecto Crookes, aunque había un alto vacío en la lámpara de Edison y en el tubo de Crookes. La corriente en la conexión positiva fluía “como si proviniera del platino” (figura 5.4) Esto era difícil de entender, ya que parecía que el filamento de carbón emitía moléculas. Aunque el mecanismo era misterioso, Houston (1884, pág. 3) sugirió que “si concebimos, como creo lo más probable, que pasa un flujo de moléculas desde el platino al carbón, entonces puede explicarse fácilmente el fenómeno como un efecto de Crookes” –más preciso, como un tipo de efecto de Crookes– para las moléculas que proceden de la placa cargadas positivamente. Sin embargo, esto dejaba sin resolver la cuestión de la corriente inversa en la conexión negativa, donde parecía fluir una débil corriente del polo positivo del filamento de carbón a la placa en vez de al revés. Pero ¿por qué esta pequeña cantidad de electricidad parecía saltar del filamento a la placa a través del vacío, abandonando el definido camino del filamento “venciendo a la corriente de la fuente que alimenta a la lámpara”? Parecía que “en cierto modo el bombardeo molecular contra la placa de platino podía producir una corriente eléctrica,” pero no se sabía lo que causaba este bombardeo contra la placa. Aunque Houston no ofreció ninguna teoría del

origen de esta corriente, confesó (1884, pág. 4): “por mi parte estoy algo inclinado a creer que es posible que haya una nueva fuente de excitación eléctrica, que pueda existir en el espacio entre la placa y el filamento.”

Aparentemente Houston no tuvo en cuenta la posibilidad que las moléculas de carbón que se proyectaban desde el filamento estuvieran cargadas. “Si [la corriente] fluye como pienso irá del carbón al platino,” dijo inmediatamente (Houston 1884, pág. 2), “esto se podría deber a varias causas; puede ser electricidad que fluya a través del espacio vacío, que no creo que sea probable.” William Preece, que había asistido a la reunión de la Asociación Británica para el avance de la Ciencia en Montreal en otoño de 1884, estaba presente en la reunión cuando Houston leyó el papel. Preece indicó que la dirección (o el signo) de la corriente no era nada más que una convención. Citando algunos experimentos recientes de Crookes y William Spottiswoode,⁶ concluyó que “si la electricidad fluye al final en cualquier dirección, esta dirección es más bien desde el potencial bajo al alto” (Preece 1884, pág. 6). Aunque pensemos que Preece no especificó el mecanismo del efecto del que informó Houston, su idea implicaba que la corriente relativamente grande en la conexión positiva era simplemente el flujo de electricidad negativa desde el polo menos del filamento de carbón a la placa de platino, mejor que el atajo del otro. Esta explicación cuadraba bien con el fenómeno observado –es decir, el depósito de carbón en el bulbo. Además, también se explicaba la corriente en la conexión positiva con el efecto Crookes ordinario –es decir, el bombardeo molecular desde el electrodo negativo al positivo en un alto vacío.

¿Pero cómo explicaba Preece la débil corriente inversa en la conexión negativa? Sabía que esto era un problema: “Cuando tenemos platino, es difícil pensar que demuestra que existe el efecto de Crookes.” Para ser consistente, Preece debería haber razonado que la electricidad negativa tenía que proceder de la placa de platino (-) al filamento de carbón (+) a través del vacío. Pero ¿qué causaba este salto a través de la alta resistencia del vacío? Como creía Preece que “para producir una corriente debemos primero tener dos puntos separados uno de otro por materia,” preguntó ¿Qué es la materia, y donde está la materia?” Preece mencionó el hallazgo de Lodge que la conductividad en el interior de un tubo de vacío aumentaba muchísimo al producir una chispa eléctrica cerca de él, creando por tanto una niebla –una materia– dentro de él. Según Preece, aumentar la conducción por medio de una chispa permitía que tuviera lugar el efecto Crookes en un alto vacío. Si esta chispa o similar “nueva fuente de electricidad” existe en la lámpara de Edison, conjeturaba Preece, podía explicar el extraño efecto. De cualquier modo, Preece (1884, pág. 7) parecía creer que las corrientes en las conexiones positiva y negativa se podían explicar con el efecto Crookes.⁷

Preece visitó la Estación de Edison en Pearl Street en Nueva York y obtuvo varias lámparas que estaban construidas especialmente para examinar este extraño efecto. Preece las llevó a Inglaterra. Después de experimentar con ellas durante varios meses, informó de sus resultados a la Royal Society en Marzo de 1885. En este informe Preece acuñó el nombre “efecto Edison”.⁸ El aspecto más original de ese papel eran las precisas mediciones de la corriente en el galvanómetro conectado a la placa y al polo positivo del filamento. Preece midió también la resistencia del espacio entre la placa y el polo negativo del filamento. Con los valores de la corriente y la resistencia, estimó el voltaje aparente aplicado a través del espacio. Comparó este voltaje con el voltaje de la batería principal que alimentaba la corriente al filamento. Este resultado no revelaba nada que interesara particularmente a Preece. En una lámpara, el voltaje aparente aplicado a través del vacío era relativamente estable, alrededor de 10 voltios, a pesar del aumento del voltaje principal de 44 a 80 voltios. Pero cuando este último alcanzó un punto crítico, el primero aumentó dramáticamente a 95 voltios, casi el mismo que el último (95,49 voltios). En otros casos, el voltaje a través del vacío permanecía muy lejos del voltaje principal, y se reducía cuando se aumentaba el último. En otros casos, la medición de la corriente era demasiado inestable para poder usarse para cualquier estimación.⁹

En lo relacionado con la parte teórica del efecto Edison, Preece permaneció tan convencido como antes. Preece observó el flujo de corriente en ambas conexiones, aunque uno de los ayudantes de Edison le había contado que “no se podía observar ninguna corriente o una muy ligera” en la conexión negativa. Sólo una lámpara no mostró ninguna corriente en la conexión negativa, pero incluso en este caso Preece (Preece 1885, pág. 222) observó “No hay duda que se

obtendría ambos efectos si pudiera aumentar la f.e.m.” Sin embargo, no sugirió ningún mecanismo para explicar la corriente negativa; simplemente la ignoró. Explicó la corriente positiva, que se pensaba que se debía a la proyección de moléculas de carbón desde el lado negativo del filamento a la placa –es decir, al bombardeo molecular de Crookes. Apoyó este punto de vista mostrando, con el uso de varias lámparas, que no se observaba ninguna corriente cuando se impedía que las (supuestas) moléculas de carbón alcanzaran la placa (Preece 1885, pág. 230).

Primeras investigaciones de Fleming sobre el efecto Edison

Fleming, que había trabajado como consultor electricista para la Compañía Edison Británica desde 1882, también observó la “sombra molecular” en las lámparas de Edison. En un pequeño papel leído ante la Sociedad de Física en 1883 habló de la curiosa sombra ennegrecida de un filamento en el interior de las lámparas de carbón. En un segundo papel (1885a), dijo que la sombra estaba creada por la proyección molecular bien del carbón o del cobre que se usaba para sujetar el filamento de carbón. También sugirió una aplicación del depósito de carbón: la producción de una fina capa metálica para experimentos ópticos. Sin embargo, los primeros dos papeles de Fleming no contenían ningún vistazo teórico profundo del fenómeno. Fleming ni construyó ni usó una lámpara especial con una placa extra en su trabajo. Por tanto, a diferencia de Preece, Fleming no midió la corriente en el vacío. En este sentido, Fleming no experimentó realmente con el efecto Edison; sólo observó y especuló con la sombra fantasma.¹⁰

¿Qué hizo a Fleming continuar experimentando con las lámparas de Edison y sobrepasar finalmente los trabajos de otros científicos e ingenieros sobre el efecto Edison? Una razón es que, para Fleming y no para los otros, el efecto Edison poseía una nueva oportunidad teórica y práctica. William Preece creía que había explicado el efecto Edison en teoría: simplemente se debía al efecto Crookes. Además, no había encontrado ninguna aplicación práctica para él, porque, en palabras suyas (Preece 1885, pág. 229), “la corriente es débil y variable, y apenas es lo suficiente fiable para usos prácticos como esperaba su descubridor.” Cualquier científico interesado en la naturaleza de la conducción en el vacío habría usado la lámpara de Crookes (que usaba una placa metálica como cátodo), no las lámparas de filamento de carbón de Edison con sus placas adicionales. Las lámparas de Edison sólo se podían construir en los talleres especializados de las factorías de lámparas, y no en los laboratorios más generalizados de un físico o ingeniero.¹¹

Desde el inicio, Fleming percibió una diferencia entre la sombra molecular en las lámparas de Edison y el efecto Crookes: en el primero, “no estamos tratando con bobinas de inducción, sino con potenciales relativamente bajos” (Fleming 1883, pág. 284). En terminología moderna, el efecto Crookes es una descarga catódica, mientras que el efecto Edison es una emisión termiónica, aunque la diferencia entre los dos apenas se reconocía en la década de 1880. Aparte de esta diferencia, Fleming encontraba que la noción que la corriente involucraba el movimiento de moléculas era particularmente interesante, porque no era una suposición básicamente Maxwelliana. (Los Maxwellianos concebían la corriente, en esencia, como un desplazamiento eléctrico cambiante) Esto es lo que enfatizó la investigación de Fleming sobre los “constituyentes de la corriente” como un tópico primario cuando propuso el establecimiento del Laboratorio de Estandarización Nacional en 1885.¹²

Fleming también tenía una ventaja material. Después de convertirse en profesor de Tecnología Eléctrica en el University College de Londres, en 1885, mantuvo su posición como asesor científico de la Compañía Edison–Swan, que estaba especializada en la construcción de lámparas incandescentes. Como científico asesor de la compañía, la principal tarea de Fleming era construir lámparas fotométricas estándar, que no presentaban depósitos de carbón durante mucho tiempo. Pero sobre todo, podía disponer fácilmente de lámparas especiales construidas en la factoría de la Compañía Edison–Swan en Newcastle-upon-Tyne y, más tarde, en Ponders End (Fleming 1883, pág. 248).¹³

En 1899, Fleming hizo algunas investigaciones para la Compañía Edison–Swan sobre la conductividad específica de los filamentos de carbón. En el curso de ese trabajo, hizo una serie de experimentos sobre el efecto Edison. Leyó un papel sobre ese tópico ante la Royal Society, y

dio una lectura pública en la Royal Institution (Fleming 1890a, b). En sus papeles, Fleming presentó algunos resultados nuevos y conclusiones. Primero, eliminó la débil (y misteriosa) corriente en la conexión negativa, para la que ni Preece ni nadie podía dar razón. Como hemos visto, Houston asumió un nuevo tipo de electricidad para explicar la corriente en la conexión negativa, mientras que Preece la ignoró. Esto hacía teóricamente inestable al efecto Edison. Pero esta nueva fuente de electricidad se hizo innecesaria cuando Fleming (1890a, pág. 119, 120; 1890b, pág. 38) demostró que “si se conecta la placa metálica con el electrodo positivo de la lámpara, el galvanómetro indica una corriente de varios miliamperios, pero si se conecta con el electrodo negativo, *no muestra una corriente apreciable*.”¹⁴ Fleming informó que cuando la lámpara tenía un buen vacío la corriente entre la placa y el electrodo negativo no era mayor de 0,0001 miliamperios. Cuando el vacío es malo, se detecta la corriente incluso en la conexión negativa. Fleming por consiguiente hizo de la corriente incomprensible en la conexión negativa un artefacto de un mal diseño instrumental. Aunque seguía siendo difícil entender cómo podía fluir la corriente en la conexión negativa, esto no importaba mucho, primero porque la conducción en un mal vacío era un proceso complejo y conflictivo, tanto empírica como teóricamente, y segundo por que Fleming podía hacer desaparecer a esta débil corriente negativa con un instrumento mejor. Esta corriente patológica en la conexión negativa se convirtió en un proceso secundario de descarga que ocurre en un mal vacío, que no tenía nada que ver con la corriente en la conexión positiva. La estabilización de Fleming del efecto Edison fue, debido en gran medida, a la alta calidad de las lámparas de vacío que disponía. Y disponía de estas excelentes lámparas porque era asesor científico de la Compañía Edison–Swan y amigo íntimo de Charles H. Gimmingham, electricista en la factoría Edison–Swan, que también había construido una bomba de vacío especial para fabricar mejores lámparas incandescentes.¹⁵

En base a los experimentos en que varias partes del filamento se habían sombreado, Fleming decidió que el efecto Edison se debía a la proyección de moléculas de carbón cargadas negativamente (que llamó “electrovección molecular”) principalmente de la patilla “negativa” del filamento a la placa metálica. Estas partículas de carbón cargadas negativamente, que permeaban a la lámpara, reducían el potencial de la placa insertada al mismo nivel que el de la patilla negativa del filamento. Una corriente (cuya dirección convencional es la dirección de la electricidad de cargas positivas) fluía así en el circuito sólo cuando la placa estaba cargada positivamente, descargando por tanto las moléculas negativas de carbón que le habían golpeado (Fleming 1890a, pág. 122; Fleming 1890b, pág. 43). Fleming no tan sólo identificó los portadores de electricidad con partículas de carbón ionizadas; también explicó por qué el carbón sólo podía retener una carga negativa remitiéndose a un experimento hecho por Frederick Guthrie, su anterior mentor en el South Kensington Science School. Guthrie había demostrado que una bola de hierro, cuando se calentaba, sólo retenía cargas negativas (Fleming 1890b, pág. 46).¹⁶ Por analogía a las bolitas calientes de hierro de Guthrie, Fleming razonó que las partículas calientes de carbón sólo podían retener cargas negativas. Este punto de vista era totalmente consistente con la imagen Maxwelliana de la carga eléctrica: al igual que la carga negativa en una bola de hierro caliente no significa necesariamente que la carga eléctrica existe como una sustancia de propio derecho, las cargas negativas en las partículas calientes de carbón no significa que cumplan como portadores independientes de carga. La carga de las partículas de carbón se podían ver como si se hubieran creado como un efecto del campo en ellas.

Conceptualizar y utilizar la “Conductividad unilateral”

Durante su investigación sobre la conductividad en la lámpara de Edison, Fleming prestó cada vez más atención a un curioso fenómeno en la “media pulgada de espacio de alto vacío entre el conductor de carbón caliente y la placa intermedia.” Razonó que estaba causado por partículas de carbón cargadas emitidas por el filamento que caían en (y por tanto descargaban) la placa cargada positivamente. Fleming intentó probar esto conectando un pequeño condensador con el circuito en paralelo. Cuando se conectaba la placa positiva del condensador a la placa central, como se esperaba, el condensador se descargaba inmediatamente; cuando se invertía la conexión, nunca se descargaba. (Ver figura 5.5) Esto le “llevó a examinar la condición del espacio vacío entre la placa metálica central y la patilla negativa del lazo de carbón,” y en el

contexto de la teoría electromagnética Maxwelliana la naturaleza de la conductividad de este espacio era de la mayor importancia. Para probarlo, eran necesarias dos cosas: un circuito cerrado que incluyera el vacío y una fuente de f.e.m. El circuito que usó Fleming para estudiar la conductividad se ilustra en la figura 5.6. Una célula Clark (Ck), la placa central (M), el espacio, y la patilla negativa del filamento constituían un circuito cerrado. Una gran f.e.m. externa hacía que el filamento se pusiera incandescente. Se detectó una corriente en el galvanómetro cuando se conectaba el polo positivo de la célula Clark a la placa, pero cuando se invertía la conexión no se detectaba corriente alguna. El espacio interviniente poseía aparentemente “un tipo de *conductividad unilateral*, que permitía que pasara la corriente de una única célula galvánica en un sentido pero no en el otro.” El espacio no se comportaba ni como un elemento de un circuito normal ni como una fuente de electricidad. Parecía que sólo se podía emitir electricidad negativa desde el filamento hacia la placa.¹⁷

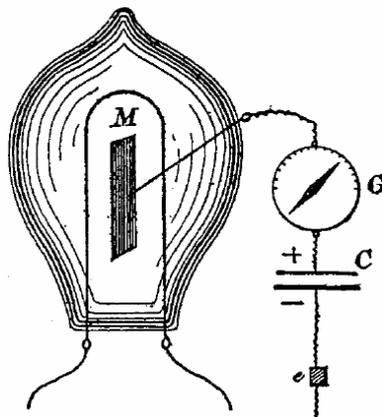


Figura 5.5

Experimento de Fleming para demostrar que la placa M se cargaba negativamente. Fuente: Fleming 1890a, pág. 43.

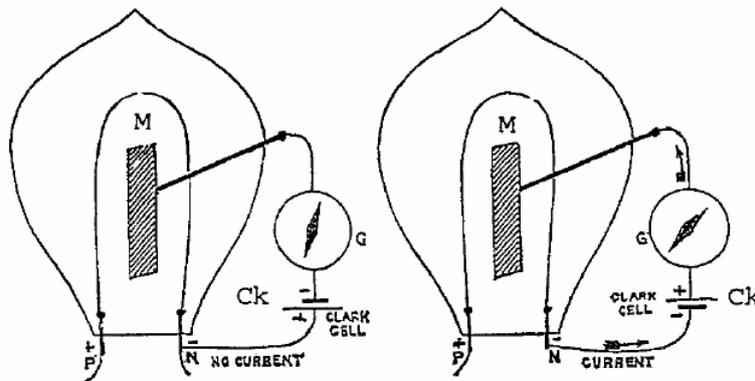


Figura 5.6

Experimento de Fleming para probar la conductividad entre la placa M y el filamento. La corriente fluía en el galvanómetro (G) sólo cuando se conectaba el polo positivo de la célula Clark a M, revelando por tanto la conductividad unilateral del espacio. Fuente: Fleming 1890a, pág. 44.

Fleming localizó su observación de la conductividad unilateral en la capacidad de las moléculas de carbón cargadas negativamente en fluir a través del espacio desde el filamento (caliente) a la placa (fría). La relación entre el filamento y la placa era por tanto asimétrica: el filamento estaba calentado por la corriente principal, mientras que la placa no, por tanto la corriente sólo descargaba la electricidad negativa acumulada en él; el filamento se insertaba en un circuito cerrado como un elemento circuital ordinario, mientras que la placa formaba parte del circuito cerrado sólo por medio de una conexión a través del espacio. Enfocándose en el circuito paralelo adecuado, que consistía de la placa, el filamento el espacio entre ellos y la célula Clark, Fleming pensaba que la conductividad del espacio interviniente había aumentado

tanto que incluso una única célula podía hacer fluir corriente a través del espacio en una dirección específica.

Este fenómeno interesaba en particular a Fleming, ya que siendo un desconocido y ambicioso estudiante en la década de 1870, se había interesado en la producción de corrientes inducidas en líquidos. Recibió modestas ayudas para esta investigación y leyó pequeños papeles ante la Asociación Británica y la Royal Society, pero cuando presentó sus papeles ante el *Philosophical Transactions* para su publicación uno de los examinadores (James Clerk Maxwell) recomendó que hiciera más experimentos en la producción de corrientes inducidas en gases, Fleming, que había renunciado a su master en ciencias en el Cheltenham Collage para ir a la Cambridge University, no disponía ni tiempo ni espacio en el laboratorio para proseguir en el tema. Además, como mencionó Maxwell, era muy difícil inducir una corriente en un medio gaseoso debido a la alta resistencia de este. Desde ese tiempo, la cuestión de cómo reducir la resistencia en un medio gaseoso había estado en la mente de Fleming.¹⁸ El cambio en la conductividad en un medio gaseoso había sido importante para Fleming debido a las sugerencias que le había hecho Maxwell. Por tanto no sorprende que la cuestión final se relacionara con la conductividad unilateral (que desconcertaba a muchos Maxwellianos¹⁹) y al aumento de conductividad. ¿Qué pasaría con la conductividad del espacio si la placa central se calentara y se llevara a la incandescencia? ¿Persistiría la conductividad unilateral? Un modo de hacer la placa incandescente era concentrar un potente haz de luz sobre ella (el efecto fotoeléctrico).²⁰ Sin embargo, Fleming siguió el camino más fácil de sustituir la placa por otro filamento de carbón. Esto abolía la inherente simetría de la previa configuración de la lámpara (figura 5.7).

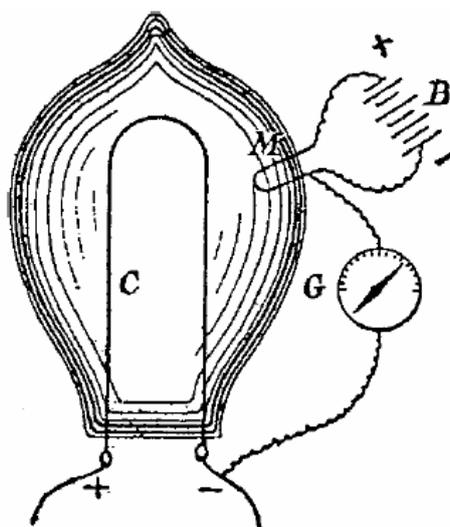


Figura 5.7

Experimento de Fleming con una fase intermedia incandescente (*M*). Fuente: Fleming 1890a, pág. 45.

Compárese la figura 5.7 y la figura 5.6. Los dos circuitos de la lámpara sólo se diferencian en que el voltaje a través del filamento pequeño *M* es inferior al del filamento principal *C*. La corriente se detectaba ahora en el galvanómetro siempre que *C* y *M* estuvieran incandescentes, se conectara el galvanómetro al + o al -. La conductividad unilateral había desaparecido, aunque persistía el aumento en la conductividad. Como se puede ver en la figura 5.8, cuando el voltaje B_1 es igual a B_2 , y cuando ambos filamentos están incandescentes, el espacio *V* se convierte en tan buen conductor que una célula Clark de 1,5 voltios podía hacer pasar una corriente a través de él (Fleming 1890b, pág. 44–45).

Fleming había cerrado el círculo. Había estabilizado el efecto Edison eliminando la corriente incomprensible en la conexión negativa y había creado una condición unilateral entre la placa central y el filamento. Asegurar un buen vacío era esencial para este éxito. Sin embargo, Fleming encontró una simetría entre la placa y el filamento, que parecía íntimamente relacionada con el aumento de la conductividad. Al eliminar la asimetría, dejó bien claro la gran conductividad y minimizó la unilateralidad. Su aparato de demostración (figura 5.8) incluía por

tanto la preocupación especial de Fleming con el aumento en la conductividad en el medio gaseoso. Sin embargo, como podemos ver fácilmente, hubo una ruta diferente de desarrollo de los artefactos al utilizar la conductividad. Esto es lo que llevó a Fleming a la válvula termoiónica en 1904, pero en un contexto diferente. No fue hasta 1900, cuando Fleming adoptó la teoría del electrón y por tanto descartó su compromiso Maxwelliano, que pudo transformar esta unilateralidad en la válvula.

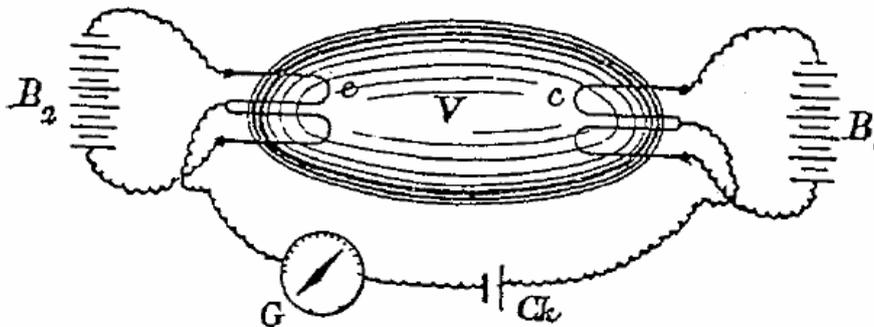


Figura 5.8

Demostración tecnológica de Fleming para mostrar que el espacio V entre los dos filamentos tenía una resistencia tan baja que una célula Clark (Ck) podía producir una corriente a través de él. Nótese que ha desaparecido la simetría de la figura 5.6. Fuente: Fleming 1890a, pág. 44.

La historia canónica de la válvula y sus problemas

Fleming solicitó una patente para la válvula termoiónica en 1904. Lee DeForest solicitó una patente para el audión (tratado con indiferencia por Fleming como una mera inserción de un electrodo más en su propia válvula) en 1906. Ningún dispositivo se usó ampliamente hasta principios de la década de 1910. En esa década el audión se empleó como generador de ondas continuas y como amplificador, y esto afectó profundamente al campo de la ingeniería de la radio. Monopolizar o tener un mayor control sobre la patente del tubo de vacío se convirtió entonces en un tema de vida o muerte para muchas compañías. Fleming evocó primero su propia invención durante el litigio de patentes entre las compañías Marconi y DeForest. Las siguientes citas, que se ha convertido en la historia canónica del origen de la válvula termoiónica, proceden de la Lectura del Viernes de Fleming en 1920 en la Royal Institution (Fleming 1920, pág. 167–168). Fleming comenzó con las deficiencias de los detectores que existían alrededor de 1904:

Antes de 1904 sólo se usaban en la práctica tres tipos de detectores –a saber, el cohesor, o detector de limaduras metálicas, el detector de hilo magnético, y el detector electrolítico. El cohesor y los detectores electrolíticos eran más bien problemáticos para trabajar debido a los frecuentes ajustes de frecuencia que requerían. El detector magnético era más satisfactorio, y todavía se usa en la forma que le dio Marconi. Sin embargo, no es muy sensible, y precisa una atención a intervalos frecuentes para dar cuerda al mecanismo de relojería que hace mover el hilo de hierro. Hacia 1904 muchos radiotelegrafistas estaban buscando nuevos detectores mejorados.

Después habló de sus esfuerzos encaminados para encontrar un nuevo detector, que finalmente le llevó a la construcción de la válvula:

Ansiaba encontrar uno que fuera más sensible y menos caprichoso que el cohesor, y se pudiera usar para registrar las señales por medios ópticos, y también por razones personales quise encontrar uno que pudiera emplear el ojo y no el oído por medio del teléfono. Nuestros instrumentos eléctricos para detectar corrientes débiles continuas o unidireccionales son mucho más sensibles que cualquiera que tengamos para detectar corrientes alternas. Por tanto me parecía que podría conseguir una gran ventaja si pudiera convertir las débiles corrientes alternas de una antena de radio en corrientes unidireccionales que pudieran afectar a un galvanómetro de espejo, o a un galvanómetro Einthoven más sensible. Ya había entonces muchos dispositivos para hacer esta conversión cuando las alternancias o frecuencia era baja –a saber, de un centenar o unos pocos centenares por segundo.

Por ejemplo, si se coloca una placa de aluminio y otra de carbón en una solución de fosfato sódico, esta célula electrolítica [el rectificador Nodon] permite que fluya la electricidad positiva a través de ella del aluminio al carbón, pero no en la dirección opuesta... Pero estos rectificadores electrolíticos, como se llaman, no son efectivos para corrientes de alta frecuencia, debido a que las acciones químicas de las que depende la rectificación precisan tiempo. Después de probar numerosos dispositivos me acordé de mis viejos experimentos sobre el efecto Edison, y surgió la cuestión de si una lámpara con un filamento incandescente y una placa metálica colectora podría proporcionar lo que se necesitaba incluso para las corrientes de alta frecuencia, en virtud del hecho que la emisión termoiónica podía descargar la placa colectora instantáneamente cuando se electrificaba positivamente, pero no cuando estaba negativamente... Observé con placer que mis anticipaciones eran correctas, y que las oscilaciones eléctricas creadas en la segunda bobina por inducción de la primera se rectificaban o convertían en un torrente de electricidad que actuaba sobre él y desviaba al galvanómetro. Por tanto llamé a esta lámpara con una placa colectora metálica usada para este propósito, válvula oscilante, porque actuaba ante la corriente eléctrica igual que actúa una válvula en un tubo de agua ante una corriente de agua.

Después de 1920, Fleming repitió esta narración en libros, artículos y lecturas, algunas veces con variaciones. A veces dramatizó el momento cuando tuvo la “idea feliz” (es decir, el momento que pensó en utilizar la conductividad unilateral para las oscilaciones de alta frecuencia). En otras veces, dijo que había intentado usar un registrador de sifón extremadamente delicado con un impresor Morse, que se había usado como detector en la telegrafía submarina; como el registrador de sifón precisaba corriente continua, necesitaba diseñar algo para convertir la corriente de alta frecuencia en otra continua.²¹ No obstante, la estructura fundamental de su historia permaneció inalterable, abarcando siempre las tres etapas: el problema con los detectores existentes y la consiguiente necesidad de uno nuevo hacia 1904, su reconocimiento de la “rectificación” como un método nuevo para detectar las oscilaciones, y cómo había encontrado un método de rectificación en su anterior investigación del efecto Edison en los bulbos.

Las tres etapas de Fleming apoyan su reclamación de haber inventado la válvula termoiónica. La historia es tan cercana y convincente que pocos historiadores han dudado de su exactitud. Considerando la demanda de detectores estables hacia 1904, George Shiers (1969, pág. 109) razona que los detectores de Marconi “no eran satisfactorios para el servicio regular y fiable; se necesitaba urgentemente un nuevo y mejor dispositivo detector, o rectificador de señal.” Sobre la importancia de la anterior investigación de Fleming sobre el efecto Edison, Hugo Aitken (1985, pág. 205) afirma que “la válvula de Fleming era un descendiente directo de un dispositivo que no tenía conexión alguna con la telegrafía inalámbrica; este era el famoso efecto Edison.” Aunque Fleming enfatizó la naturaleza científica de su investigación sobre el efecto Edison, el mismo punto se ha usado a veces para devaluar su originalidad. Gerald Tyne (1977, pág. 40–51) comenta que “lo que hizo Fleming fue aplicar la lámpara de efecto Edison, patentada por Edison en 1884, a la rectificación de oscilaciones de alta frecuencia.”

Hay tres puntos en la narración de Fleming que son disputables.

Primero, no está totalmente claro que hubiera una demanda obligada de un nuevo detector hacia 1904. Los detectores magnéticos de Marconi eran más estables que los cohesores, y habían demostrado ser especialmente útiles en la telegrafía inalámbrica a larga distancia. Como el propio Fleming menciona, los detectores electrolíticos eran populares en Alemania y en los Estados Unidos. Se podían usar no tan sólo con un teléfono, sino también con un galvanómetro. El sistema inalámbrico Lodge–Muirhead empleaba un delicado registrador de sifón, diseñado por Alexander Muirhead, e imprimía las señales en una cinta Morse.²² De hecho, la razón de que la válvula termoiónica se usara como detector por primera vez en la estación de Poldhu en 1905, sólo era para casos especiales, como cuando alguien quería reducir la influencia de la electricidad atmosférica.

Segundo, la investigación de Fleming durante 1903–04 aparentemente tenía poco que ver con los detectores de telegrafía inalámbrica. En aquel tiempo, se interesaba principalmente en las mediciones en alta frecuencia –mediciones de la inductancia, capacitancia, resistencia, corriente, frecuencia, longitud de onda y el número de chispas. Se podrá razonar en la siguiente sección que la válvula de Fleming resultó en parte de su preocupación por la medición de corrientes alternas débiles de alta frecuencia.²³ Esta preocupación estaba, en un sentido, relacionada con la detección de ondas, ya que un instrumento preciso para mediciones de

corriente se podía usar como detector. Pero un medidor está diseñado para producir un número, mientras que un detector está diseñado para detectar pulsos. El carácter métrico y la fácil calibración eran esenciales para el primero; la sensibilidad y la estabilidad para el uso de campo eran importantes para el segundo.²⁴

Tercero, la narración de Fleming, al igual que otras muchas historias de la válvula termoiónica, no considera el contexto histórico en que se realizó su investigación. En Diciembre de 1903, la asesoría científica de Fleming a Marconi terminó contra los deseos de Fleming. Como vimos en el capítulo 3 y 4, hubo tensiones durante algún tiempo entre Fleming y Marconi sobre el crédito para la primera transmisión de telegrafía trasatlántica, y el asunto Maskelyne en Junio de 1903 dañó seriamente la credibilidad de Fleming. El papel dual de Fleming como asesor científico de Marconi y testigo autorizado de la demostración secreta de Marconi no se podía sostener mucho más. Fleming, que había querido labrarse una credibilidad como “ingeniero del éter”, deseaba desesperadamente recobrar su contacto con la Compañía Marconi. Sus esfuerzos en este fin ayudan a explicar un notable cambio que tuvo lugar en su estilo de ingeniería en aquel tiempo. Antes de 1903, el estilo de Fleming estaba alejado de la invención o patentes de dispositivos, pero en 1904 patentó dos invenciones: el “cimómetro” (un instrumento para medir la longitud de onda) y la válvula termoiónica. Como veremos, estos dos dispositivos (en particular la válvula) permitieron a Fleming reanudar su relación con la Compañía Marconi.

Contextos científicos y corporados, 1903–04

En 1896, en el Laboratorio Cavendish, Ernest Rutherford experimentó sobre el efecto que las ondas electromagnéticas magnetizaban un trozo de hierro desmagnetizado y desmagnetizaban un trozo de hierro magnetizado. En 1902, sobre la base del hallazgo de Rutherford, Marconi inventó un detector magnético práctico con un teléfono como indicador de señal. Los galvanómetros ordinarios de CC no podían detectar las señales alternas; eran demasiado lentos para reaccionar a la acción magnetizadora antes de que fuera anulada por la desmagnetizadora. En Diciembre de 1902, persiguiendo una meta diferente a la de Marconi, Fleming y su ayudante Arthur Blok decidieron investigar cómo el efecto Rutherford podía accionar a un galvanómetro.²⁵ Supongamos, pensaron ellos, que se permite que las ondas electromagnéticas desmagneticen sólo el hierro, y que se magnetice de nuevo por otros medios. El efecto de las ondas electromagnéticas en el detector magnético podría registrarse entonces con un galvanómetro ordinario CC. Es decir, si las ondas electromagnéticas sólo actuaban en una dirección (bien para magnetizar o bien para desmagnetizar), este efecto se podía convertir en señales eléctricas que se detectarían con un galvanómetro. Después de muchas pruebas y errores, Fleming y Blok construyeron un dispositivo funcional, que Fleming describió ante la Royal Society en Marzo de 1903 (figura 5.9) El instrumento usaba un manojito de hilos como núcleo magnetizable (y desmagnetizable), y tenía un grupo de conmutadores complejos que controlaban la acción magnética de una vía. El sofisticado movimiento de los discos conmutadores dotaba al dispositivo con la habilidad de “*producir el efecto de una corriente continua en el circuito del galvanómetro*, dando por resultado una deflexión constante, que es proporcional a la fuerza desmagnetizadora aplicada al hierro, manteniendo igual los demás puntos.” (Fleming 1903b, pág. 400)

Fleming listó varios usos importantes para el dispositivo. Primero entre todos era para “comparar la potencia de la onda de diferentes radiadores.” La potencia de la onda generada depende, por ejemplo, de la forma y materiales del descargador de esferas. También depende de la rotación de las esferas, y de los dieléctricos (como aceite) situado entre ellas. Para determinar bajo que condiciones el radiador podría producir los mejores resultados, se necesitaba desesperadamente un instrumento que pudiera medir el efecto en términos numéricos. En su Lectura Cantor en la Sociedad de Artes de Marzo de 1903, por ejemplo, Fleming mencionó la necesidad de un dispositivo que pudiera medir la energía de la onda, “sólo con la posesión de un instrumento como este” dijo, “podemos esperar estudiar adecuadamente la potencia de emisión de varios transmisores, o la eficacia de diferentes formas de antenas, o dispositivos con los que se produce la onda.”²⁶

Usado como se describe en el párrafo precedente, el nuevo dispositivo de Fleming no era un detector, sino más bien un tipo de galvanómetro de CA de alta frecuencia –un medidor. Como detector, resultó ser incómodo y menos eficaz que los detectores de ese tiempo. Fleming no hizo al dispositivo para que sirviera como detector; siempre tuvo la medición en su mente. De todos modos, no se usó mucho el dispositivo. Aparte del propio laboratorio de ingeniería de Fleming en el University Collage, sólo lo empleó un científico italiano, V. Buscemi, para examinar la absorción de las ondas electromagnéticas en varios dieléctricos. La razón para su olvido parece ser que el instrumento carecía de estabilidad. Era muy difícil calibrarlo debido a las complejas acciones de los conmutadores. (Buscemi 1905).²⁷

En 1903, Fleming redirigió su investigación hacia el diseño de instrumentos que pudieran medir directamente los efectos de las corrientes de alta frecuencia. En teoría no había razón alguna para que los medidores de corriente alterna en ingeniería de potencia no se pudieran emplear par este uso. Se usaban dos tipos diferentes de medidores de AC en ingeniería de potencia: el dinamómetro y el amperímetro de hilo caliente. Cada uno tenía sus desventajas. Las corrientes por debajo de 10 miliamperios (que se solían encontrar en las mediciones de alta frecuencia) no podían medirse con los dinamómetros ordinarios de CA.²⁸ Fleming intentó por tanto diseñar un amperímetro de CA en el cual las corrientes de alta frecuencia podían calentar unos hilos finos. Este dispositivo de hilo caliente podía medir 10 miliamperios con una precisión del 2–3 por ciento, y podía detectar 5 miliamperios. Se podía calibrar fácilmente por medio del método del potenciómetro, un método estándar usado para calibrar los galvanómetros ordinarios de CA. Pero no podía medir menos de 5 miliamperios, y esto era un serio defecto. Poco después que Fleming desarrollara el amperímetro de hilo caliente, el ingeniero británico William Duddell, muy conocido por su ingenio en el diseño de instrumentos científicos, presentó su termo-galvanómetro, que empleaba una unión termoeléctrica muy fina y que, como indicó Duddell (1904) podía medir incluso 0,1 miliamperios. Fleming (1904a) encontró que el dispositivo de Duddell era difícil de calibrar, ya que era extremadamente difícil mantener la termounión y las termofuerzas constantes.

En Diciembre de 1903, cuando expiró su primera asesoría de tres años, la Compañía Marconi no renovó su contrato. En las subsiguientes comunicaciones con la Compañía Marconi, Fleming enfatizó el valor de sus investigaciones sobre el chispero de bolas rotativo respecto a las señales de potencia, pensando que Marconi se podía interesar. Sin embargo, Marconi ya había decidido que no era práctico. En 1904, la relación entre Fleming y Marconi y la compañía habían terminado virtualmente. Mantener una conexión con Marconi era vital para Fleming no únicamente porque la asesoría de Fleming le proporcionaba unos ingresos y reconocimientos sino también porque su departamento y el laboratorio en el University College se habían convertido en el primero de ellos en Gran Bretaña en dedicarse a la ingeniería de la radio. Sin una conexión con Marconi, el Laboratorio de Fleming no podía evolucionar para convertirse en un laboratorio de investigación para la ingeniería de la radio.²⁹ Fleming no sabía como revivir la conexión, pero sentía que las invenciones útiles para la telegrafía inalámbrica le podían ayudar.

Estas circunstancias alteraron el estilo de Fleming. Como antes se ha indicado, anterior a 1903 Fleming no había patentado ningún producto de su propia investigación. Incluso cuando mejoró significativamente el diseño de los potenciómetros existentes (en 1884), o cuando descubrió la inducción unipolar (en 1891), no se entusiasmó con patentar los dispositivos o usar sus descubrimientos para fines prácticos. La fuerza de Fleming estaba en explicar los problemas técnicos en lenguaje científico y matemático, y se había satisfecho con su fama como mediador entre la ciencia y la ingeniería. Sin embargo, en 1904, sentía una fuerte presión para inventar algo útil para restaurar su lazo con Marconi.

Esta presión le forzó a intentar transformar algunos dispositivos de su laboratorio en aparatos técnicos. Lo consiguió rápidamente con dos artefactos. El cimómetro, un dispositivo medidor de longitud de onda, que derivaba del efecto de fuera de resonancia en una bobina larga, conocido como bobina Seibt, que se había usado como dispositivo de demostración para mostrar los picos y valles de las ondas electromagnéticas inducidas en ella. Fleming transformó la bobina Seibt en un dispositivo medidor de longitud de onda práctico y portátil.³⁰ El segundo dispositivo exitoso fue la válvula termoiónica, que examinaremos en la siguiente sección.

Rectificadores, fotometría y la “idea feliz”

Los rectificadores de principios de 1900 se podían clasificar en dos grupos: los que servían para corrientes “fuertes” de baja frecuencia en ingeniería de potencia, y los que servían para débiles corrientes de alta frecuencia en telegrafía inalámbrica. Convertir la corriente alterna en continua había sido una meta importante en la ingeniería de potencia, y se habían inventado varios tipos de rectificadores (entre ellos convertidores rotativos, lámparas de mercurio, tubos de vacío y células electrolíticas) para ese propósito.³¹ Por otra parte, no existían rectificadores eficientes para telegrafía inalámbrica. Oliver Lodge y Alexander Muirhead emplearon algunas veces la lámpara de mercurio de Lodge como rectificador en los receptores de radio para medir el efecto de los transmisores. Sin embargo, la lámpara de mercurio, diseñada originalmente para recoger el polvo del aire, demostró ser ineficaz en la telegrafía inalámbrica (Lodge 1903).³²

Aunque no se habían inventado como rectificadores, los detectores electrolíticos se podían usar para rectificar las oscilaciones de alta frecuencia. El mecanismo que gobernaba a los detectores electrolíticos se debatió mucho a principios de la década de 1900, y el argumento que la rotura electrolítica de la polarización del ánodo por las ondas electromagnéticas producía el efecto rectificador compitió con la reclamación de que el responsable era un efecto térmico. El científico alemán M. Dieckmann razonó en 1904 que el detector funcionaba no por un proceso térmico sino por despolarización electrolítica (Dieckmann 1904). V. Rothmund y A. Lessing, los otros dos alemanes que estaban estudiando el mismo tema, llegaron a la misma conclusión y publicaron sus resultados en la edición de Septiembre del *Wiedemann's Annalen* (Rothmund y Lessing 1904). Mientras tanto, el artículo de Dieckmann se tradujo al inglés y se imprimió en *The Electrician*.³³ Rothmund y Lessing, al igual que Dieckmann, emplearon un galvanómetro ordinario de CC en sus experimentos para demostrar la rectificación de alta frecuencia en los detectores electrolíticos. Como Fleming había buscado previamente modos de crear el efecto de la corriente continua a partir de oscilaciones de alta frecuencia para medir la potencia de las ondas, estos trabajos alemanes podrían haber llamado su atención. Sin embargo parece que hay una motivación aún más directa, fue un papel de Albert Nodon, un electricista francés, titulado “El rectificador electrolítico: una investigación experimental,” que se leyó en el Congreso Eléctrico Internacional de St. Luis del verano de 1904 y se publicó en la edición de *The Electrician* (Nodon 1904) del 14 de Octubre de 1904. Nodon describe las características y eficiencia de algunas celdas rectificadoras de aluminio que había diseñado para usar en la ingeniería de potencia. Los rectificadores de Nodon consistían de dos metales (uno era usualmente el aluminio) sumergidos en un electrolito (carbonato de amonio, por ejemplo). Con corrientes alternas de frecuencias bajas (42–82 Hz), Nodon obtuvo una eficacia del 65–75 por ciento en la rectificación. En su artículo, Nodon describe su rectificador como una “válvula” electrolítica (que sugiere el origen del nombre de Fleming para su propio dispositivo) y usó términos como “efecto válvula” y “acción de la válvula”. Fleming intentó usar la válvula de Nodon para replicar el efecto rectificador con oscilaciones de alta frecuencia, pero tras muchos experimentos concluyó que era inefectiva a altas frecuencias.³⁴

El caso de la válvula Nodon ilumina por qué Fleming dijo más tarde repetidamente que las células electrolíticas o rectificadores eran ineficaces para la rectificación de alta frecuencia. Lee DeForest criticó a Fleming por esto, debido a que la mayoría de detectores electrolíticos en telegrafía inalámbrica podían de hecho hacer el trabajo. Sin embargo, por “rectificadores electrolíticos” Fleming se refiere esencialmente a las válvulas Nodon del tipo empleado en la ingeniería de potencia, no a los detectores electrolíticos usados en telegrafía inalámbrica. Además, la atención de Fleming a la válvula Nodon apoya mi declaración de que entre 1903 y 1904 se preocupó menos con los nuevos detectores que con la búsqueda de un instrumento para medir corrientes de alta frecuencia. Si se hubiera interesado principalmente en detectores, hubiera comenzado sus experimentos con los detectores electrolíticos ordinarios del tipo usado en telegrafía inalámbrica, en vez de los rectificadores Nodon del tipo usado en ingeniería de potencia. Este último no tiene nada que ver con la telegrafía inalámbrica) Y aunque Fleming mencionó que había inventado la válvula termoiónica en Octubre de 1904, de hecho no supo del rectificador Nodon hasta mediados de ese mes; esto sugiere que su descubrimiento podía haber ocurrido algo más tarde. Una carta al *The Electrician* escrita en 1906 por el propio Fleming

apoya una fecha posterior: “En Noviembre de 1904 descubrí que esta conductividad unilateral [en la lámpara] se comportaba bien para las corrientes de alta frecuencia, que no es el caso de los rectificadores electrolíticos.”³⁵

Después de su fracaso con la válvula Nodon, Fleming sopesó otros modos para rectificar las corrientes de alta frecuencia. Se le ocurrió una “idea feliz” al pensar en la conductividad unilateral del espacio en el interior de la lámpara. En la década de 1890, como hemos visto, Fleming intentó eliminar la unilateralidad. En 1904, la podía usar para la rectificación. Volvió ahora a sus trabajos anteriores (cuyo desarrollo se ilustra en las figuras 5.6–5.8), Fleming realizó el circuito ilustrado en la figura 5.10, tras haber preguntado a su ayudante G. B. Dyke que sacara del armario uno de sus viejos bulbos experimentales.” El circuito resultó ser funcional inmediatamente.³⁶

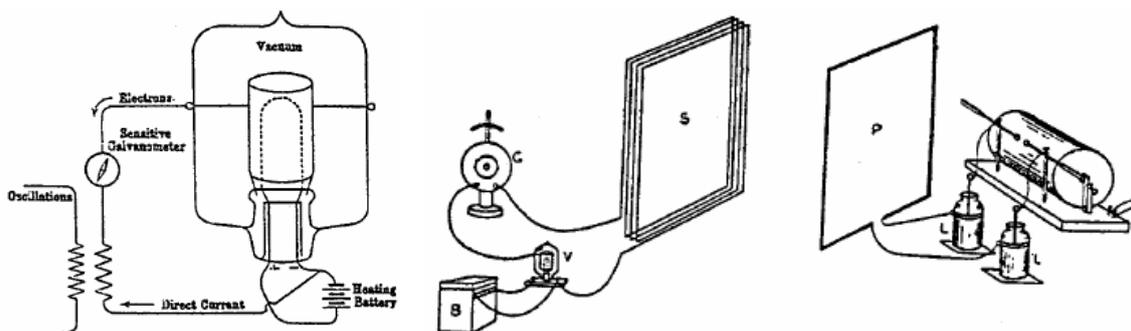


Figura 5.10

Válvula Fleming en 1904, o cómo usar su conductividad unilateral. En el dibujo de la derecha, la válvula (V) se conecta al galvanómetro (G) para detectar la radiación electromagnética. Fuentes: (izda.) *The Electrician* 54 (31 Marzo 1905), pág. 907; (dcha.) Fleming 1906c, pág. 179.

¿Por qué, en ese preciso momento, concibió Fleming usar la lámpara para la rectificación – una idea que nunca se le ocurrió en los anteriores 20 años? Aunque apenas es posible encontrar una sola razón para esta “idea feliz”, varios factores que se dieron solamente en 1904 pueden ser los responsables.³⁷ Ya hemos visto que en 1904 Fleming se sentía presionado por una “invención imperativa”. Hemos examinado los esfuerzos de Fleming para encontrar un medidor adecuado que pudiera rectificar las oscilaciones de alta frecuencia. Hemos visto los diversos trabajos en rectificación de CA que estaban disponibles para él en el verano de 1904, y uno de ellos (el papel de la válvula Nodon) puede haber llevado a Fleming al término “válvula” e incluso a la noción de acción similar a una válvula.

El primero de los otros dos factores que son pertinentes es la teoría del electrón de Joseph Larmor y J. J. Thomson, que Fleming adoptó hacia 1900.³⁸ Según la teoría del electrón, los portadores de carga en la conducción de la corriente son los electrones. El efecto Edison se podía interpretar como un movimiento de una porción de los electrones cargados negativamente en el espacio vacío, desde el polo negativo del filamento a la placa. Esto podría cambiar el significado de varios elementos del circuito mostrado en la figura 5.6. En 1890, antes de la teoría del electrón, la célula Clark (Ck) funcionaba como un “absorbedor” o descargador de cargas negativas en la placa (M), que se acumulaban en M como resultado del bombardeo por partículas de carbón cargadas. El galvanómetro (G) medía la velocidad de esta descarga. En 1904, en el contexto de la teoría del electrón, la célula Clark se convertía en una fuente de portadores de carga, que empujaba a los electrones al polo negativo del filamento para propulsarlos a través del espacio, y el galvanómetro medía el efecto de los electrones que salían de la célula Clark. La conductividad unilateral se convertía en un medio posible para rectificar una fuente de CA, si reemplaza la célula Clark. Pero hay dos problemas al relacionar la teoría del electrón con la válvula termiónica de Fleming:

- La patente de Fleming para la válvula no menciona la teoría del electrón en detalle, ni en su primer papel sobre la válvula. El papel sólo menciona “electrones o iones negativos” de pasada (Fleming 1905, pág. 487). Fleming no cita los experimentos de Owen Richardson sobre

las emisiones termoiónicas,³⁹ no hay ninguna evidencia de que supiera la investigación de Richardson, aunque hay una gran probabilidad que hubiera oído hablar de ella.⁴⁰

- Las recientes discusiones históricas y filosóficas sobre la práctica científica que están de acuerdo con la “alta teoría” (como la teoría del electrón en el presente contexto) con frecuencia no afectan directamente a la práctica diaria de un científico, ya que un científico normalmente usa teorías mucho más “bajas” (es decir, teorías basadas en instrumentos).⁴¹

Sin embargo, hay algo aparte de la teoría del electrón que pudiera haber estimulado a Fleming, aunque en ausencia de evidencias corroboradas debe permanecer sólo como una sugerencia. La edición de Octubre de 1904 del *Philosophical Magazine*, el anciano Kelvin (1904a, b), basando su argumento en la afirmación que el vacío perfecto era un conductor perfecto, declaró: “El aislamiento de la electricidad en el vacío debe explicarse, no por una resistencia cualquiera del espacio vacío o del éter, sino por una resistencia del vidrio o metal u otro sólido o líquido contra la extracción de los electrones de él, o contra la extracción de fragmentos electrificados de su propia sustancia.” Si Fleming hubiera visto estos papeles de Kelvin (es muy probable, ya que Kelvin 1904a es mencionado por Fleming en 1906b), ciertamente podría haber recordado conceptualizar la conductividad unilateral en el vacío de la lámpara Edison en términos de un movimiento de electrones extraídos del filamento de carbón.

El segundo factor es la involucración de Fleming en mediciones fotométricas. Aunque los últimos experimentos de Fleming sobre el efecto Edison se hicieron en 1895, las lámparas siempre habían sido una fuente de material importante en el laboratorio de Fleming debido a la investigación fotométrica que había hecho allí. Como recordó Arthur Blok (1954, pág. 127):

[Fleming a principios de 1900] había iniciado un gran trabajo sobre los cambios en la emisión luminosa de los filamentos de carbón de las lámparas, bien causados por cambios en los propios filamentos o por ennegrecimiento en los bulbos. En el laboratorio Pender en Gower Street estábamos todos allí y a menudo salíamos de la galería fotométrica después de horas de trabajo con el Lummer-Brodthum ciegos como lechuzas al sol del mediodía.⁴²

Impedir la deposición de carbón en el vidrio era extremadamente importante en la construcción de la lámpara fotométrica estándar. En Agosto de 1904, en una reunión de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, Fleming leyó un artículo sobre la lámpara estándar, cuyo gran tamaño “impide cualquier depósito sensible de carbón en ella” (Fleming 1904b). Esto muestra que el depósito de carbón en el interior de un bulbo, que había estimulado la larga investigación de Fleming sobre el efecto Edison, todavía le interesaba en el momento que construyó la válvula termoiónica.

Preparando el uso de la válvula

Después de su primer experimento con la válvula termoiónica, Fleming presentó una especificación provisional para él (patente británica 24.850, 16 Noviembre 1904). La patente se titulaba Perfeccionamientos en Instrumentos para Detectar y Medir Corrientes Eléctricas Alternas. Podemos confirmar el propósito de esta invención en esta especificación provisional. En ninguna parte menciona Fleming problemas con los detectores existentes, ni alude a una demanda de otros nuevos. Después de mencionar su investigación previa en la medición de corrientes alternas de alta frecuencia, explica el objeto de la invención: “para proporcionar un medio por el cual se pueda usar un galvanómetro ordinario para detectar y medir corrientes eléctricas alternas y especialmente de alta frecuencia conocidas comúnmente como oscilaciones eléctricas.” En él menciona dos usos para la válvula: (1) “El dispositivo se puede aplicar especialmente a la detección y medición con un galvanómetro ordinario de corrientes de alta frecuencia u oscilaciones eléctricas, donde es inútil cualquier forma de rectificador mecánico o electrolítico [como la válvula de Nodon]”. (2) El dispositivo “y un galvanómetro se pueden usar como instrumento receptor en telegrafía inalámbrica.” El primer objetivo enfatizaba el uso del dispositivo, con un galvanómetro ordinario, para medir corrientes en el laboratorio; el segundo sugiere su posible uso como receptor en telegrafía inalámbrica.⁴³

Entre Diciembre de 1904 hasta Enero de 1905, Fleming experimentó con la única válvula que funcionaba satisfactoriamente para determinar su conductividad con diferentes voltajes. En estos experimentos Fleming encontró que la relación entre la corriente y el voltaje “era, en gran medida, independiente de la fuerza electromotriz que la creaba, y en ninguna etapa era proporcional a él.”⁴⁴ No era lineal, no había ninguna regularidad en la curva característica que representa la relación entre la corriente (I) y el voltaje (V). Por tanto la rectificación de potencia es difícilmente predecible, lo que socavaba la aspiración inicial de Fleming de que había obtenido un dispositivo medidor. ¿Qué hay entonces de la válvula como detector? Fleming se daba cuenta de los méritos y fallos de la válvula como detector; esto es evidente como se deduce de su declaración que “el montaje [una válvula con un galvanómetro], aunque no es tan sensible como un cohesor o detector magnético, es mucho más simple de usar.” La facilidad era un mérito; la mala sensibilidad era una debilidad. Pero otro mérito –la habilidad para detectar “un cambio en la potencia de la onda o uniformidad de operación del montaje transmisor”– podría superar esta desventaja. La válvula, usada con un galvanómetro, presentaba un modesto carácter métrico, del que carecía el cohesor o el detector magnético; sin embargo, esto no era suficiente para “hacerlo útil como un dispositivo estrictamente medidor para medir las oscilaciones eléctricas” (Fleming 1905, pág. 480).

De todos modos, Fleming encontró un uso obvio e inmediato para la válvula termoiónica: rehacer su conexión con Guglielmo Marconi y la Compañía Marconi. Había solicitado una patente para la válvula, pero todavía no había experimentado con ella, Fleming escribió una carta sin fecha a Marconi en la que mencionaba su primera invención de un medidor de longitud de onda (el cimómetro) y observó que este nuevo dispositivo podía “medir exactamente el efecto del transmisor”. Añadió: Todavía no he mencionado esto a nadie pero puede llegar a ser muy útil.”⁴⁵

Las dos invenciones de Fleming (es decir, el cimómetro medidor de longitud de onda y la válvula termoiónica) impresionaron evidentemente a Marconi, que expresó sus deseos de hacer algunos experimentos con el “rectificador de oscilaciones eléctricas.” Fleming propuso preparar un aparato en la factoría Marconi en Chelmsford, donde Marconi “podría ir a verlo en el momento más adecuado.” En una Lectura de los Viernes en la Royal Institution de Marzo de 1905, Marconi mostró su aprobación al cimómetro y la válvula exhibidos por Fleming. Después de la lectura, Marconi le preguntó a Fleming si le podía prestar la válvula para más experimentos.⁴⁶

Fleming tuvo el cuidado de no dejar pasar esta oportunidad para reestablecer su conexión con Marconi. Le respondió inmediatamente:

La única válvula que poseo que funciona bien es la única que le presté para a su lectura, y con la que he hecho todo el trabajo para mi papel de la Royal Society. No me gustaría separarme de esta válvula ya que no tendría ningún medio para hacer mediciones por comparación. Voy a intentar conseguirle un par de válvulas buenas y tan pronto sea posible se las enviaré... Mientras me gustaría llamar su atención al punto de mi acuerdo con la Compañía del cual le hable la última vez que nos vimos. En su ausencia creo que no debe prolongarse el tema ya que será de interés para la Compañía que se reestablezca.⁴⁷

En Mayo de 1905, la Compañía Marconi renombró a Fleming como asesor científico. El memorando del acuerdo firmado por los dos directores de la compañía y Fleming contenía cuatro términos, el tercero de ellos especificaba que las invenciones de Fleming hechas entre el 1 de Diciembre de 1903 y el 1 de Mayo de 1905 recaerían bajo los términos del acuerdo como si hubiera sido asesor científico durante ese tiempo. Aunque la patente de la válvula se emitió en nombre de Fleming, la Compañía Marconi tenía derechos sobre ella.⁴⁸

Hasta 1907 las válvulas se fabricaron en los talleres de la compañía Ediswan, en Ponders End bajo la supervisión de Fleming, por Charles Gimingham, un diestro artesano de lámparas y gran amigo de Fleming. Cuando Marconi y la Compañía Marconi preguntaron a Fleming por las válvulas, Fleming le dijo a él y a su ayudante que las trajeran. Pero el *uso* de las válvulas no estuvo bajo el control de Fleming durante este primer periodo.

A finales de 1906, un profesor italiano preguntó a Fleming si podía obtener una válvula para experimentos científicos. Pensando que esta solicitud era razonable, Fleming habló de ello a Marconi, añadiendo: “Aunque quiera mantener el uso exclusivo de la válvula para la telegrafía

inalámbrica, sería posible suministrarla para otros usos científicos que no entraran en conflicto con sus trabajos.”⁴⁹ Marconi, que estaba experimentando con la válvula como detector de larga distancia, lo rechazó. Sin embargo, Marconi decidió dar varias válvulas al gobierno italiano en 1907, y le pidió a Fleming que diera instrucciones a los italianos sobre su uso.

Marconi, no Fleming, transformó la válvula termoiónica en un sensible detector para la telegrafía inalámbrica. A mediados de 1905, mientras experimentaba con el dispositivo, Marconi encontró que era mucho más sensible cuando se sustituía el galvanómetro por un teléfono. En 1906–07, conectó un teléfono inductivamente al circuito de la válvula, usando su transformador oscilante (el “jigger”) como medio para su acoplamiento inductivo. Con esta modificación la válvula se convirtió en “uno de los mejores receptores hechos hasta entonces para larga distancia, incluso bajo ciertas condiciones mejor que el detector magnético”. Pero todavía estaba lejos de ser un dispositivo adecuado, para discernir las señales cuando se usaban las nuevas “ondas continuas” de Marconi (que realmente eran cuasi continuas). Por ejemplo, Marconi, en su estación de Poole, podía recibir claramente las señales enviadas por Poldhu con otros receptores, pero no con la válvula, cuando se usaban ondas continuas.⁵⁰

En 1908, Fleming diseñó una válvula de tungsteno y un nuevo circuito para conectarla al receptor. En Noviembre de 1904 había hecho mucho y escribió para contarle a Marconi “Estoy ansioso, esta [mejora] todavía no la conoce nadie más que Ud.” Sin embargo Marconi no recibió bien los nuevos desarrollos. Después de unos pocos experimentos, informó a Fleming: “Las válvulas de Tungsteno no son más sensibles que las mejores válvulas de carbón... [y] su nuevo perfeccionamiento del circuito no dan tan buenos resultados como el circuito estándar que... está estrictamente en acuerdo con la descripción dada en mi patente para el modo de usar su válvula como receptor.” Después de esto, Fleming no hizo ninguna otra contribución importante al desarrollo de la válvula, y Marconi y sus jóvenes ingenieros comenzaron a tomar la iniciativa.⁵¹

Durante este primer periodo, Fleming aparentemente no se preocupó por el uso de la válvula por parte de otros. En Octubre de 1906, le dijo a Marconi:

[La patente de la válvula] no es ninguna patente fuerte y si rechaza suministrar la válvula para todos los usos, la gente podrá importar un dispositivo similar de Wehnelt de Alemania o tal vez la fabricarán ellos mismos. Apenas puedo creer que valga la pena luchar por la patente... Personalmente no tengo interés en el tema; el poco crédito científico que tengo podría ser por la invención.⁵²

Un poco más tarde en Octubre, el desarrollo de la válvula termoiónica dio un giro imprevisto cuando Lee DeForest anunció su invención del audión en una reunión del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos. Básicamente, DeForest insertó una rejilla (aplicada a una diferencia de potencial independiente) en el espacio vacío entre la placa y el filamento. La corriente que fluía por el espacio estaba controlada por medio de esta rejilla. Con esta mejora, DeForest argumentó que el audión no sólo rectificaba sino que también amplificaba las señales recibidas.

DeForest intentó socavar la anterior contribución de Fleming todo lo que pudo. Afirmó que el trabajo de Fleming en la conductividad unilateral había sido anticipado por los científicos alemanes Julius Elster y Hans Geitel. Argumentó que el uso de la válvula de Fleming se confinaba a “mediciones cuantitativas a cortas distancias.” Concluyó que “el valor de la válvula de Fleming como receptor telegráfico inalámbrico era nulo,” argumentó que el audión era “tremendamente más sensible y valioso en la radio práctica” que la válvula (DeForest 1906a, pág. 748, 775).⁵³

El extracto del papel DeForest en *The Electrician* fue suficiente para enfurecer a Fleming, que contestó inmediatamente que “la construcción actual del aparato [el audión] es igual [como el mío]” y que su válvula se había usado realmente como un receptor sensible en la telegrafía inalámbrica (Fleming 1906d). En su respuesta, DeForest (1906b) argumentó nuevamente que la génesis real de su audión, así como la válvula de Fleming, era la investigación de Elster y Geitel en la década de 1880. DeForest (1907) comparó la válvula a “una curiosidad de laboratorio” y el audión a “un asombrosamente eficaz receptor de radio que emplea el mismo medio, pero funciona bajo un principio diferente.” La credibilidad de Fleming estaba amenazada, lo que era

insoportable para él. Esto le llevó a una alianza de interés mutuo con Marconi, ya que DeForest era uno de los principales competidores de Marconi. Fleming urgió a Marconi:

Es extremadamente importante que no se le pueda permitir a DeForest en América apropiarse de todos los métodos de uso de la lámpara detectora... Quiero para nuestra Compañía que tenga todas las ventajas comerciales posibles y estoy ansioso que DeForest no me prive de todo el crédito científico de la invención de la válvula como ansía hacer.⁵⁴

Este fue el inicio de una larga animosidad de Fleming hacia Lee DeForest.

Fleming y DeForest volvieron a cruzar sus espadas nuevamente en 1913 en las columnas del *The Electrician*. Pero la controversia no se resolvió en los diarios de ingeniería; se resolvió en un tribunal. Como DeForest no rellenó una especificación completa para su patente en Gran Bretaña, su patente británica del audión caducó. La Compañía Marconi, que tenía los derechos de la válvula de Fleming, fabricó audiones en Gran Bretaña hasta 1918, cuando expiró la patente de Fleming. La Compañía Marconi intentó extender la patente, pero fracasó. En los Estados Unidos, la Compañía Marconi denunció a DeForest por infringir la patente de la válvula de Fleming. En 1916, un tribunal en los Estados Unidos sentenció que la Compañía Marconi había infringido la patente DeForest y también el audión DeForest infringía la patente de la válvula de Fleming. Se hizo un acuerdo temporal entre estas dos compañías para que DeForest pudiera producir los tubos de vacío y la Compañía Marconi pudiera distribuirlos. Pero la I Guerra Mundial, durante la cual se toleró esta infracción de las patentes, hizo innecesario el acuerdo. Es interesante que en 1943, dos años después de la muerte de Fleming, el Tribunal Supremo de los EE.UU. decidió que la patente de Fleming era “inválida por una denuncia infundada” y que siempre había sido inválida, así es que en su primera reclamación (en la cual Fleming no distinguía entre oscilaciones de alta y baja frecuencia) contradecía las restantes reclamaciones (que se relacionan con el uso de la válvula en la telegrafía inalámbrica) (Howe 1944, 1955).

El audión DeForest aparentemente forzó a Fleming a sopesar la originalidad de su invención. Sabía que el dispositivo por sí mismo –una lámpara con uno o más electrodos– había sido hecho por Edison, así como por Elster y Geitel. La rectificación de la corriente alterna de alta frecuencia también era insuficiente; Podía considerarse como una “curiosidad de laboratorio” sin importancia práctica. DeForest argumentaba persistentemente que sólo su audión era adecuado para la detección práctica. Por su parte, Fleming enfatizaba repetidamente que él había inventado un nuevo *detector* para telegrafía inalámbrica, mientras que DeForest no había hecho nada más que añadir una placa más a su válvula. Este modo de pensar parece que se fijó en la mente de Fleming después del litigio de patentes contra DeForest.

La válvula de Fleming se hizo más famosa tras la aparición del audión oscilante a mediados de la década de 1910. El audión comenzó a usarse no sólo como amplificador sino también como oscilador para ondas continuas. A medida que el audión se volvía más esencial a la ingeniería de la radio, la válvula –como predecesor del audión– se resaltaba cada vez más. Sin embargo, Fleming no estaba contento con el cambio de situación. En un sentido, cada vez se sentía más frustrado.

En 1918 la Compañía Marconi solicitó una extensión de la patente de Fleming, pero fracasó en base a que la compañía había conseguido suficientes beneficios por ella. Sin embargo, Fleming se quejó más tarde que “como el inventor original de ella, nunca recibí ni un penique de recompensa por ella.” Además, según veía Fleming, la compañía se había apoderado de su credibilidad al disociar su nombre de su invención. Sólo después de renunciar a la asesoría científica de la Compañía Marconi Fleming (1934, pág. 147) expresó la opinión que “una firma ha vendido válvulas durante muchos años hechas exactamente en acuerdo con mi especificación de patente, pero las anunciaron bajo la marca 'Marconi Valves.'” Esta “injusticia de algunas prácticas comerciales de hoy en día,” se lamentaba, era el precio que había que pagar para reestablecer su conexión con la Compañía Marconi en 1905.

De efecto de laboratorio a artefacto tecnológico

La transformación de un efecto de laboratorio en un artefacto tecnológico, como una interacción principal entre la ciencia y la tecnología, siempre ha sido interesante para los historiadores de la ciencia y la tecnología (Hong 1994b; Wise 1988; Galston 1985; Van Helden y Hankins 1994).⁵⁸ La invención de la válvula termoiónica a partir del efecto Edison es un buen ejemplo de esta transformación, y se ha interpretado de dos modos diferentes. La primera interpretación realza la investigación científica de Fleming sobre el efecto Edison, así como su investigación de su mecanismo en términos de la teoría del electrón, dando por tanto un buen ejemplo de la contribución a largo término de la investigación científica para la tecnología práctica.⁵⁶ La segunda interpretación invierte el énfasis realzando la contribución del efecto Edison a la investigación científica. Simplificando, el efecto Edison era una curiosidad que emergió primero en el taller de un práctico, lo que llevó a Fleming (y otros, incluyendo a O. W. Richardson) a varias investigaciones científicas de la emisión termoiónica. La contribución de la ciencia a la tecnología es menos importante aquí que la contribución de la tecnología a la ciencia.⁵⁷

Las implicaciones de estas dos interpretaciones son muy diferentes. Los que desean alabar la contribución de Fleming realzan su investigación científica; los que desean despreciar su originalidad argumentan que la válvula era sólo una extensión del efecto Edison. Igualmente, los que desean subrayar la importancia de la investigación científica para la tecnología adoptan la primera interpretación; los que desean argumentar la autonomía del avance tecnológico adoptan la segunda interpretación.

Fleming es parcialmente responsable de esta conflictiva situación, debido a que caracterizó su invención como resultado de la momentánea “idea feliz” en 1904 y de su imperecedera investigación científica en las décadas de 1880 y 1890. En el modo de pensar de Fleming, sabía potencialmente de su investigación que se podía usar el efecto Edison para la rectificación, sin embargo, no hizo ninguna investigación en los años 80 y 90 debido a la poca utilidad aparente del efecto en aquellos momentos. Su uso actual del efecto llegó en 1904, cuando existía una demanda tecnológica y económica. Esta narración también relega el papel de Fleming a un menor estado, ya que aparece lo que pensaba del efecto Edison, que mostraba un flujo de corriente en una dirección, como destinado a evolucionar como un dispositivo rectificador. De no haber construido Fleming la válvula, alguno otro lo habría hecho, ya que se trataba simplemente de reconocer el efecto Edison como un medio para construir un dispositivo rectificador. Se podría decir que había una “tecno-lógica” brutal inherente en el efecto Edison, y que esta lógica irresistible, no el trabajo de Fleming, produjo la válvula. (Ver figura 5.11).

Y como hemos visto, la válvula termoiónica surgió menos del imperecedero compromiso de Fleming con el efecto Edison que de una variedad de recursos específicos que se disponían sólo en 1904. Algunos de estos recursos (como el imperativo de la invención que sentía en 1904 para considerar su conexión con Marconi) presionó a Fleming contra su voluntad; algunos (la teoría del electrón, los artículos en *The Electrician*) estaban disponibles para él y para otros; algunos (fotometría práctica, la vieja lámpara con un electrodo extra) eran únicas en su laboratorio; otros (su interés en la medición e instrumentos de medición) provienen del estilo de investigación en ingeniería de Fleming. Otros factores (como la válvula Nodon y el papel de Kelvin) se hicieron significativos sólo a finales de 1904; otros (la vieja lámpara) habían existido desde largo tiempo. Otros factores eran aparentes a todos los relacionados; otros (como la dificultad Maxwellinana con la unilateralidad) se ocultaban o incluso se “inarticulaban.”⁵⁸ Fue la destreza de Fleming en esta totalidad la que manipuló estos factores complejos y finalmente los estabilizó como un artefacto útil; la válvula termoiónica.

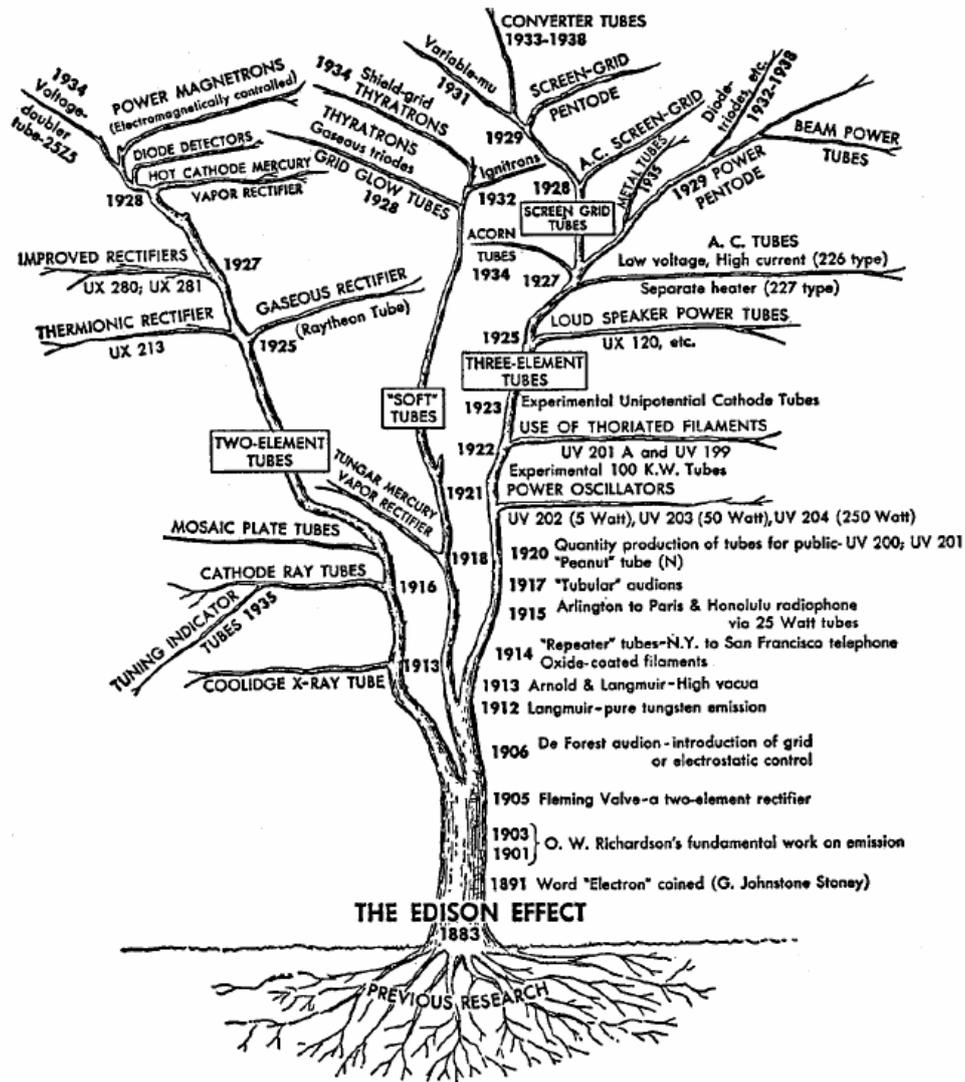


Figura 5.11

“El árbol de familia de los tubos termiónicos.” Fuente: Maclaurin 1949, pág. 91.

6

EL AUDIÓN Y LA ONDA CONTINUA

“¿Qué derechos tenemos aquí sobre esto [el audión oscilador]? Esto no es nuestro. ¡Pertenece a Armstrong!”

–Michael Pupin a Lee DeForest, 1914 (DeForest 1950, pág. 319)

En la década de 1910 se descubrió que se podía usar el audión como amplificador realimentado y como oscilador (Tyne 1977; Aitken 1985, pág. 162–249). Como amplificador, el audión facilitaba la recepción de las señales de radio débiles; como oscilador, producía ondas continuas, además de la transmisión de la voz humana, de forma simple y económica. De esta forma la telegrafía inalámbrica se transmutó en la radio.

La historia del audión es una historia humana –de ingenieros, científicos, empresarios, abogados de patentes, amateurs, y sus éxitos, sus descubrimientos accidentales, sus equivocaciones y sus frustraciones.¹

En el centro de esta complicada historia humana estaba un artefacto: el audión. Inventado por Lee DeForest en 1906–07 para amplificar las señales inalámbricas, el audión era un tubo de vacío con una rejilla de control insertada entre el filamento y la placa de ánodo de la válvula termoiónica de J. A. Fleming. DeForest aparentemente pensaba que la rejilla podría controlar el flujo de las partículas gaseosas cargadas (que llamó “iones”) y amplificar las señales recibidas como haces los relés en la telegrafía o telefonía. DeForest estaba equivocado: apenas amplificaba si lo hacía. Al igual que la válvula de Fleming, el audión trabajaba mejor como receptor de rectificación. Sin embargo, entre 1912 y 1914, varios ingenieros encontraron que se podía usar como amplificador realimentado y (más importante) como oscilador productor de ondas Hertzianas continuas de alta frecuencia. Comenzaron inmediatamente los litigios por la patente. Los primeros papeles técnicos sobre los nuevos aspectos del audión se publicaron en las revistas eléctricas en 1914. Hacia 1920 la importancia del audión era de conocimiento público.² El audión cambió la teoría y la práctica de la telegrafía inalámbrica profunda y radicalmente. En los años 20 abrió la nueva era de la radiodifusión.

La revolución³ del audión en la década de 1910 es un ejemplo de innovación simultánea. Al menos cuatro ingenieros, tal vez seis, llegaron al circuito amplificador y oscilante casi simultáneamente. Edwin Howard Armstrong (1890–1954), un estudiante universitario en la Universidad de Columbia, produjo el circuito en Septiembre de 1912; Lee DeForest (1873–1961), un flamboyante inventor, reclamó haber inventado virtualmente el mismo circuito en Agosto de 1912; Alexander Meissner de Alemania hizo unas reclamaciones similares en Marzo de 1913, e Irving Langmuir (1881–1857) en 1913. La validez de sus patentes americanas se disputaron en lo que se conoce como “el grupo de las cuatro” actas interferentes. Fritz Lowenstein (en los Estados Unidos) puede haberse anticipado a todos ellos a principios de 1912, y H. J. Round (en Gran Bretaña) también diseñó y patentó el circuito amplificador en 1913. Las actividades de estos ingenieros geniales se entremezclaron con las estrategias de las grandes corporaciones. Meissner trabajaba para la forma alemana Telefunken; Langmuir era un científico ingeniero muy conocido en General Electric; Round era el ingeniero más importante de la compañía Británica Marconi. AT&T adquirió los derechos del audión DeForest; Westinghouse adquirió más tarde los de Armstrong; Lowenstein proporcionó mucha información a Western Electric y General Electric.

¿Por qué estos seis ingenieros descubrieron los nuevos aspectos del audión sólo después de 1912, aunque el dispositivo se había inventado en 1906–07? ¿Cómo es que diseñaron casi simultáneamente los circuitos amplificador y oscilador del audión? ¿Trabajaban de forma independiente, o sabían del trabajo de los demás? Se puede argumentar, como hacen algunos historiadores, que esto es un ejemplo de que la tecnología tiene “vida propia” (Aitken 1985) – que el audión poseía inherentemente la amplificación y la oscilación.⁴ Sin embargo, estos aspectos no se revelaron hasta después de 1912. Hay algo que decir de este modo de pensar, ya que nadie, incluyendo al inventor del audión, esperaba en 1906 que la pequeña lámpara poseyera las características de amplificación y oscilación. En este sentido, nadie controló o predijo efectivamente el futuro del audión.

Este capítulo aspira a dos cosas. La primera es proporcionar una explicación de cómo inventó DeForest al audión de rejilla a finales de 1906. En particular, discutiremos críticamente cómo influyó la válvula de Fleming al audión DeForest. La segunda es presentar la revolución del audión como un camino de avances continuos desde la “resistencia negativa” del arco eléctrico al generador de arco y al audión. Se revelará una continuidad teórica e instrumental entre el arco y el audión oscilante, una continuidad que es más aparente en que ambos silban o aúllan. Esta continuidad proporciona el contexto adecuado para la cuestión central antes presentada: ¿Cómo varios ingenieros, en 1912–1914, casi simultáneamente transformaron el audión rectificador en un dispositivo para amplificar y oscilar?

La solución de FitzGerald a las ondas continuas: La resistencia negativa

Volvamos primero a Heinrich Hertz. Como vimos en la figura 1.1, el transmisor de chispa de Hertz, el primer dispositivo que produjo ondas electromagnéticas artificiales, consistía en esencia de dos placas de condensador, un hilo recto que las conectaba, un chispero en el centro del hilo, y una bobina de inducción que aplicaba energía a las placas del condensador. La bobina de inducción cargaba las placas del condensador a un alto voltaje hasta que el aire en la separación se hacía conductor temporalmente. En este momento, las placas, el hilo, y el chispero se convertían en un oscilador lineal. Como el oscilador pierde su energía en forma de ondas electromagnéticas, el aire en la separación finalmente dejaba de ser conductor, y se volvía a repetir el proceso. Vimos en los capítulos 1 al 4 que la onda resultante estaba muy amortiguada, precisamente porque el dispositivo de Hertz no obtenía energía continuamente de la fuente (Buchwald 1994). Debido a la amortiguación, algunos Maxwellianos razonaban, la distancia que atravesaban las ondas era demasiado corta para cualquier uso práctico. Hertz y otros estaban más preocupados porque, debido a la amortiguación, la onda tenía un amplio espectro, y por tanto muchos resonadores diferentes responderían a él –haciendo imposible la sintonía (figura 6.1). Según el consenso que había surgido en algún momento a mediados de la década de 1890, la onda amortiguada era efectivamente una mezcla de muchas ondas con diferentes frecuencias.

El transmisor de Hertz puede considerarse (aproximadamente) como un circuito que consiste de capacitancia (C), inductancia (L),⁵ y resistencia (R). En el caso del transmisor de Hertz, la resistencia R del circuito oscilante consiste de la resistencia óhmica del hilo y la “resistencia de radiación” ($R = R_{\text{ohmica}} + R_{\text{radiacion}}$), la última es mucho más grande que la primera. Podemos ver fácilmente el efecto de la resistencia (cualquiera que sea) sobre el circuito considerando un circuito simple L - R - C ,⁶ la ecuación que lo gobierna estaba bien establecida en la década de 1890. La caída de voltaje total entre L , R y C debe ser cero para un circuito aislado

$$\frac{d}{dt}(LI) + Ri + \frac{1}{C} \int i = 0.$$

Suponiendo que L es independiente del tiempo, la anterior ecuación se diferencia respecto a t :

$$\frac{d^3i}{dt^3} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0.$$

Resolviendo esto, obtenemos

$$i = Ae^{-(R/2L)t} \sin \omega t,$$

donde

$$F = 1/[2\pi\sqrt{LC}]$$

La gráfica de la corriente i es precisamente igual que la gráfica inferior de la figura 6.1. Esta solución también muestra que la amortiguación está determinada por el factor $e^{-R/2L}$ (ver capítulo 4). Al aumentar la resistencia se aumenta la amortiguación. Si $R (= R_{\text{ohmica}} + R_{\text{radiacion}})$ es cero, no hay amortiguación.⁷

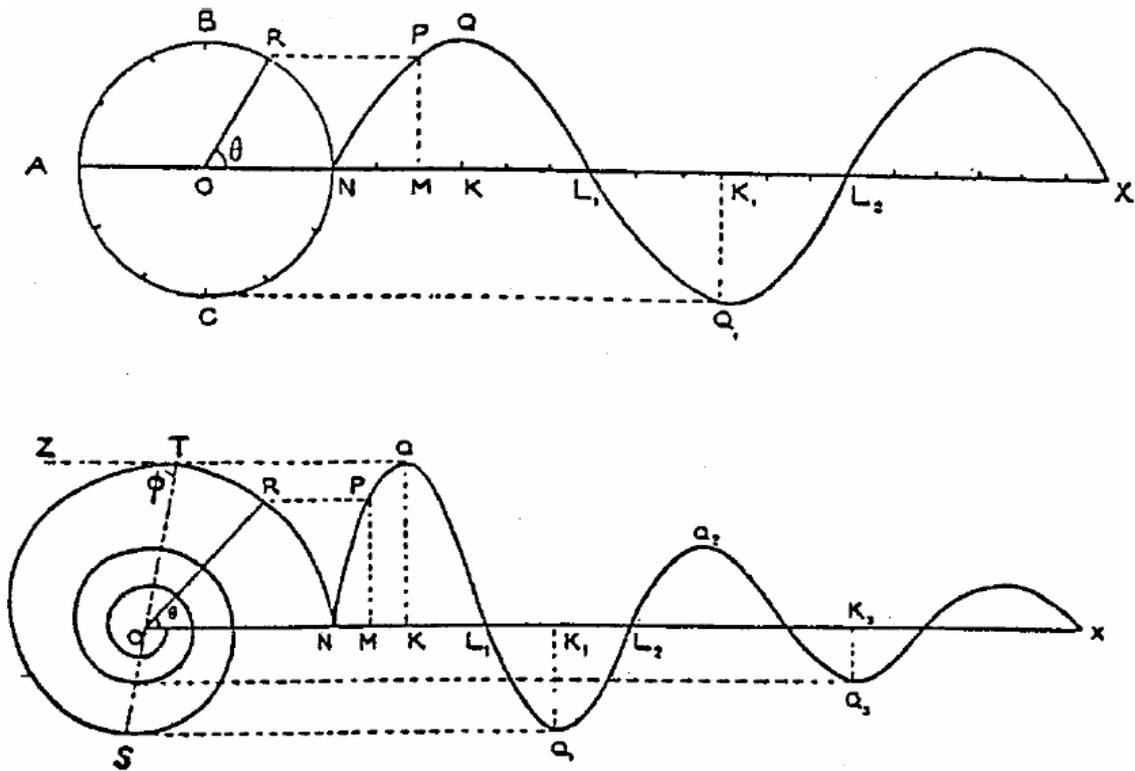


Figura 6.1
Ondas continuas (encima) y amortiguadas.

Se podría minimizar la amortiguación óhmica causada por la resistencia óhmica usando una sustancia con la menor resistencia posible, pero no se podría eliminar la amortiguación causada por la resistencia de radiación; de hecho, se debe precisamente a esta resistencia de radiación la causa que permite la radiación. No es posible reducir sustancialmente la resistencia, que deriva principalmente de la transformación de la energía del circuito en energía en forma de ondas electromagnéticas. Por lo tanto la producción de ondas continuas parecía prácticamente imposible, al menos con un oscilador lineal. Cambiando la forma del dispositivo de Hertz, los físicos y los ingenieros podían producir ondas menos amortiguadas. Por ejemplo, las ondas producidas con un circuito oscilante circular (sugerido por Lodge) están menos amortiguadas que las producidas por la antena lineal de Hertz. Pero el oscilador circular producía ondas más débiles, aunque las energías eran las mismas que en el dispositivo de Hertz. Luchando para resolver este problema, Marconi combinó ingeniosamente un circuito oscilante cerrado con una antena radiante abierta. Su sistema sintonizado, representado por la patente “cuatro sietes”, producía ondas menos amortiguadas y más potentes. Pero no hay que olvidar que la onda producida por el sistema transmisor “cuatro sietes” de Marconi todavía era amortiguado, ya que el oscilador se recargaba periódicamente por el primario de una bobina de inducción controlada por un interruptor. Como la sintonía se convirtió en la cuestión central de las comunicaciones inalámbricas, la Compañía Marconi usó todos los métodos a mano para producir ondas cada vez menos amortiguadas, incluyendo los descargadores de disco especiales de Marconi.⁸

Para obtener verdaderas ondas continuas, había que eliminar el efecto de la resistencia del circuito oscilante. El físico George FitzGerald fue el primero en ofrecer esta solución. A principios de 1891 FitzGerald se había preguntado si se podían usar las ondas Hertzianas como un faro costero para la comunicación (ver capítulo 1). Se sorprendió al encontrar que la máxima distancia de transmisión de las ondas Hertzianas era demasiado corta para ser útil para cualquier uso práctico. La amortiguación, razonó FitzGerald, era la mayor razón para ello. Comparó la onda emitida por el transmisor de Hertz al sonido que se produce al sacar el tapón de una botella. Solo existía por un tiempo muy corto —una centésima o incluso una milésima del intervalo de tiempo entre dos chispas adyacentes. En efecto, la energía era más parecida a un pulso que a una emisión continua. No era suficiente para estimular continuamente el resonador a

cierta distancia. Se necesitaba algo más parecido a un “silbato eléctrico” –algo que pudiera producir un fuerte haz de ondas continuas, como hace un silbato ordinario que produce un sonido continuo (FitzGerald 1892).

FitzGerald sugirió dos métodos diferentes para producir ondas continuas. El primero exigía la construcción de una enorme dinamo de CA que pudiera generar “una frecuencia de un millón (Hz).” Pero FitzGerald sabía que esto era un sueño; su alta velocidad destrozaría una dinamo ordinaria en trozos pequeños. El segundo método de FitzGerald (que al menos era posible) consistía en conectar una dinamo ordinaria en serie con un circuito L - R - C y obtener la descarga del condensador de este circuito híbrido condensador–dinamo. La explicación de FitzGerald para este circuito fue breve. Indicó que como la dinamo gira, la inductancia del circuito resultante no era independiente del tiempo. Volvamos a la siguiente ecuación

$$\frac{d}{dt}(LI) + Ri + \frac{1}{C} \int i = 0.$$

Previamente, hemos asumido que la inductancia L no varía con el tiempo. Pero si lo hace, la ecuación se convierte

$$L \frac{di}{dt} + \left(R + \frac{dL}{dt} \right) i + \frac{1}{C} \int i = 0.$$

FitzGerald (1892) comentó sucintamente:

Llamando a la cantidad de electricidad en el condensador Q [$i = dQ/dt$], la ecuación diferencial para una dinamo de inductancia L y resistencia r y un condensador de capacidad X , es

$$L \ddot{Q} + (r + \dot{L}) \dot{Q} + \frac{Q}{X} = 0.$$

Si $dL/dt = 0$, la solución de la ecuación es $Q = Q_0 e^{-(r/2L)t} \cos(t)$, y la relación de la degradación de la amplitud depende del factor $e^{-(r/2L)t}$. Sin embargo, si $-dL/dt$ es mayor que r el exponente de e se hace + y por tanto Q iría aumentando.

En este caso, la autoinducción de la dinamo tiene el efecto de cancelar la resistencia del circuito. Un circuito con una resistencia efectiva cero o negativa se puede hacer así. Esto tendría la consecuencia de acumular cargas constantemente en Q para superar el efecto de la resistencia (ohmica más la de radiación) que causa la amortiguación. Como sentía Lodge (que presidió la sesión en la Sociedad Física cuando FitzGerald leyó su papel), el hecho que “se pudiera cambiar de signo el factor de amortiguación debería tener tremendas consecuencias.”⁹

Pero los principios teóricos y la tecnología con la que se trabaja suelen ser muy diferentes con mucha frecuencia. FitzGerald (1892) informó que “había hecho experimentos con botellas de Leyden (es decir, condensadores) y una dinamo, pero sin resultado.” Lo que se necesitaba no era una dinamo real sino, como dijo más tarde FitzGerald, una especie de “Dinamo molecular” que pudiera cancelar la resistencia del principal circuito oscilante. Pero ¿cómo se podría encontrar esta máquina molecular?

Los Ayrton, Duddell y el generador de arco

A principios de la década de 1890, durante 3 años, William Ayrton, profesor de física e ingeniero eléctrico en el Central Institution de Londres, hizo con sus estudiantes una serie de meticulosos experimentos sobre la relación voltaje–corriente del arco eléctrico. Estos experimentos eran difíciles y tomaban mucho tiempo debido a la naturaleza inestable y complicada del arco. En 1893, Ayrton leyó un papel sobre sus experimentos en el Congreso Eléctrico en Chicago y lo presentó para su publicación en las actas del congreso. El papel se quemó accidentalmente; ni siquiera sobrevivió el extracto.¹⁰ Extremadamente ocupado con otras actividades profesionales como ingeniero experto, Ayrton no quiso volver a gastar el tiempo repitiendo los experimentos. En ese momento, su esposa Hertha se ofreció voluntaria para hacer los experimentos. Le preguntó a su marido si podía usar su laboratorio y obtener ayuda de sus estudiantes del Central Institution, y William Ayrton le proporcionó lo que necesitaba.¹¹

Los resultados de los experimentos de Hertha Ayrton se publicaron a principios de 1895 en una serie en *The Electrician*. Los papeles eran muy detallados, incluían muchas gráficas y excelentes dibujos. Una de las gráficas, reproducida aquí en la figura 6.2, muestra que, a medida que varía la corriente o el voltaje, el arco eléctrico atraviesa dos etapas diferentes; al principio silente, y silbante durante el segundo. La corriente del arco silbante era particularmente anómala e inestable, y su sonido cambiaba frecuentemente del siseo al silbido e incluso aullador. Extrañamente, como muestra la figura 6.2, el voltaje permanecía inversamente proporcional a la corriente durante ambas etapas. Por tanto el arco eléctrico violaba la Ley de Ohm que conocían los científicos desde finales de la década de 1860, pero la relación exacta entre la corriente y el voltaje fue controvertida. Hertha Ayrton propuso su propia fórmula. Al hacerlo, desafió a Silvanus Thompson, una autoridad en muchos temas de la ciencia eléctrica e ingeniería que había dado una Lectura Cantor sobre el arco eléctrico ante la Royal Society de las Artes justo unos meses antes. Hertha Ayrton argumentó que la fórmula que había dado Thompson era incorrecta, y debía sustituirse por una fórmula más sofisticada de su propio diseño (Ayrton 1895, pág. 638–639).¹² Thompson ignoró el reto. Sin embargo, no pudo ignorarlo más cuando William Ayrton, en base a los experimentos de su esposa argumentó que la “verdadera resistencia” de un arco eléctrico era negativa.

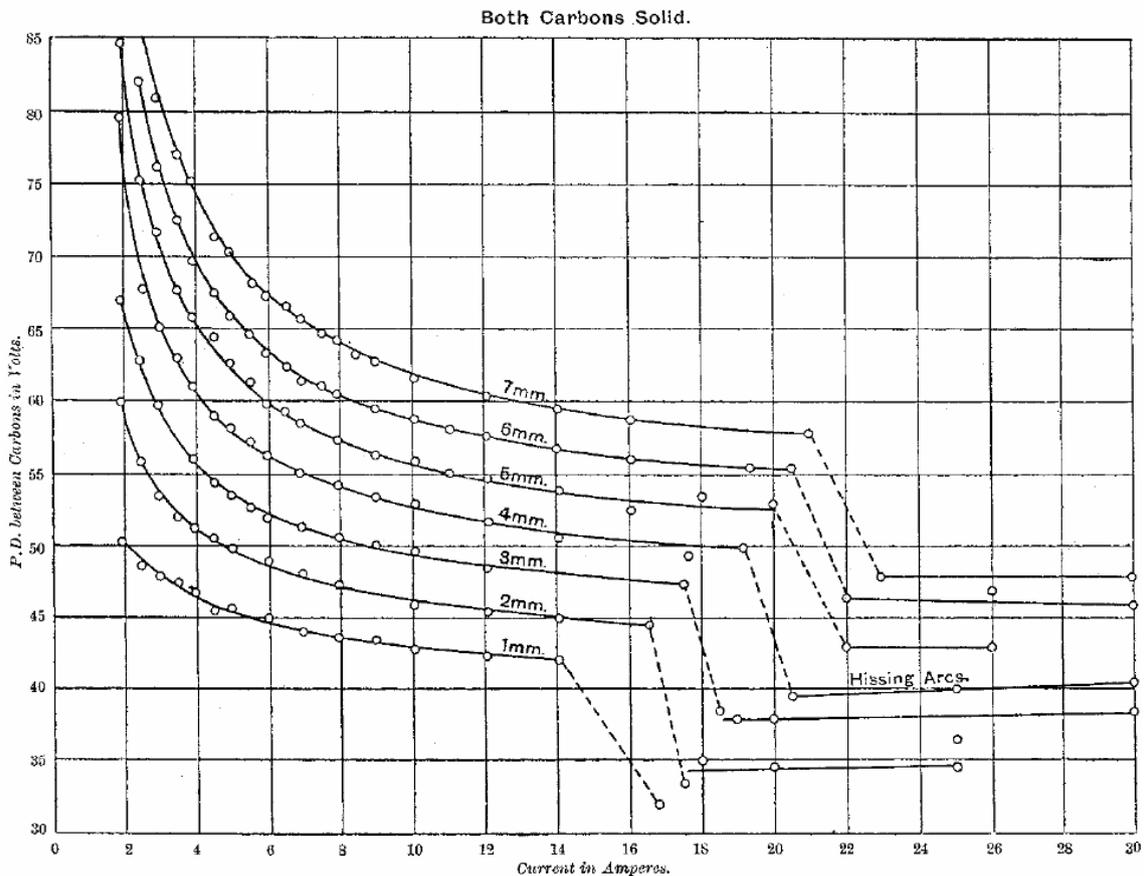


Figura 6.2

Mediciones de Hertha Ayrton de la característica corriente–voltaje del arco eléctrico. Leyenda original: “P. D. y Corriente para diferentes longitudes de arco. Carbones: positivo 11 mm., negativo 9 mm.” Obsérvese la “resistencia negativa” en el “estado silbante inestable.” Fuente: Ayrton 1895, pág. 337.

Para William Ayrton, la resistencia de un arco estaba definida en términos de la relación del cambio en el voltaje del arco al cambio correspondiente de su corriente. La gráfica de Hertha Ayrton muestra que el voltaje se reduce a medida que la corriente aumentaba. Si la relación dV/dA era la verdadera resistencia, tenía que ser negativa. Sin embargo, para Silvanus Thompson, “resistencia negativa” no tenía significado, o era un chiste. Para Thompson, la resistencia era análoga a la fricción y por tanto la resistencia negativa era análoga a la fricción

negativa. Como la resistencia, al igual que la fricción, creaba calor, la conservación de la energía exigía que la resistencia negativa hiciera que se absorbiera calor del ambiente. Esto era simplemente absurdo, razonaba Thompson, debido a que violaba el principio de la segunda ley de termodinámica. En cambio, afirmaba Thompson, si la resistencia varaba inversamente con la corriente, podía aparecer un “efecto” parecido a lo que podría llamarse resistencia negativa (Ayrton 1896a, b; Thompson 1896). *The Electrician* estaba de acuerdo en que la resistencia negativa era una noción tan heterodoxa como la fricción negativa: “La resistencia es el miembro más joven de la trinidad eléctrica, y hemos aprendido a considerarla como la más tangible.”¹³

Pocos físicos se interesaron en este debate. No muchos científicos estaban familiarizados con la extraña propiedad del arco eléctrico. *The Electrician* preguntó su opinión a Oliver Heaviside (otra autoridad en ciencia e ingeniería eléctrica) que respondió simplemente “No sé mucho sobre el arco; prefiero la luz de gas para uso personal.”¹⁴

George FitzGerald saltó al debate y criticó a Thompson. FitzGerald opinaba que la resistencia negativa era factible porque no violaba ningún principio fundamental de física. La resistencia negativa nunca existía sola; siempre se necesitaba una resistencia positiva mayor externa para hacer que el arco fuera luminoso. Por tanto, el arco eléctrico como sistema físico no violaría la segunda ley de la termodinámica a pesar de la resistencia negativa localizada del arco. FitzGerald (1896b) también sugirió un nuevo modo de entender la resistencia negativa: La caída de voltaje usual a través de una resistencia ordinaria (positiva) podía considerarse como un tipo de f.e.m. de retroceso (o fuerza contraelectromotriz) que causaba la caída. Si, contrario a la fuerza contraelectromotriz, otra f.e.m. causa una ganancia de voltaje, esta f.e.m. podría ser considerada como una resistencia negativa. Esto es similar a tener en funcionamiento una dinamo en el circuito, ayudando a pasar una corriente a través de él. De hecho, se había descubierto previamente una f.e.m. en el efecto Thompson (un fenómeno termoeléctrico en que la generación o absorción de calor ocurre cuando fluye una corriente a través de un metal en o contra la dirección del gradiente de temperatura del metal) y se había llamado “f.e.m. adyuvante” “Estos dos casos (una dinamo y el efecto Thompson),” escribió FitzGerald, “tienen muchos puntos en común [debido] a que hay muy poca diferencia esencial entre una dinamo convirtiendo la energía electromagnética en calor por fricción a gran escala y las innumerables máquinas moleculares.” La resistencia negativa del arco tenía el efecto de comportarse igual que una dinamo bombeando energía continuamente al circuito.

Si, como afirmaba FitzGerald, existía realmente una resistencia negativa en el arco, el arco se podía utilizar entonces para la producción de ondas continuas. Este hecho lo consiguió de facto el estudiante favorito de William Ayrton, William Duddell. Según un obituario, a la edad de 4 años Duddell había transformado un ratón de juguete en un autómata combinándolo con un mecanismo de relojería. Es difícil de creer esta historia, pero Duddell era realmente un excepcional e ingenioso fabricante de instrumentos. Por ejemplo, fue el inventor del primer oscilógrafo práctico, un instrumento usado para fotografiar formas de onda de CA. El problema de construir un instrumento semejante había escapado a los esfuerzos de muchos eminentes científicos e ingenieros. Usando este dispositivo, Duddell desafió la transformación del arco en un oscilador de alta frecuencia. Combinó la resistencia negativa del arco silbante con un circuito oscilante *L-R-C* ordinario para bombear energía, cancelando de esta forma la resistencia del circuito *L-R-C*. El truco estaba en utilizar el oscilógrafo para encontrar las condiciones específicas que estabilizarían el circuito. En 1900 Duddell demostró un dispositivo fiable para este propósito: el arco cantante o musical. El arco de Duddell (figura 6.3) consiguió producir ondas continuas, pero sólo en el rango del audio (unos 15.000 Hz.) –de aquí el nombre. Duddell lo usó para interpretar “Dios salve a la Reina” en una reunión de la Institución de Ingenieros Eléctricos. Esto atrajo mucho la atención, pero ni Duddell ni nadie intentaron aumentar la frecuencia hasta la región de las ondas electromagnéticas (unos 10^6 Hz).

Pero el arco cantante de Duddell inspiró a otros ingenieros. Un físico danés, Valdemar Poulsen, construyó un generador de arco que producía ondas continuas en el rango del megahertz. El propósito del arco de Poulsen (que fue la culminación de varios años de investigación de Poulsen y P. O. Pedersen) era aumentar la frecuencia máxima del arco cantante de Duddell. Poulsen y Pedersen observaron primero que el arco producía oscilaciones de una frecuencia mucho más alta en gas hidrógeno que en el aire. Después descubrieron que un campo

magnético a través del arco podía aumentar su frecuencia, y que haciendo el electrodo positivo de cobre refrigerado por agua en vez de carbón se conseguía que el arco fuera más estable al aumentar su frecuencia. Finalmente, hicieron girar al electrodo de carbón, que era crucial para la estabilidad del arco. Estos cuatro elementos –el gas hidrógeno, el campo magnético, el electrodo positivo de cobre refrigerado por agua y la rotación del electrodo de carbón– constituyen el arco de Poulsen.¹⁵ En 1907 el generador de arco de Poulsen comenzó a usarse para producir ondas continuas para la telegrafía y telefonía inalámbricas.¹⁶

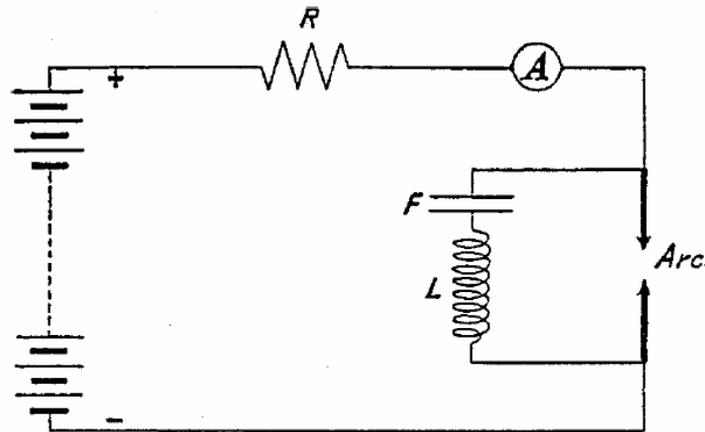


Figura 6.3
Arco cantante de Duddell. Fuente: Duddell 1900.

Los trabajos y dispositivos de Duddell y Poulsen hicieron ampliamente conocido que los dispositivos que tenían resistencia negativa podían emplearse para producir ondas continuas. Como el generador de arco estaba patentado por Poulsen, otros ingenieros construyeron otros diferentes dispositivos con resistencia negativa. Dos alemanes, Ernst Ruhmer y Adolf Pieper, sustituyeron el arco por una lámpara de mercurio. Se había descubierto que la lámpara tenía la característica de resistencia negativa. Conectaron la lámpara en paralelo con un circuito oscilante para “generar oscilaciones permanentes no amortiguadas.” Frederick Vreeland, de América, también solicitó una patente por el uso de una lámpara de vapor de mercurio para la producción de ondas continuas. Un ruso, Simon Eisenstein, usó un tubo de rayos catódicos para el mismo propósito.¹⁷ (Ver figura 6.4) Los dispositivos de resistencia negativa se usaron también en telefonía. Los ingenieros telefónicos encontraron que la lámpara funcionaba bien como repetidor (relé) para amplificar las señales telefónicas. La naturaleza física de la “resistencia negativa” permaneció misteriosa, pero la falta de conocimiento técnico no impidió que los ingenieros usaran el efecto en su práctica diaria.

Marconi y Fleming sobre el arco de Poulsen

Hacia 1905, la producción de ondas continuas se convirtió en el problema central en la comunicación inalámbrica por dos razones. Primero, en telegrafía inalámbrica las ondas continuas podían asegurar una sintonía precisa y por lo tanto el secreto. Segundo, y más importante, hacían posible la telefonía inalámbrica. Las ondas amortiguadas no podían transportar la voz humana, pero las ondas continuas sí que podían. Marconi prácticamente había monopolizado las patentes importantes de la telegrafía por chispa –patentes sobre la conexión de la antena, sintonía inductiva (la patente “cuatro sietes”), el cohesor, el detector magnético y la válvula de Fleming– pero apenas tenía alguna para las ondas continuas y la telefonía inalámbrica. Este era el talón de Aquiles de Marconi.

Nevil Maskelyne, uno de los enemigos de Marconi, introdujo el arco de Poulsen en Gran Bretaña en 1906. Hacia el mismo tiempo, Maskelyne ayudó a DeForest a establecer la British DeForest Co. Con los derechos para el uso exclusivo de las patentes de Poulsen y DeForest en Gran Bretaña, Maskelyne reunió un número de oponentes de Marconi y formó la Amalgamated Radio-Telegraph Company, con Lord Armstrong como presidente y el propio Maskelyne de

asesor científico. En Noviembre de 1906, Maskelyne mostró el arco de Poulsen públicamente y anunció que podía comunicar a través de 530 millas con un generador de arco de 1 kilovatio. También predijo que se podía obtener fácilmente la comunicación trasatlántica con una potencia de sólo 10 kilovatios. A esto comentó William Preece, “suena como la sentencia de muerte de la telegrafía de chispa.”¹⁸

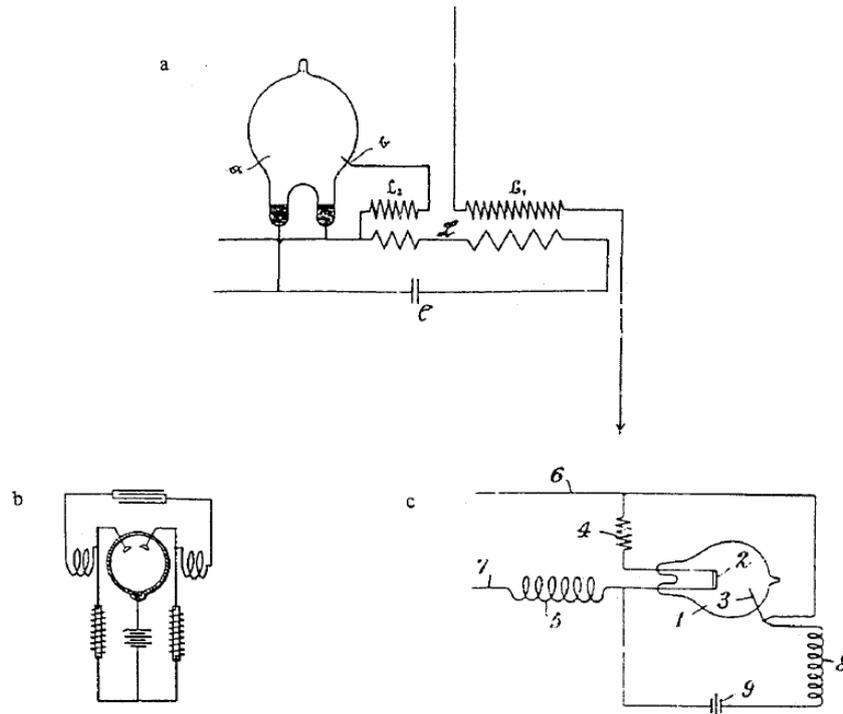


Figura 6.4

Varios circuitos que utilizan la resistencia negativa para producir oscilaciones no amortiguadas. (a) Ernst Ruhmer y Adolf Pieper patente alemana 173.396 (1904). (b) F. Vreeland, patente US 829.934 (1906). (c) S. Eisenstein, patente US 921.526 (1909).

El sistema de Poulsen fue el primer sistema que era radicalmente diferente al sistema de Marconi, en que se eliminaba por completo la chispa. Algunos ingenieros creían que el arco de Poulsen llevaría finalmente a la telefonía inalámbrica, que en aquel tiempo sólo estaba en estado experimental en el laboratorio. El valor inmediato del arco de Poulsen recaía en la sintonía precisa. Como comentó *The Electrician*, “la principal ventaja del nuevo método, o de cualquier método que produzca un tono monótono eléctrico, es que trabajar con sintonía merecerá ese nombre.”¹⁹ Aunque no era útil inmediatamente para la telefonía, la sintonía precisa y la habilidad para transmitir a 530 millas crearon un gran interés entre los ingenieros de la radio.

En contra de las declaraciones de Maskelyne, el principal artículo en *The Electrician* del 21 de Diciembre de 1906, presentaba serias dudas sobre la eficacia del arco de Poulsen. Sospecho que este artículo fue escrito por, o con la ayuda de J. A. Fleming.²⁰ Después de apuntar la existencia de conductividad unilateral en el arco de Poulsen, su autor daba importancia a que el rectificador de mercurio Cooper-Hewitt con conductividad unilateral era una “serie muy rápida de oscilaciones amortiguadas” en vez de ondas realmente continuas. El artículo también apuntaba que el uso de un campo magnético en el arco de Poulsen “nos recuerda los viejos métodos de apagado” usados para una corriente de intermitencia rápida. A partir de esas consideraciones, el autor llegaba a la conclusión que el arco de Poulsen producía “cortos trenes de ondas de una intermitencia regular y rápida.” Además, mantenía que el arco era más problemático e incómodo que la chispa, ya que necesitaba de un generador CC separado. Por estas razones, “todavía pueden pasar muchos años antes que el arco musical pueda cantar la música fúnebre de la chispa.”

Aunque escéptico, Fleming no ignoraba el nuevo sistema de telegrafía inalámbrica. El primer día de 1907 escribió una larga carta a Marconi dirigiéndole varios asuntos, incluyendo el arco de Poulsen. Esto es un extracto:

No hay duda de las muchas dificultades que hay que superar antes que el arco de Poulsen se convierta en algo tan simple y fácil de manejar como la chispa. Por razones demasiado largas para entrar en detalle, hay una gran dificultad para mantener un arco eléctrico sin constantes interrupciones en hidrógeno y en un fuerte campo magnético, y, por supuesto, a menos que se pueda hacer que el arco trabaje estable y regularmente durante horas su uso práctico y comercial está muy seriamente discutido. No hay duda que todavía hacen falta todavía un número de experimentos bien realizados sobre oscilaciones continuas y una sintonía estrecha, pero desde el punto de vista práctico hemos de considerar varios problemas muy diferentes. Por otra parte en una carta dirigida al Sr. Hall antes de Navidad le urgí que la invención de Poulsen no era una cosa a despreciar por completo debido a que la invención podría llevar... todavía creo que hay que ser prudente para examinar el método de Poulsen con más detalle tanto en el laboratorio como en la práctica, y me gustaría escuchar que tiene métodos para producir ondas continuas y también que hay que mirar la cuestión del alternador de alta frecuencia.²¹

“Métodos para producir ondas continuas” quiere decir método de disco descargador de Marconi, que entonces lo estaba perfeccionando. En 1903, Fleming había diseñado un modo para evitar la erosión de las dos esferas del descargador haciéndolas girar. Cuando Marconi intentó sustituir las esferas en lenta rotación por tres discos girando rápidamente, observó que se producía una oscilación muy persistente a 0,2 megahercios. Parece que Marconi pensó que este efecto “no era ni una chispa oscilante ni un arco ordinario”. Pero había problemas con la detección. En palabras modernas, no había una modulación en audio frecuencia para los receptores telefónicos de los detectores, de esta forma no se reconocía fácilmente en el teléfono de la estación receptora el contacto y la apertura de un manipulador Morse en una estación transmisora. Marconi solucionó esto inicialmente conectando y desconectando el teléfono de la antena por medio de un interruptor giratorio, pero no tardó en descubrir que fijando unos dientes de cobre en la periferia del disco intermedio interrumpía ocasionalmente la onda continua, que entonces era audible en el receptor telefónico.³²

Fleming experimentó numerosos problemas con el arco de Poulsen. En sus experimentos en el Laboratorio Pender, encontró muchas dificultades para mantener estable al arco para uso de campo. Cualquier pequeña variación en las condiciones hacía que fluctuase significativamente el arco o se extinguiera. Además, el depósito de carbón en el interior de la cámara por parte del gas caliente causaba problemas. Fleming llegó a la conclusión que el arco de Poulsen era todavía un instrumento de laboratorio, no un dispositivo telegráfico práctico. “Si puede perfeccionar sus métodos lo suficiente para dar una alta frecuencia, lo suficiente alta para usos prácticos,” aseguró a Marconi, “creo que será superior al método de Poulsen para las grandes estaciones de potencia.”²³

Fleming hizo una serie de demostraciones públicas para mostrar que el arco de Poulsen estaba lejos de ser un dispositivo práctico. Afirmó que producía oscilaciones intermitentes, no continuas. Conectando una larga bobina de resonancia al arco de Poulsen y moviendo rápidamente un tubo de neón a lo largo de la bobina, mostró que la banda de luz en el tubo estaba cortada por varias líneas oscuras. Igualmente, cuando se hacía girar rápidamente el tubo cerca de la hélice de una bobina detectora, no daba un disco luminoso uniforme; daba varas bandas oscuras (Fleming 1907b, pág. 692).²⁴

Usando su válvula (y un teléfono) como detector, Fleming mostró que “el teléfono daba un sonido que demuestra que la corriente continua a través de él estaba interrumpida irregularmente, y esto sólo puede deberse a que las oscilaciones en el circuito del arco están interrumpidas” (1907c). Y el sistema de Poulsen tiene otros problemas. Cuando se compara con las oscilaciones poco amortiguadas de Marconi, las ondas supuestamente no amortiguadas de Poulsen no son realmente superiores a las ondas amortiguadas. No hay diferencia en la distancia de transmisión ni en la manipulación.

Al considerar la sintonía, Fleming informó que “todavía hace falta una confirmación cuantitativa”, ya que la sintonía depende del tipo de detectores usados. Además, la potencia necesaria para la transmisión ordinaria barco a costa a través de 200 millas era de 0,2 caballos

para la telegrafía de chispa, pero de 1 a 1,3 caballos para el generador de arco de Poulsen. A la vista de estos factores, parece que “para el trabajo a corta distancia... el método de la chispa tiene ventajas que no las posee el arco.”²⁵

El arco de Poulsen, introducido en Inglaterra por el “científico vándalo” Nevil Maskelyne, demostró ser técnicamente problemático. Los experimentos de Fleming con el arco en 1907 confirmaron esto y las anticipaciones de Marconi y cumplieron sus expectativas.

En pocos años siguientes, la Compañía Marconi intentó perfeccionar su sistema de telegrafía por chispa. El disco descargador de Marconi produjo ondas casi continuas. Sin embargo, era la cúspide de una vieja tecnología en vez del comienzo de una nueva. El nuevo régimen tecnológico –una revolución tecnológica– no lo originó la chispa ni el arco. Comenzó con una pequeña lámpara, el audión.

El audión DeForest

El audión de tres electrodos (o rejilla) fue inventado por el ingeniero americano Lee DeForest a finales de 1906. DeForest había conseguido el doctorado en la Universidad de Yale en 1899 con una investigación sobre la reflexión de las ondas Hertzianas en el extremo de los hilos. Después entró en el negocio de la telegrafía inalámbrica. En 1901, como se mencionó en el capítulo 4, compitió con Marconi durante una carrera internacional de yates; sus señales interfirieron con las de Marconi. En 1902 se convirtió en vicepresidente y director de American DeForest Wireless Telegraph Co, que construyó estaciones y vendió acciones pero envió muy pocos mensajes. El papel que jugó DeForest en esta compañía fue alentar la venta de acciones creando una sensación pública. La compañía cerró sus operaciones en 1906. En ese mismo año DeForest inventó el audión, que más tarde llamaría la “Lámpara de Aladino de un nuevo mundo” (DeForest 1950, pág. 1).

En 1906 se formó DeForest Radio Telephone Co., que vendía audiones y otros dispositivos, y cayó en bancarrota en 1911. En 1912 el Departamento de Justicia de los EE.UU. acusó a DeForest y sus socios de haber usado métodos fraudulentos para promocionar la compañía, “cuyo único activo era la patente DeForest de un extraño dispositivo parecido a una lámpara incandescente que llama audión y que ha demostrado no tener utilidad alguna.” DeForest evitó ir a la cárcel por muy poco.²⁶

DeForest estaba, como recordó más tarde, ansioso por inventar un nuevo detector. Marconi había usado y patentado el cohesor y el detector magnético, y el ingeniero americano Reginald Fessenden había patentado el detector electrolítico. Mientras trabajaba sobre un detector electrolítico en 1900, DeForest descubrió accidentalmente que un quemador de gas en su habitación respondía a las chispas. No tardó en descubrir que la respuesta del quemador se debía al sonido de las chispas, no a las oscilaciones electromagnéticas, este fue el punto de arranque de sus investigaciones sobre el uso de gases como detector de ondas Hertzianas.

El primer detector DeForest, que finalmente le llevó al audión de tres electrodos de 1906, utilizaba la llama de un mechero Bunsen. ¿Por qué una llama? Se sabía que las llamas del mechero Bunsen no seguían la ley de Ohm (DeForest 1906a, pág. 737–738). En efecto, al igual que la válvula de Fleming, una llama presenta conductividad unilateral. Sin embargo, DeForest atribuyó este extraño efecto a la acción de los gases ionizados, y, en particular, a la diferencia de velocidad entre los iones positivos y negativos (es decir, los electrones). Informó de lo siguiente (DeForest 1906a, pág. 738):

...debido a la ionización del gas cerca del metal incandescente, y la mayor velocidad de los iones negativos sobre los positivos, se espera que incluso aunque no se aplique una fuerza electromotriz a los electrodos... pasará una corriente a lo largo de un hilo que conecta los dos electrodos, cuya dirección es negativa desde el cuerpo caliente al frío en la llama... Ahora si las oscilaciones Hertzianas atraviesan el gas caliente, es concebible los potenciales momentáneos aplicados a los iones móviles interfieran con los movimientos o las velocidades de recombinación de los iones positivos y negativos, afectando así a la corriente a través del hilo.

Cuando se aplica un voltaje externo a dos puntos en el interior de una llama, la corriente entre estos dos puntos primero aumenta con al incremento del voltaje, después deja de

aumentar, luego comienza de nuevo a aumentar rápidamente hasta que el voltaje aplicado alcanza cierto punto. DeForest encontró que el voltaje externo determinaba la sensibilidad del “audión de llama”. El detector de llama era tan sensible como los detectores electrolíticos; sin embargo, había una considerable dificultad para mantener absolutamente constante la llama,” DeForest comenzó a probar otras sustancias, como el arco eléctrico (ibid., pág. 740).

Aunque DeForest recordó más tarde que había hecho experimentos con detectores de llama en 1903, la primera patente sobre ellos (patente US 979.275) se escribió el 4 de Noviembre de 1904 y se presentó el 2 de Febrero de 1905. Esta patente estaba relacionada con seis dispositivos (figura 6.5) cuyos principios de operación eran los siguientes:

La separación entre ellos [los electrodos] puede neutralizarse lo suficiente para permitir que actúen como detector de oscilaciones eléctricas, si el medio gaseoso que los rodea se pone en condiciones de actividad molecular, por ejemplo calentándolo de cualquier manera, por radiación, conducción o la combustión de gases en el espacio que rodea el polo; dicha condición o actividad molecular hace que lo que sería en otros casos un dispositivo no sensible se convierta en sensible a la recepción de influencias eléctricas.

Lo que quería decir DeForest” por “actividad molecular” era probablemente “ionización”, como remarcaba que la ionización se “conseguía más o menos o se facilitaba mucho por el calentamiento previo que lo pone en condición de intensa actividad molecular.”

¿Cuál era el efecto de las oscilaciones Hertzianas, y cómo se podían detectar? Al describir la acción del detector de llama representado por la Fig. 1 en la figura 6.5, DeForest declaró que las oscilaciones eléctricas parecían “romper o reducir la cualidad aislante de la separación”, que hacía que la corriente de la batería *B* fluyera a través de un circuito local para afectar al teléfono *T*. Sin embargo, al describir la Fig. 5 escribió: “Las oscilaciones aparentemente ionizan el gas y esto reduce temporalmente su poder aislante.”²⁷

Cuando DeForest presentó una patente por sus detectores de llama, tal vez no supiera nada de la válvula termoiónica, que Fleming había inventado y por la que había presentado una patente en Noviembre de 1904. Por tanto es interesante la similitud de uno de los detectores de llama (Fig. 6 en la figura 6.5) con la válvula de Fleming. Pero una mirada atenta al dispositivo revela diferencias. La Fig. 6 DeForest es un descendiente directo de la Fig. 2. En las Fig. 2 y 6, *G* es una dinamo para calentar el gas entre dos electrodos *F*¹. La única diferencia entre la Fig. 2 y la Fig. 6 es que en la última los electrodos están encerrados en el receptáculo *H*. Ambas figuras muestran detectores de llama en que los electrodos calientes aumentan la actividad molecular del gas entre ellos. DeForest creía que las oscilaciones eléctricas aumentaban la conductividad del gas y permitían el flujo de corriente en el circuito telefónico local.²⁸ El receptáculo *H* ayudaba a la estabilidad del medio gaseoso, pero no era esencial. DeForest presentó más tarde una patente separada sobre el “dispositivo con receptáculo” (Fig. 6), pero no dio detalles sobre su construcción.²⁹

La siguiente patente importante DeForest (patente US 824.637), presentada el 18 de Enero de 1906 emplea lámparas con filamentos (que según él, “pueden ser lámparas ordinarias con filamento de carbón”).³⁰ La patente incluye reclamaciones por seis dispositivos (figura 6.6). En sentido conceptual y material, estos “dispositivos de filamento” son una continuación del trabajo DeForest sobre el “dispositivo con receptáculo”. Su énfasis sobre la actividad molecular del medio gaseoso permanece sin cambios. Como antes, la patente contiene un pasaje que describe “un receptáculo que encierra un medio conductor gaseoso sensitivo” sin dar detalles específicos de él.

Los dispositivos con filamento DeForest fueron los predecesores de una nueva familia de dispositivos. DeForest no tardó en transformarlos en el audión de dos electrodos, y en un año inventó el audión de tres electrodos (rejilla). ¿Qué le motivó a trasladar su atención desde el “dispositivo con receptáculo” al “dispositivo con filamento”? Más tarde recordó que su estudio del filamento incandescente estuvo motivado por al darse cuenta que tenía aspectos en común con la llama gaseosa (DeForest 1920, pág. 4–5):

No fue hasta 1905 en que tuve la oportunidad y los medios para poner a prueba mi convicción que la misma acción detectora que había encontrado en la cercanía de un hilo de platino incandescente en una llama también existía en el gas más atenuado que rodeaba el filamento de una lámpara incandescente. En

un caso el quemado de los gases calentaba los electrodos; en el otro los electrodos calentaban los gases. Pero en ambos era, *primero*, los electrodos de los electrodos calientes, y, *segundo*, la ionización de los gases que estos electrones producían, establecía un estado conductor eléctrico que era extraordinariamente sensible a cualquier cambio brusco en el potencial eléctrico producido en los electrodos por una fuente externa.

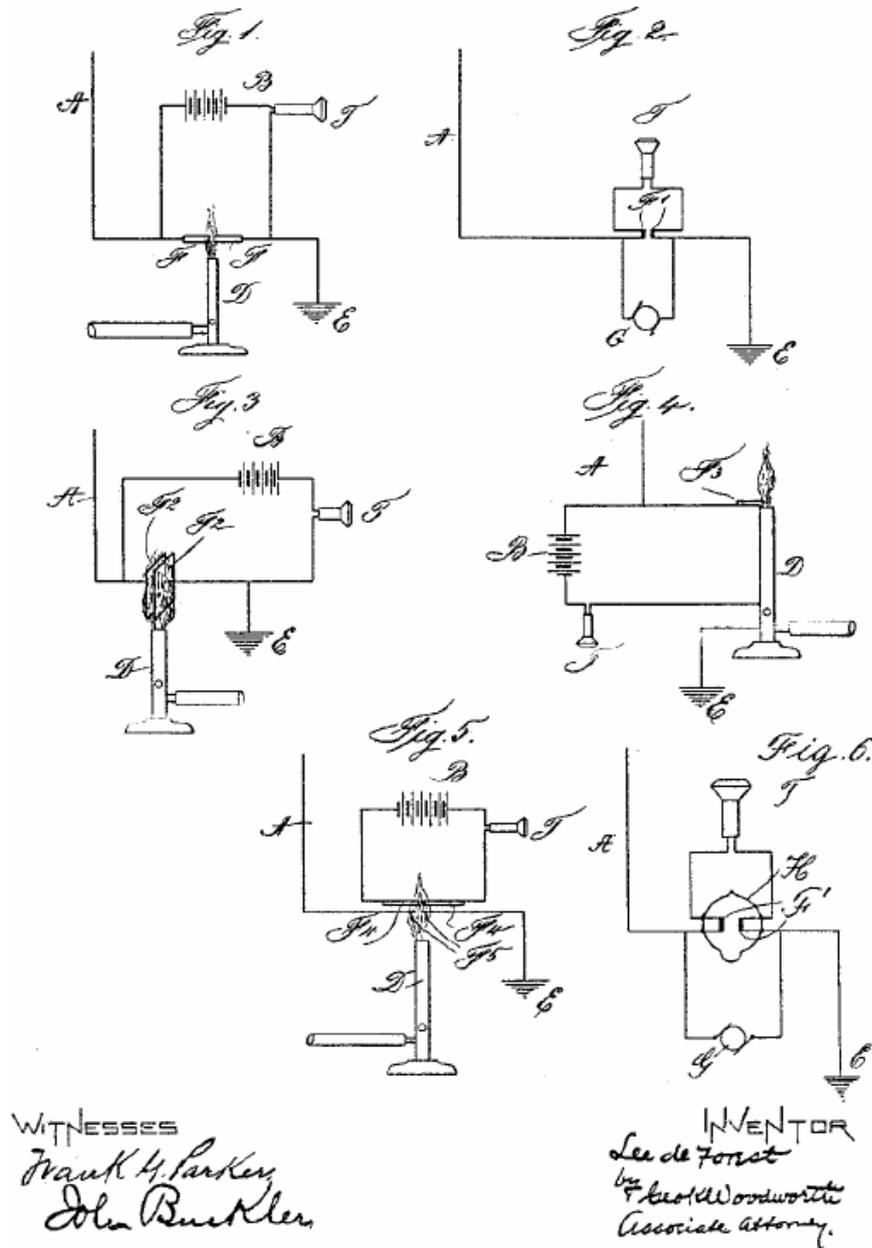


Figura 6.5
 Primeros detectores de llama DeForest (1904).

En el capítulo previo, vimos lo mucho que molestó el audión DeForest a Fleming. Los dos hombres lucharon en las columnas del *The Electrician* y más tarde en los tribunales. La cuestión crucial era cuánto influyó la válvula de Fleming en la invención DeForest (si influyó algo). DeForest no negaba que conocía los trabajos de Fleming. Además, declaró explícitamente lo siguiente: “En el periodo que ahora estamos considerando, 1903–05, estaba familiarizado con el efecto Edison y con muchas de las investigaciones hechas sobre él por los científicos, entre ellos el profesor Fleming.” (DeForest 1920, pág. 4–5) El 26 de Octubre de 1906, al hablar sobre el audion (de dos electrodos) en una reunión del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos, DeForest mencionó también la válvula de Fleming y su efecto de rectificación, pero con esto su

propósito era realzar la diferencia entre ellos (DeForest 1906a, pág. 748) Sin embargo, no admitía que la válvula de Fleming hubiera tenido alguna influencia crucial en su invención del audión. Consideremos la siguiente declaración (ibid.):

En 1904 había trazado un plan para usar un gas calentado por un filamento de carbón incandescente en una vasija a la que se había extraído parcialmente el gas como detector de radio, en vez de la llama abierta. Pero en él no se consideraba el efecto rectificador entre el filamento caliente y un electrodo frío. Dos filamentos, calentados por baterías independientes darían igualmente de bien el efecto detector deseado. Lo que había aprendido en el detector de llama, y ahora pensaba conseguir de una forma más estable y práctica, era un paso constante de portadores eléctricos en un medio de una extraordinaria sensibilidad o tenuidad, en el cual los portadores pudieran ser afectados de una forma notable por impulsos eléctricos extraordinariamente débiles, entregados al medio, indirectamente o a través de los electrodos calientes.

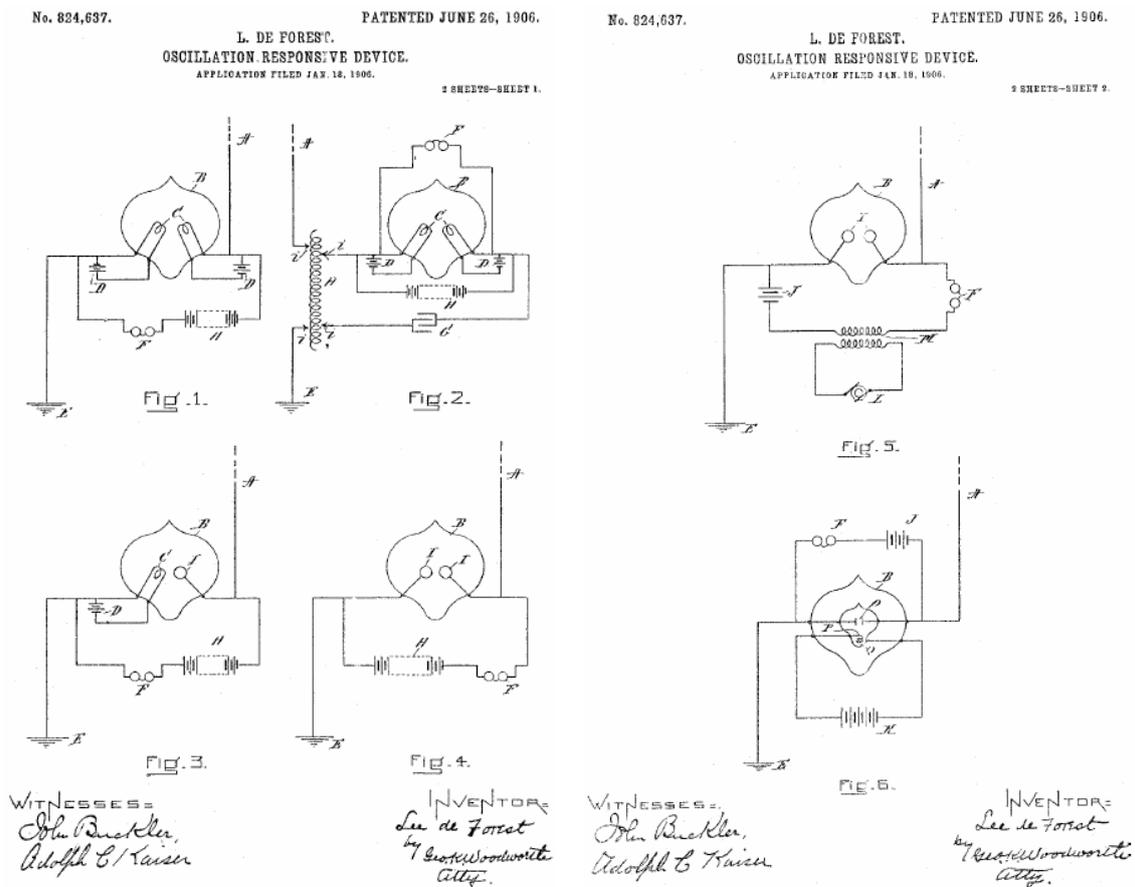


Figura 6.6
“Dispositivos de filamento” de Lee DeForest.

Esta declaración no es totalmente correcta. Como hemos visto, el “plan DeForest de usar un gas calentado por un filamento de carbón incandescente” no se forjó en 1904, sino en Enero de 1906³¹ —cuando ya conocía bien la válvula de Fleming.

Aunque DeForest nunca admitió la influencia directa de la válvula de Fleming en 1905–1907, pueden encontrarse evidencias de esto en una de sus patentes. En Diciembre de 1905, justo antes de presentar la patente para el dispositivo de filamento, DeForest presentó otra para la “válvula estática para telegrafía inalámbrica”, un dispositivo para impedir la estática en la antena receptora. En el dispositivo DeForest usaba claramente una válvula Fleming. DeForest anotó en la patente que “el dispositivo V¹... es una resistencia asimétrica o válvula eléctrica que ha sido completamente descrita por J. A. Fleming en un papel publicado en las *Actas de la Royal Society de Londres*, el 16 de Marzo de 1905.”³² Pero esto no lleva a la conclusión que DeForest replicara la válvula de Fleming, o que anulara la originalidad DeForest. Como hemos visto, el dispositivo de filamento DeForest tenía parte de su genealogía (en sentido tanto teórico

como material) en el dispositivo con receptáculo. Y aunque es cierto que a finales de 1905 DeForest conocía la válvula y había experimentado con ella, en sus recuerdos sobre el nacimiento del audión minimizó su influencia. Además, DeForest probablemente podía haber descubierto que la válvula, o lámpara incandescente, era más estable y práctica que su dispositivo con receptáculo. Esto habría sido una fuerte motivación para desviar su atención de las llamas a la lámpara incandescente a finales de 1905 o principios de 1906.

De los seis dispositivos por los que DeForest solicitó la patente en Enero de 1906, el tercero (Fig. 3 en la figura 6.6) era el más similar a la válvula de Fleming.³³ Sin embargo, había diferencias. DeForest todavía creía que su dispositivo empleaba la ionización –un principio muy diferente al principio de rectificación de la válvula. Creía que un brusco aumento en la conductividad del gas debido a las oscilaciones completaba temporalmente el circuito de la batería local, permitiendo un flujo de corriente a través del teléfono. En este sentido, DeForest creía que el dispositivo actuaba igual que un relé, o dispositivo de disparo: “Cuando se le aplica una fuente externa independiente de fuerza electromotriz, opera como un *relé* para la energía Hertziana en vez de rectificar meramente esta energía y se puede emplear directamente para dar la señal sentida.” (DeForest 1906a, pág. 748)³⁴ Para él, esto era lo suficiente bueno como para sentar una diferencia fundamental entre su dispositivo y la válvula de Fleming. Incluso en 1920 declaró: “el audión de dos electrodos, con las baterías A y B, no era principalmente una ‘válvula’. Y yo siempre he objetado a este mal uso del nombre válvula al audión; un nombre que ha persistido entre nuestros amigos británicos, ¡que con una cabezonería que merecedora de una mejor causa, han aplicado mal! (DeForest 1920, pág. 6)³⁵

No. 841,386.

PATENTED JAN. 15, 1907:

L. DE FOREST.

WIRELESS TELEGRAPHY.

APPLICATION FILED AUG. 27, 1906.

2 SHEETS--SHEET 2.

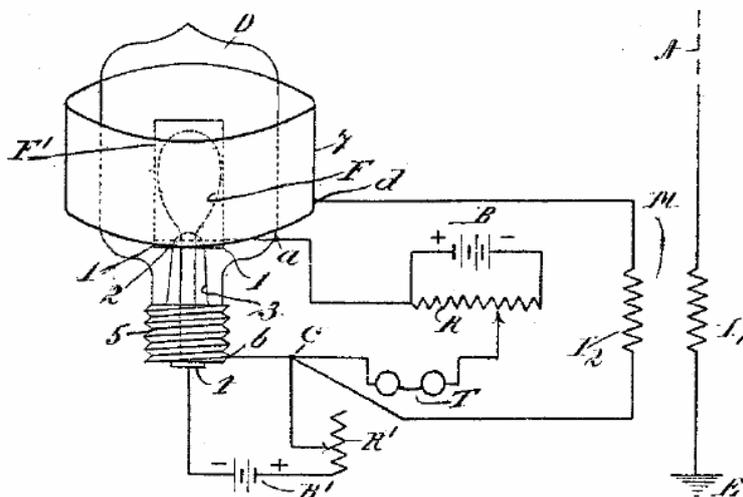


Figura 6.7

Audión DeForest con hoja metálica.

Después de presentar su patente el Enero de 1906, DeForest viajó a Europa para anunciar la aventura trasatlántica de su compañía y vender acciones. Unos meses más tarde, había tenido que dejar de hacer unos experimentos que estaba haciendo en Irlanda y permanecer en Canadá durante un tiempo mientras su compañía se ocupaba de un problema de patentes. Cuando se solucionó el problema, se encontró despedido de su compañía y traicionado por su socio de los negocios, Abraham White, al que había considerado “más que un hermano.” Su primer matrimonio terminó hacia el mismo tiempo. Dejó American DeForest Co. En el verano (Douglas 1987, pág. 168; Lewis 1991, pág. 50–53). Un año antes, DeForest era rico y famoso; ahora estaba arruinado y desempleado. Pidió trabajo a Reginald Fessenden, cuya denuncia le había dejado sin un céntimo, pero en vano.

En una situación difícil moral y financiera, DeForest se concentró en más experimentos con el “audió”³⁶ En el verano de 1906 dio un paso importante, aunque al principio no se dio cuenta de su significado: Envlovió el audió con una hoja metálica (figura 6.7) y solicitó una patente por esta modificación. En la misma patente, también rodeaba al audió por la antena. El razonamiento preciso detrás de estos diseños no está claro, pero parece que DeForest estaba intentando usar los efectos oscilantes electrostáticos y magnéticos para aumentar el efecto relé del audió. En la figura 6.7, la hoja metálica, el gas y el filamento forman una especie de condensador. La acción de la hoja externa es la misma que antes —es decir, “el campo eléctrico oscilante desarrollado por las oscilaciones eléctricas en el circuito secundario... opera para alterar las propiedades conductoras del medio gaseoso conductor en la vasija *D* y variar por tanto la corriente que fluye en el circuito local”³⁷— pero DeForest creía que, debido al “montaje en condensador”, las seales recibidas eran más bien apagadas [y] amortiguadas que “agudas y claras.” Como las seales apagadas y amortiguadas se distinguían fácilmente de la estática, DeForest (1906b, pág. 747) encontró que este dispositivo sería “muy útil en la práctica”.

No. 841,387.

PATENTED JAN. 15, 1907.

L. DE FOREST.

DEVICE FOR AMPLIFYING FEEBLE ELECTRICAL CURRENTS.

APPLICATION FILED OCT. 25, 1906.

2 SHEETS—SHEET 2.

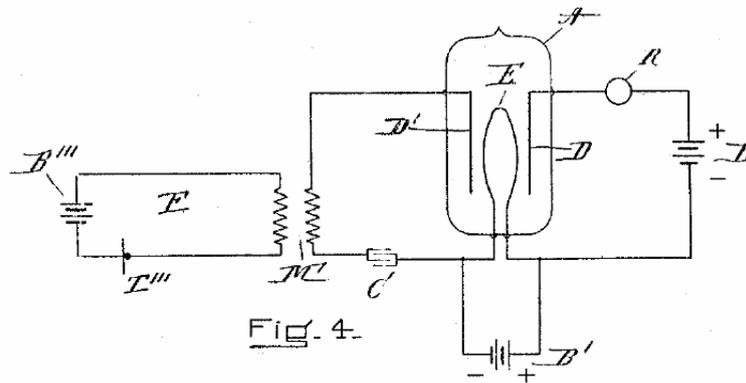


Figura 6.8

Audió DeForest con la placa insertada (*D*)

El 26 de Octubre de 1906, DeForest leyó un papel titulado “El audió, un nuevo receptor para telegrafía inalámbrica” en una reunión del Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos. Ese papel fue la presentación en público de los trabajos que había hecho con los audiones de dos electrodos antes del verano de 1906. Durante la discusión, los ingenieros preguntaron a DeForest una cuestión difícil sobre la diferencia entre el audió y la válvula de Fleming. Michael Pupin comentó negativamente el papel, diciendo que no podía entender en absoluto cómo funcionaba el dispositivo (“Discusión,” sobre DeForest 1906b, pág. 764). Al cruzar el Atlántico, el resumen del papel DeForest en el AIEE enfureció a Fleming. Sin embargo, en ese tiempo, DeForest había dado un paso más adelante. Al final de su papel ante la AIEE (pág. 762), DeForest mencionó sus investigaciones con el “audió de tipo cerrado.”

Justo 24 horas antes de leer su papel, DeForest había presentado una patente sobre varios audiones nuevos en los que se usaban efectos magnéticos para variar la conductividad del medio gaseoso sensible. En dos casos, la hoja externa del audió previo se insertaba dentro de la lámpara (figura 6.8). Es decir, estos audiones tenían ahora dos placas en el vidrio. Una, conectada a la antena, había evolucionado de la hoja externa; la otra era la placa estándar conectada al polo positivo de la batería local. El principio general permanecía sin cambiar excepto en un punto importante: DeForest comenzó a relacionar sus audiones con la amplificación de seala. Por ejemplo, anotó que “la corriente que se ha de amplificar se puede aplicar al medio que se encuentra entre los electrodos *d* y *E*, y por tanto, altera por atracción electrostática, la separación entre los electrodos.” La acción electrostática de la hoja externa (ahora en el interior de la lámpara) seguía siendo la misma, pero la amplificación de la seala era una idea

nueva. Por qué DeForest enfatizó la amplificación en este punto, y si su dispositivo realmente amplificaba las señales como pensaba, es incierto. Sin embargo, como un comentarista anotó, “DeForest (o alguien más ese día) lo hizo lo mejor que pudo.”³⁸

No. 879,532.

PATENTED FEB. 18, 1908.

L. DE FOREST.
SPACE TELEGRAPHY.
APPLICATION FILED JAN. 28, 1907.

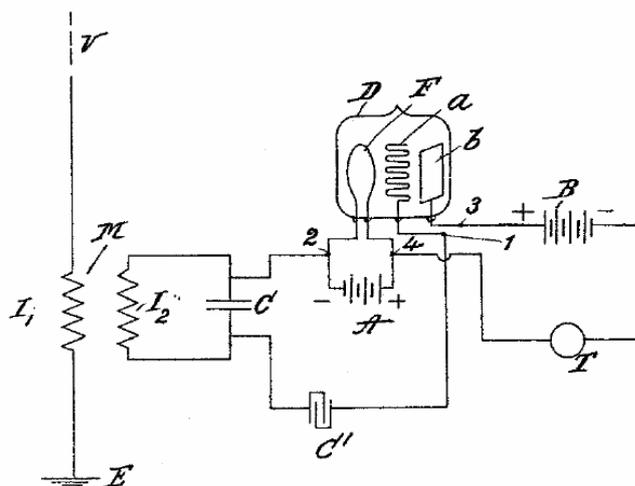


Figura 6.9
Audió DeForest con rejilla en zigzag (a).

A finales de Noviembre de 1906, DeForest se topó con la idea que “el tercer electrodo, o control, sería más eficaz si se podía localizar entre la placa y el filamento” (DeForest 1950, pág. 214). Primero usó una placa perforada, pero pronto adoptó una rejilla en forma de hilo en zigzag (figura 6.9). El 25 de Noviembre había pedido varios audiones de rejilla al fabricante de lámparas H. W. McCandless & Co. Unos días más tarde, se vio obligado a dimitir oficialmente de American DeForest Co. En el margen de su carta de dimisión garabateó lo siguiente (Lewis 1991, pág. 50–51):

¡Este es el funeral de mi recién nacido! Este es el *finis* de mis esperanzas y esfuerzos que he hecho en mi estresante vida durante los últimos cinco años. Lo que he trabajado duro con dolor e interminable empeño para hacer algo grande y triunfal se ha prostituido, ensacado, ahogado e inhabilitado por el gran Ladrón que ha engordado mi cerebro. Pero mi trabajo continuará adelante mientras yo viva.³⁹

Los trabajos DeForest prosiguieron adelante. El 1 de Diciembre de 1906, envió un telegrama a su abogado. Cuando se reunió con su abogado al día siguiente, “bosquejó un tosco diagrama de la rejilla” detrás de la hoja del menú (Lubens 1942, 24 Enero, pág. 36). La patente se presentó el 29 de Enero de 1907. Unos meses más tarde, DeForest organizó la DeForest Radio Telephone Co. Subsidiada por la Radio Telephone Co., que vendía audiones y otros equipamientos de radio. Entre 1907 y 1905, todos los audiones fueron manufacturados por McCandless Co. Se producían entre 200 y 600 anuales.⁴⁰

El audión DeForest no tuvo un amplio uso. Relativamente caro (5–8 dólares), sólo era un poco más sensible que los sencillos detectores de cristal. DeForest afirmaba que el audión amplificaba las señales, pero sólo actuaba como rectificador, al igual que la válvula de Fleming. En 1908 el propio ayudante DeForest dijo de él “muy poco fiable y demasiado complejo para ser manejado adecuadamente por el operador de radio normal” (Chairman 1965, pág. 99). Sólo los operadores de radio amateurs entusiastas se interesaron en comprar audiones (para trastear con ellos). Como recordó más tarde un ingeniero (Espenschied 1959, pág. 1254), sólo unos

pocos amateurs “se las ingeniaban para ahorrar los 5 dólares necesarios y ¡sufrir que se fundiera el filamento demasiado rápido!”

El nacimiento del audión amplificador y oscilante

Una interesante similitud entre el audión y el arco era que ambos producían un sonido silbante o aullante. El primer audión DeForest nació con un silbido. En un discurso ante el AIEE, DeForest (1906, pág. 760) informó:

Cuando el campo es intenso, se escucha en el teléfono una marcada fritura o silbido... En el arco silbante, partes del arco están en rápido movimiento en la porción inestable cerca de los bordes del terminal positivo. Posiblemente la presencia de oxígeno en el gas entra en el fenómeno y hace lo mismo que en el arco silbante... En este audión en particular, puedo tener un gran rango de silbidos y chirridos a medida que vario la corriente de caldeo.

Dichos sonidos eran muy familiares a los ingenieros del teléfono. El equipo telefónico de principios del siglo XX tenía una boquilla que se separaba del auricular. Cuando la primera se acercaba a la última, el teléfono producía un sonido silbante o un aullido. Se sabía que ocurría esto debido a que cualquier pequeña vibración que entrara en la boquilla sería amplificada por el relé u otros dispositivos y saldría por el auricular, sólo para realimentarse a la boquilla como entrada. Este proceso cíclico se repetía muchas veces por segundo, creando el silbido o aullido. El sonido mostraba que el repetidor amplificador de hecho producía una especie de oscilación sostenida. De este modo, la realimentación se enlazaba con la producción de oscilaciones sostenidas.⁴¹

En 1911, en el laboratorio de John Hays Hammond Jr. En Gloucester, Massachussets, Fritz Lowenstein, un ingeniero con conocimientos de ingeniería de potencia, comenzó a trabajar en un sistema de guiado por radio.⁴² Para controlar un objeto (por ejemplo, un bote o un torpedo) a distancia por medio de ondas electromagnéticas, Lowenstein necesitaba esencialmente tres componentes: un buen transmisor, un buen amplificador para el receptor, y una sintonía sensible. Como Lowenstein había trabajado como ayudante de Nikola Tesla en ingeniería de potencia y en la transmisión de potencia inalámbrica, tenía alguna experiencia con la lámpara de mercurio Hewitt que se usaba como repetidor telefónico (amplificador) y como convertidor entre corriente alterna y continua en ingeniería de potencia. También sabía que la lámpara de mercurio, al igual que los arcos de Duddel y Poulsen, tenía una resistencia negativa. Debido a esta experiencia, prestó a tención al audión DeForest, un dispositivo similar a la lámpara de mercurio, y comenzó a experimentar con él para probar si también tenía resistencia negativa, y si así era, si se podía emplear para amplificar las señales recibidas igual que hace la lámpara de mercurio en la ingeniería del telefónica (Hammond y Purington 1967, pág. 1197).⁴³ Lowenstein consiguió diseñar (tal vez) el primer circuito amplificador con audión en Noviembre de 1911. Él y su ayudante probaron este circuito conectándolo al teléfono, y obtuvieron señales telefónicas claras y mucho más fuertes en un experimento a larga distancia. Lowenstein escribió a Hammond: “Cuando oí su voz [de Hammond] salté de alegría; llegaba tan clara con todos sus matices característicos personales.” (Hammond y Purington 1967, pág. 1198). El amplificador no cantaba o silbaba (Meissner 1964, pág. 19).

Lowenstein también diseñó un oscilador de audio frecuencia como “circuito de guiado” para un sistema de torpedo. En su circuito de guiado, se conectaba un audión a un circuito oscilante *L-R-C*. El circuito oscilante de Lowenstein producía un tono alto audible. Después lo modificó en un circuito oscilante de (relativamente) alta frecuencia. Un día, Benjamín F. Miessner, que ayudaba a Lowenstein en 1911–12, notificó que el sonido de audio frecuencia del circuito de guiado se hacía débil y finalmente desaparecía cuando reducía la capacidad del circuito. Miessner y Lowenstein comprobaron el circuito con un amperímetro de hilo caliente para determinar si este fenómeno indicaba que el sonido de audio frecuencia se cambiaba gradualmente en oscilaciones inaudibles de alta frecuencia, y observaron que así era. Lowenstein experimentó después para ver si se podía usar este circuito en radiotelefonía, y consiguió transmitir la voz humana entre dos laboratorios en el mismo edificio a principios de

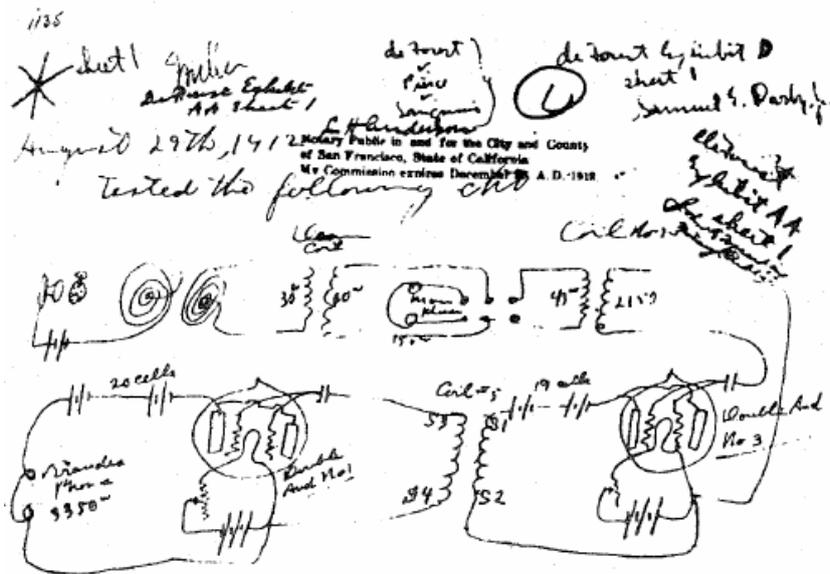
1912. Sin duda esta fue la “primera transmisión radiotelefónica de onda continua con tubo de vacío” (Hammond y Purington 1967, pág. 1199). La frecuencia usada eran 15.000 Hz (Miessner 1964, pág. 22).⁴⁴

El amplificador de Lowenstein no llamó la atención de los ingenieros de la American Telephone & Telegraph. Lowenstein ni siquiera solicitó una patente por su oscilador, tal vez debido a que pudo haber pensado que “no era una invención, una vez que se realizaba la acción amplificadora, los audiones oscilaban naturalmente” (Miessner 1964, pág. 23). Pero sus trabajos no quedaron sin conocerse. Llamó la atención de Ernst Alexanderson de General Electric (el inventor del alternador de alta frecuencia Alexanderson), que informó a Irving Langmuir. También supo del trabajo de Lowenstein Beach Thompson, presidente de la Federal Telegraph Co. en California. Thompson estaba intentando contratar a DeForest (que había volado desde Nueva York a California) para perfeccionar el sistema de Poulsen. Al haber sido informado del uso de los audiones DeForest por Lowenstein para la amplificación y la oscilación, la Federal Telegraph Co. pidió a DeForest que prosiguiera esta línea de investigación y le asignó dos ayudantes, Charles Logwood y Herbert van Etten. DeForest había comenzado a recuperar su salud. Un día en Febrero de 1912 anotó: “Cada vez que acaban con mis esperanzas; una nueva fortaleza y una fuerza física no conocida, me renueva la juventud. ¡Estoy en California y yo sólo tengo 38!” Su entrada en su libro de notas del 22 de Abril registra un experimento en que usó dos rectificadores, o válvulas de Fleming, en un receptor de radio.⁴⁵

Aunque se le había pedido a DeForest que desarrollara un amplificador para la Federal Co., tenía en mente una meta diferente. Siempre supo que AT&T estaba interesada en hacerse con un buen amplificador para una comunicación propuesta entre Nueva York y California –un ambicioso plan que AT&T había prometido para 1915.

En el verano de 1915, DeForest comenzó una serie de experimentos sobre el uso del audión como amplificador. Un día, al conectar la salida de un audión con la entrada de otro, obtuvo una buena amplificación (figura 6.10). Sin embargo, al mismo tiempo, escuchó un aullido en el audión. Si un amplificador telefónico podía hacer un aullido sonoro, esto significaba que no era útil como amplificador. DeForest intentó eliminar el aullido cambiando las variables del circuito, pero encontró que no lo podía eliminar por completo. En Octubre de 1912 llevó su dispositivo a Nueva York para mostrarlo a John Stone Stone, un eminente ingeniero que tenía buenas relaciones con AT&T. Cuando mostró el amplificador a Stone, todavía hacía el sonido indeseado.⁴⁶

El audión amplificador DeForest impresionó a Stone. También debió impresionar a los ingenieros y directivos de AT&T, ya que AT&T no tardó en adquirir los derechos en exclusiva para su uso en la comunicación (excepto en la comunicación inalámbrica).⁴⁷ Pero ¿qué inventó realmente Lee DeForest en el verano de 1912? Su libro de notas registra la fecha de su primer éxito en la amplificación realimentada el 6 de Agosto. Este fue el circuito en que se emplearon los audiones para la amplificación de las señales telefónicas. ¿La invención DeForest de Agosto de 1912 incluía la amplificación de las oscilaciones de radio frecuencia? ¿Incluía la generación de oscilaciones sostenidas? Esto es un asunto sutil, porque, como mencioné antes, aunque los ingenieros telefónicos sabían que la amplificación por repetidores no estaba separada de la producción de oscilaciones sostenidas, no era obvio si lo mismo era cierto para las oscilaciones de alta frecuencia.⁴⁸ Además, DeForest intentó eliminar, no mantener, las oscilaciones sostenidas que causaban los aullidos sonoros no deseados. John Stone Stone dio testimonio en los litigios por la patente entre DeForest y Edwin Howard Armstrong del efecto que en Octubre de 1912 había preguntado a DeForest si sabía si las oscilaciones se extendían al rango de la alta frecuencia, y que DeForest le había respondido lo que sabía de ello y que pensaba usar este circuito para generar estas oscilaciones. El testimonio de Stone fue crucial para establecer la prioridad DeForest sobre Armstrong en el tribunal. Sin embargo, no hay ninguna evidencia que apoye la afirmación de Stone. Como han dicho varios historiadores, Stone no estaba desligado de los intereses de AT&T sobre la prioridad DeForest. De todas formas, no tiene significado histórico alguno decir que DeForest inventó el oscilador de tubo de vacío en el verano de 1912, porque su meta era evitar las oscilaciones sostenidas de cualquier frecuencia, alta o baja.⁴⁹



With this circuit the feedback amplifying could be
 loosened until the watch ticks positively could
 not be heard and all in the Manhattan phones
 but through the circuit the watch ticks would be
 heard readily in the Branched phones.

With feedback one on top of the other the sounds
 in the Branched phones were 25 to 50 times
 as loud as the sounds in the Manhattan
 phones.

Reversing the secondary wind of Coil 1 makes
 all sorts of musical notes in Branched phones
 then necessary connection to one coil wind
 of Coil 5 the musical notes, whatever are given

Figura 6.10

Circuito de amplificación realimentado del 29 de Agosto de 1912. Fuente: transcripción del registro, Tribunal Supremo de los Estados Unidos. Octubre 1933 (nº 619), *Radio Corporation of America vs. Radio Engineering Laboratories, Inc.*

Armstrong intentó de forma consciente utilizar lo que DeForest quería eliminar. Era un operador de radio amateur desde sus días en el instituto.⁵⁰ En sus primeros años en la Universidad de Columbia, alrededor de 1911, Armstrong consiguió un audión de un amigo que era operador radiotelegrafista amateur. Aunque conectó el audión al circuito receptor de muchos modos diferentes, Armstrong no pudo hacerlo funcionar como amplificador. Armstrong desarrolló su propia teoría, y su propio circuito para el audión. Usando un osciloscopio en el laboratorio de ingeniería de la Columbia, Armstrong midió la corriente de placa (es decir, la salida) y el potencial de rejilla (es decir, la entrada) del audión. Observó que la salida fluctuaba exactamente tal como variaba la entrada. ¿Qué podría suceder, se preguntó, si una parte de la salida se realimentaba a la entrada? Si se añadiera a la entrada, esta entrada aumentada volvería a aumentar la salida. El mismo proceso podía repetirse muchas veces por segundo. Esto daría una salida final de tal vez 100 veces la entrada original. En Septiembre de 1912, confirmó sus expectativas: el audion “¡regeneraba!” (Ver figura 6.11) Armstrong recordó más tarde este descubrimiento de la siguiente forma:

La invención fue acompañada por la suerte pero la producción de un aparato funcional fue el trabajo de unas pocas horas –desvelar el fenómeno involucrado en el sistema fue tema de meses. En resumen, el descubrimiento [se tachó invención] llegó por un deseo de encontrar cómo funcionaba el audión –no era fácil hacerlo en la edad oscura de [19]11 y [19]12 cuando la exigua literatura que había sobre el tema hablaba eruditamente de “ionización del gas” etc. y en el arte se conocía al audión simplemente como detector de oscilaciones de alta frecuencia.⁵¹

Con este circuito amplificador, Armstrong podía escuchar claramente las señales de radio que provenían de Irlanda e incluso de Hawai.⁵²

El mismo día que descubrió el efecto de realimentación, Armstrong escuchó silbar al audión receptor. Mientras cambiaba el valor de la inductancia, observó que las señales de radio claras eran sustituidas por una nota silbante cuando el audión alcanzaba el punto de máxima amplificación. Después este silbido se cambiaba por un aullido. ¿Por qué el circuito producía súbitamente un sonido de frecuencia de audio? Rápidamente teorizó que el audión de hecho podía estar generando oscilaciones locales de alta frecuencia, y que el aullido era el batido producido por la superposición de esta oscilación de alta frecuencia con las señales de alta frecuencia recibidas. Para probar esta hipótesis, Armstrong pidió prestado un amperímetro sensible y midió la corriente de placa. Justo después del punto de máxima amplificación, observó que la corriente de placa caía súbitamente. Este era un signo típico de oscilación: la corriente caía rápidamente debido a que la energía se transformaba en radiación electromagnética. El audión de 1912, se podía decir, estaba hecho para amplificar y oscilar.⁵³

Armstrong mantuvo más tarde que había creado los efectos de amplificación y oscilación en el audión en Septiembre de 1912. La primera evidencia es un esquema de un circuito que había notariado el 12 de Enero de 1913 (figura 6.11). Armstrong mostró su dispositivo a diversas personas después del 13 de Enero, y tal vez incluso antes. Con el esquema notariado, fue rápidamente a establecer la prioridad sobre otros, incluyendo al alemán Alexander Meissner (que presentó una patente en los EE.UU. en Marzo de 1913) e Irving Langmuir (que la presentó el 29 de Octubre de 1913).

Armstrong presentó la patente el mismo día que Langmuir. Armstrong no había presentado la patente antes porque no tenía el suficiente dinero (unos 200 dólares) para cubrir las tasas de patente y del abogado. Después de presentarla, le dijo a su abogado, William H. Davis, que esperaba extender la recepción de las señales de radio con su nuevo detector “hasta Honolulu por el oeste e Italia y el noroeste por el este.” A principios de Enero de 1914, Armstrong presentó su receptor amplificador a la American Marconi Co. El vicepresidente de la compañía informó a Marconi en Gran Bretaña sobre la demostración, observando que Armstrong era “un chico de no más de veintiuno.” La patente de Armstrong (Patente US 1.113.149) se concedió el 6 de Octubre de 1914.⁵⁴

DeForest presentó una patente sobre el audión oscilante (el “ultra–audión,” como le llamó) el 20 de Marzo de 1914, y una amplia patente sobre el circuito de realimentación el 25 de Septiembre de 1915. En esta última afirmaba que había inventado el circuito de realimentación antes de Marzo de 1913. Armstrong demandó a DeForest por infringir su patente. DeForest defendió su patente afirmando que su observación del sonido en aullido en Agosto de 1912 era lo mismo que la invención de Armstrong en Septiembre de 1912. El juez del Tribunal de Nueva York, Julius Mayer, sentenció a favor de Armstrong en base a dos evidencias: (1) Si DeForest hubiera conocido el verdadero mecanismo de su invención, habría solicitado rápidamente una patente por ello, como había hecho con varias patentes en ese periodo. (2) El libro de notas DeForest de 1914 sobre el “ultra–audión” muestra que incluso en ese tiempo DeForest no comprendía por completo los principios involucrados en el circuito de realimentación de Armstrong. El libro de notas demuestra que DeForest procedió por completa ignorancia a patentar circuitos completamente inefectivos. El juez sentenció que no era convincente la reclamación DeForest de conocer perfectamente el circuito de realimentación antes de Marzo de 1913.⁵⁵

Sin embargo, había otra disputa en marcha: el proceso a “cuatro partes” por infracción que implicaba a Armstrong, DeForest, Langmuir y Meissner. En el proceso de infracción, los examinadores decidieron unánimemente a favor de Armstrong. Sin embargo, DeForest apeló al

Tribunal de Apelaciones del Distrito de Columbia, y se cambió la decisión. Se encontró que los experimentos DeForest en el verano de 1912 constituían la invención de los “medios para producir oscilaciones eléctricas sostenidas.” Después de este éxito, se le concedió a DeForest las patentes del ultra-audión y del circuito regenerativo. Después demandó a Armstrong en Pensilvania por infracción de estas patentes. El tribunal decidió a favor DeForest. Armstrong apeló, pero el Tribunal de Apelación confirmó la decisión de los tribunales inferiores. La Corte Suprema negó la petición. El resultado de este proceso fue un acuerdo para un decreto que invalidaba la mayoría de las reclamaciones en la patente de Armstrong.

Este no fue el final de la historia. En 1934, AT&T, que poseía la patente DeForest, denunció a una pequeña compañía de fabricación por infracción. Armstrong decidió pagar los gastos del litigio de la compañía. El tribunal del Distrito decidió que la patente DeForest era inválida y admitió la prioridad de Armstrong. El Tribunal de Apelación invirtió la decisión. La Corte Suprema sentenció a favor DeForest. Después de esta derrota, Armstrong devolvió al Instituto de Ingenieros de Radio su Medalla de Honor de 1917 por el circuito de realimentación, pero la junta de directores del IRE reafirmó unánimemente su decisión original (Gannett 1998).

Epílogo: La creación de la Era de la Radio

La revolución del audión por sí sólo no creó la radiodifusión. No deben desestimarse los factores sociales y culturales –incluyendo los operadores amateurs, la I Guerra Mundial, la competencia de las corporaciones, y otros aspectos socioculturales (Douglas 1987). En este libro nos hemos enfocado en un hilo importante de la historia: las complicadas trayectorias de varias tecnologías y sus entrecruces. He mostrado cómo gradualmente los ingenieros y científicos, y algunas veces por casualidad, explotaron varios efectos científicos y artefactos tecnológicos, con los que finalmente produjeron y recibieron las ondas continuas. Aunque la tecnología por sí sola no hace a la sociedad, la tecnología abre nuevas posibilidades y cierra otras viejas. Cuando ocurre esto, la gente se ve forzada a pensar, elegir, explotar y adaptarse a estas nuevas posibilidades. Diferentes grupos de personas tienen diferentes intereses en las tecnologías, y sus diferentes preferencias y elecciones suelen crear tensiones culturales y conflictos sociales.

En la década de 1920 el audión amplificador y oscilador hizo que la producción, transmisión y recepción de las ondas continuas fuera mucho más fácil y económica. Antes de la revolución del audión, era caro producir ondas continuas. Los gigantescos alternadores de alta frecuencia costaban millones de dólares; los generadores de arco fiables también eran grandes y caros. Esto era tecnología de potencia, y sólo las grandes corporaciones podían abordar estos transmisores que emitían ondas continuas que transportaban la voz humana. Después de la revolución del audión, se hizo mucho más fácil que cualquiera pudiera montar una pequeña estación transmisora. La potencia pasó a tener poca importancia, pero las interferencias se convirtieron en el problema central a medida que el éter estaba cada vez más ocupado. A principios de los años 20 se construyeron muchas estaciones de radiodifusión. La asignación del espectro se convirtió en el tema de un intenso debate público. Otras importantes innovaciones técnicas –como el circuito superheterodino de Armstrong, el circuito superregenerativo y la frecuencia modulada (FM)– siguieron al audión oscilador.¹ En la telegrafía inalámbrica del principio, Marconi pensaba en términos de inductancia, capacitancia y resistencia –todas las variables en la telegrafía por cable. A principios de los años 20, los ingenieros de radio pensaban en términos del audión y sus efectos asociados. Él no es el único creador de la radiodifusión: pero la verdad es que abrió nuevas posibilidades y agitó las existentes abaratando el espectro y fácilmente accesible.

Apéndice: La teoría del electrón y la “Tierra Buena” en la telegrafía inalámbrica

La mayor parte de la literatura sobre la telegrafía inalámbrica trasatlántica, incluyendo varios recuerdos de Marconi, han recalcado que algunos científicos eminentes, entre los que se incluyen Lord Rayleigh y Henri Poincaré, pusieron objeciones al plan de Marconi razonando que las ondas electromagnéticas sólo se propagan linealmente. También se ha enfatizado que Marconi nunca se desanimó por objeciones “teóricas”, porque creía firmemente, basado en la práctica, en la transmisión de las ondas electromagnéticas a través de los océanos. Sin embargo, la historia no es estrictamente cierta en dos sentidos. Primero, fue tras el éxito de Marconi en Diciembre de 1901 que tuvo lugar el debate sobre la transmisión de las ondas electromagnéticas entre Lord Rayleigh, H. M. MacDonal, Poincaré y otros. Segundo, hubo pocas objeciones a la telegrafía trasatlántica de Marconi simplemente porque el experimento de Marconi no era muy conocido por el público antes de Diciembre de 1901. Además, como hemos visto, muchos eminentes ingenieros y científicos presumían que las ondas electromagnéticas podían viajar por debajo de la superficie curvada de la tierra de un modo u otro. Aquí detallaremos la concepción de Fleming del carácter trepador de las ondas electromagnéticas generadas por el transmisor de Marconi.

La concepción de Fleming se basaba en la teoría del electrón de J. J. Thomson y Joseph Larmor, que Fleming adoptó hacia 1900. En 1902, Fleming dio una Lectura del Viernes en la Royal Institution sobre la “Teoría electrónica de la electricidad.” Aunque Fleming sabía que la teoría electrónica de la electricidad era una extensión de las ideas de Weber más que las de Maxwell, también consideraba que no la violaba, sino que suplementaba la teoría de Maxwell, porque el electrón era un centro de tensión en el éter, o una localidad desde la cual se radiaba la tensión del éter. Por tanto, el movimiento del éter estaba íntimamente relacionado con el movimiento de los electrones. Esto se debía a “un electrón en movimiento es de hecho un centro de éter desplazándose como se puede hacer con una arruga o nudo en una cuerda moviéndola de un lado a otro en la cuerda” (Fleming 1902, pág. 177). La influencia fue recíproca. La radiación, por ejemplo, se generaba por el movimiento acelerado de electrones; los electrones estaban afectados por el movimiento del éter como radiación porque eran los centros o puntos convergentes de la tensión del éter.

El amalgamado de la teoría del electrón Larmoriana con la telegrafía inalámbrica práctica apareció en la Lectura Cantor de Fleming en 1903 (Fleming 1903a). Según la teoría del electrón, la producción de la tensión del éter ocurre como se ilustra en la figura A.1. Se colocan en línea dos varillas metálicas separadas por un pequeño chispero. Si el movimiento del electrón es lo suficiente rápido, las líneas de tensión en el medio externo no pueden contraerse o colapsar lo suficiente rápido para mantenerse con el movimiento de los electrones. Este movimiento de las líneas cerradas de tensión eléctrica constituye por tanto, la radiación eléctrica (ibid., pág. 715).

Sin embargo, este tipo de radiador era el de Hertz, no el de Marconi. El radiador de Marconi consiste de un hilo largo vertical, cuyo extremo inferior se conecta a una de las dos esferas del chispero cerca de la tierra, la otra esfera del chispero se conecta a tierra. Fleming (ibid., pág. 744) menciona que “fue la introducción de la antena o radiador por el Sr. Marconi lo que sentó los fundamentos de la telegrafía por ondas Hertzianas en oposición a los meros experimentos con ondas Hertzianas.” La diferencia crítica que menciona Fleming puede entenderse considerando la producción de la tensión eléctrica del radiador de Marconi en términos de la teoría del electrón (figura A.2). Debido a que las líneas de tensión eléctrica deben terminar en un electrón o en un co-electrón¹, este semi bucle de líneas marcha hacia fuera con sus pies en la tierra. Los mismos electrones no necesitan siempre viajar a lo largo de la tierra: “Ya que la tierra es un buen conductor,” dice Fleming (1903a, pág. 718), “podemos suponer que hay una migración continua de los electrones que forman los átomos de la Tierra, y cuando un electrón entra en un átomo, otro lo abandona.”² De este modo la Tierra resulta una enorme “guía ondas.”³

De este razonamiento siguen unas interesantes consecuencias. Primero, puede explicar la dependencia de la telegrafía Hertziana de la naturaleza de la superficie por la que se conduce y

las condiciones atmosféricas. La experiencia ha demostrado que el mar es mucho mejor que la tierra para transportar las ondas Hertzianas más lejos, y que la noche es mejor que el día. Fleming pensaba que la arena o la tierra seca sería menos efectiva que la tierra.⁴ Segundo, y más importante, la Tierra como guía ondas implica la posibilidad de la telegrafía inalámbrica a larga distancia. Fleming creía que la tierra podría guiar las ondas Hertzianas lo que le estimuló para continuar sus investigaciones en telegrafía inalámbrica a larga distancia. En su lectura de 1903, Fleming propuso la difracción o doblado de la onda eléctrica alrededor de la Tierra como causa de la transmisión trasatlántica de señales de radio. Pero también declaró que “la telegrafía de ondas Hertzianas no era tan simple como una onda libre en el espacio, pero la transmisión de un semi bucle de tensión eléctrica con sus pies atados en la tierra, es posible... que una perturbación en el éter hecha en Inglaterra con la suficiente potencia se pueda sentir en Nueva Zelanda” (Fleming 1903a, pág. 781). En este sentido, una “buena tierra,” como en la vieja telegrafía, era esencial para la telegrafía Hertziana a larga distancia.

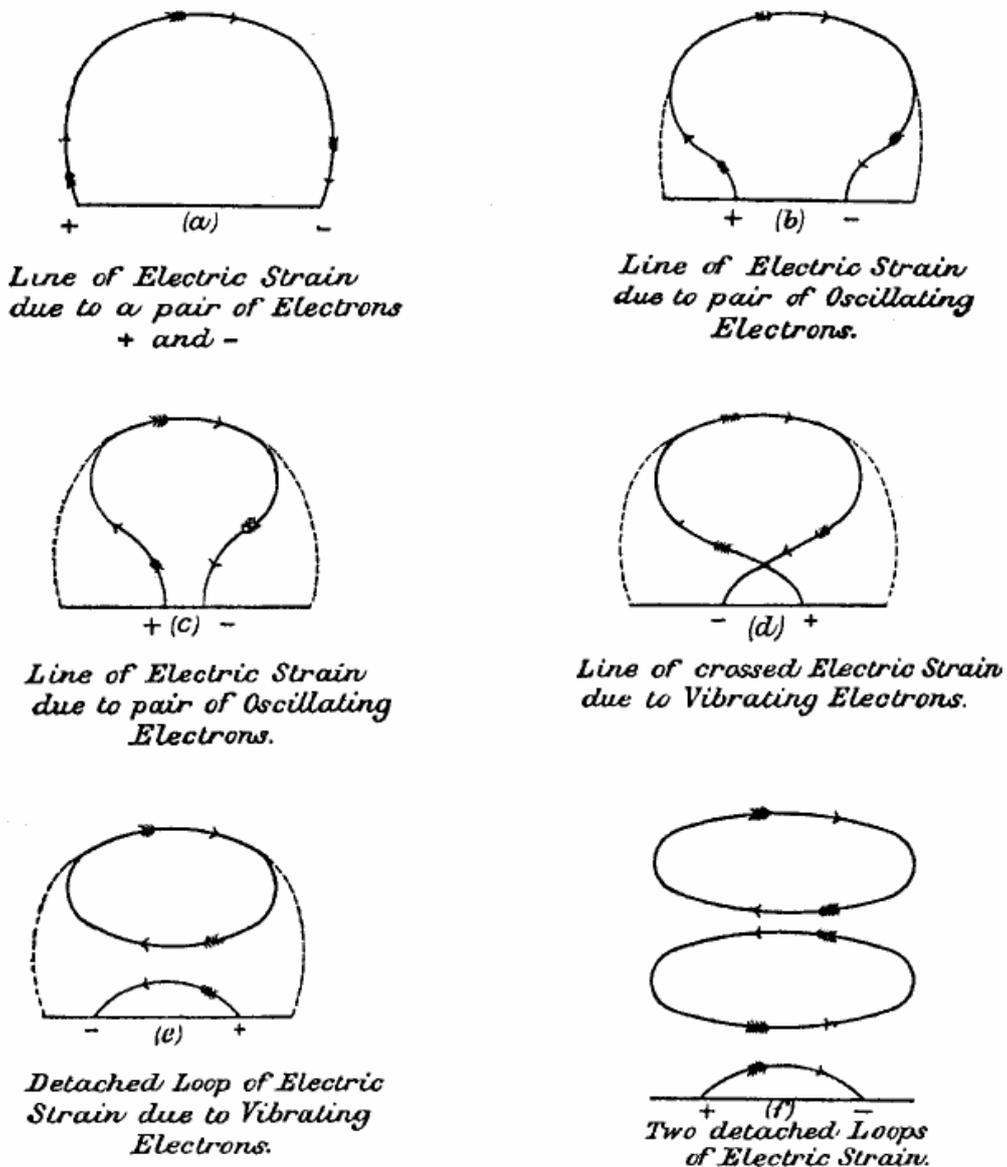


Figura A.1

Etapas sucesivas en la generación de una tensión eléctrica de un oscilador Hertziano con un chispero en su centro. Fuente: Fleming 1903a, pág. 715.

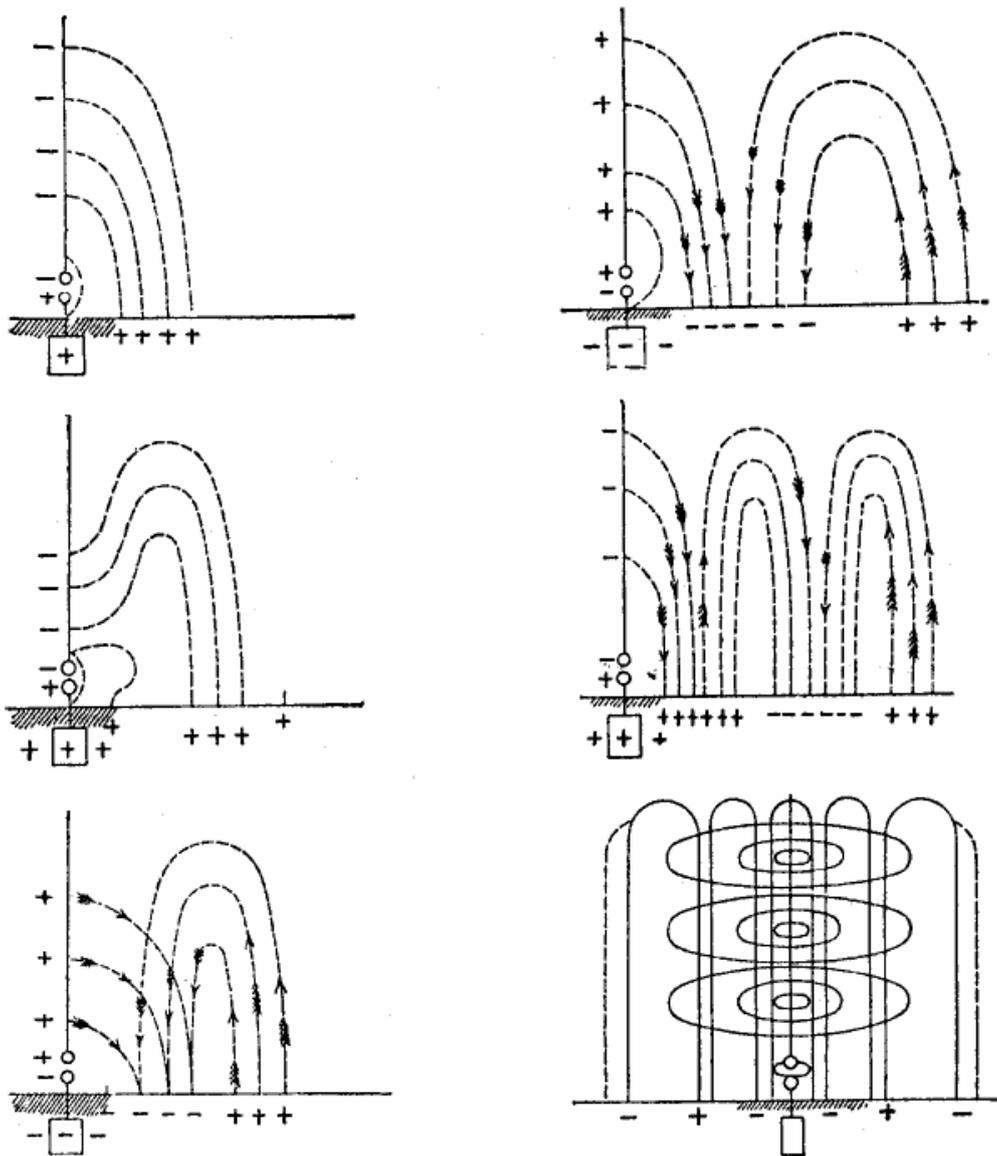


Figura A.2

Etapas sucesivas en la generación de una tensión eléctrica con un radiador de Marconi con un polo conectado a tierra. Fuente: Fleming 1903a, pág. 719.

Notas

Capítulo I

1. Ver, e.g., Rowlands y Wilson 1994; Burns 1994.
2. Para el trabajo de Süsskind sobre Popov, ver Süsskind 1962. Sobre la controversia de 1995, ver Aldridge 1995; Vendik 1995; Barret y Godley 1995.
3. Como mi texto se enfoca en científicos e ingenieros que se educaron en o que trabajaron en ondas Hertzianas en Gran Bretaña, examinaré aquí brevemente el caso de científicos e ingenieros de otros países aparte de Gran Bretaña. Primero, se está ampliamente de acuerdo que la investigación de Augusto Righi en Italia y Jagadis Bose en La India sobre “óptica de microondas” no tiene nada que ver con la telegrafía inalámbrica. Sin embargo, vale la pena mencionar que Righi tuvo algún impacto en Marconi, y Bose influyó en Henry Jackson para trabajar con señales inalámbricas. Para Righi ver Aitken 1976, pág. 183–185; para Bose, ver Dasgupta 1995–96. En Rusia, A. S. Popov, inspirado por la lectura de Lodge de 1894, concibió la posibilidad de emplear ondas Hertzianas para la “transmisión de señales a distancia” en 1895. Como demuestra Süsskind (1962), hay evidencias indirectas que Popov demostrara en secreto la transmisión de señales a corta distancia en Marzo de 1896, pero en aquel tiempo Marconi ya había construido y demostrado una telegrafía inalámbrica medianamente práctica. En los EE.UU. Tesla pensaba indudablemente en posibles medios de usar las rápidas oscilaciones para hacer señales a principios de la década de 1890. Los admiradores de Tesla afirman que Tesla demostró la transmisión de mensajes por medio de las ondas Hertzianas por primera vez en 1893 en su lectura en San Luis. Sin embargo esta afirmación no está apoyada por ninguna evidencia directa, y el hecho que Tesla usara un tubo de Geissler como detector (¿cómo podía detectar efectivamente señales en código Morse con el tubo de Geissler?) debilita fuertemente la reclamación. Además, sus ideas sobre cómo debían comunicarse las señales al espacio eran similares a la telefonía (inalámbrica) conducida por tierra, en vez de telegrafía inalámbrica Hertziana. Para la primera reclamación de Tesla, ver Cheney 1981, pág. 68–69. Compárese Cheney con la reclamación original de Tesla, de ideas poco claras (Tesla 1894, esp. pág. 346–349). Ver también Anderson 1980. En lo que conozco, ningún científico o ingeniero en Alemania concibió la posibilidad de la telegrafía por ondas Hertzianas antes de Marconi. Adolf Slaby y Ferdinand Braun iniciaron la investigación en telegrafía por ondas Hertzianas después de haber oído las noticias del éxito práctico de Marconi (Slaby 1898; Kurylo y Süsskind 1981).
4. Sobre los experimentos con chisperos en conductores de pararrayos, ver Lodge 1890b, pág. 352–353. Para la historia del tubo de Branly en Gran Bretaña, ver Lodge 1897. Ver también Branly 1891 y Phillips 1980, pág. 18–37.
5. El experimento de Minchin se ha reconstruido de los recuerdos de Rollo Appleyard, que había ayudado a Minchin; ver Appleyard 1897. Los experimentos de Lodge en Liverpool se citan de Rowlands 1990, pág. 116–117.
6. Sobre la fórmula de FitzGerald, ver FitzGerald 1833. Ver también Hunt 1991, pág. 43. Para Lodge, ver Lodge 1894b, pág. 135–137. Ver también recuerdos de Lodge (Lodge 1931, pág. 165).
7. Lodge remarcó que William Thomson usó primero el término “ojo eléctrico.” Ver Lodge 1890a.
8. Trotter había trabajado con Maxwell en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge durante un corto tiempo a finales de la década de 1870, y trabajó para el editor de *The Electrician* desde finales de la década de 1880. Ver [A. P. Trotter], “Notas”, *The Electrician* 26 (10 de Abril de 1891), pág. 685.
9. “Editorial,” *The Electrician* 39 (24 Septiembre 1897), 699. Como los comentarios de Threlfall salieron a la luz es interesante y dignos de mencionar. No se mencionaron en absoluto hasta que Oliver Lodge informó a J. J. Fahie de ello en 1899. Fahie mencionó la lectura de Threlfall en una nota al pie en el libro que estaba escribiendo sobre la historia de la telegrafía inalámbrica. Seguidamente, Threlfall fue considerado uno de los que precedieron a Marconi. (Ver Fahie 1899, pág. 197, nota 2). Sobre la rehabilitación de Threlfall por los historiadores modernos, ver Süsskind 1969a, pág. 69–70.
10. Sobre la vida y obra de Crookes, ver D’Albe 1923.
11. El experimento de Hughes salió a la luz en 1899, cuando J. J. Fahie se fijó en el pasaje anacrónico en el artículo de Crookes. Fahie preguntó a Crookes por ello, que respondió que este experimento fue hecho por Hughes con un micrófono en 1879. Fahie escribió después a Hughes y obtuvo la primera descripción detallada de los experimentos de Hughes. La respuesta de Crookes y la carta de Hughes se publicaron como el Apéndice D de Fahie 1899, acompañado por la afirmación que “los experimentos de Hughes en 1879 eran virtualmente el descubrimiento de las ondas Hertzianas antes de Hertz, del cohesor antes de

Branly, y la telegrafía inalámbrica antes de Marconi y otros.” Para una descripción más equilibrada de los experimentos de Hughes, ver Süsskind 1968a, pág. 97–98.

12. R. E. B. Crompton mencionó esta posibilidad; ver Lodge 1923, pág. 332. Para telegrafía por inducción de Willoughby Smith, ver Smith 1888 y Fahie 1899, pág. 162 – 166. Para el público, la telegrafía por ondas Hertzianas y la telegrafía por inducción no eran discernibles. Cuando William H. Preece hizo un experimento sobre telegrafía por inducción, la revista victoriana *Spectator* describió el experimento de Preece como el que había sido predicho por Crookes; ver “Una visión soñadora del experimento del Sr. Preece,” *Spectator* 19, 26 Noviembre: 764–765.

13. Ver Crookes 1891b y “Ciencia y Conjetura,” *Spectator* 67 (1891), 21 Noviembre; 723–724.

14. Ver “Notas,” *The Electrician* 28 (5 Febrero 1892), 341–342.

15. J. A. Fleming, “Unas pocas notas sobre el método de presentar el caso Marconi” (26 Abril 1904), MS, Archivos Compañía Marconi (de aquí en adelante MCA).

16. “Telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* 39 (1 Octubre 1897), 736.

17. Ver e.g., la carta a Lodge en que Minchin dice: “Si Ud. piensa que podemos combinar de algún modo sus montajes para resolver el problema de la telegrafía inalámbrica, me gustaría unirme... ¿Va a impedirnos Marconi conectar a tierra nuestros postes? Deduzco que lo hará.” (Minchin a Lodge, 1 de Noviembre de 1897, Colección Lodge, University Collage Londres) Marconi parece que sentía esto: “No obstante, he escuchado que Lodge va a hacer una unión o liga con todos los poseedores de patentes relacionadas con la telegrafía inalámbrica para luchar conmigo y mi compañía.” (Marconi a Preece, 16 de Noviembre de 1897, MCA)

18. La historia sobre la investigación de Rutherford se basa en E. Rutherford, Libro de notas del laboratorio, Papeles Rutherford MS Add 7653 NB2, pág. 6–80, Librería de la Universidad de Cambridge, Cambridge. Ver también D. Wilson 1983, pág. 87–89.

19. Para la carta de Rutherford, ver Navidad 1939, pág. 22–33; ver también D. Wilson 1983, pág. 95–96. Para la carta de Thomson a Kelvin ver J. J. Thomson a Kelvin (sin fecha, pero escrita alrededor del 27 de Febrero de 1896); J. J. Thomson a Kelvin (10 Abril 1896), Colección Kelvin, Add 7342, Librería Universidad de Cambridge. El trabajo de Rutherford se publicó como “Un detector magnético de ondas eléctricas y algunas de sus aplicaciones” (Rutherford 1897). Para la recolección de la investigación de Rutherford en ondas Hertzianas, ver Rutherford 1902. La presentación de Rutherford ante el Club de Cambridge de Ciencia Natural está guardada en el Club de Ciencia Natural de la Universidad de Cambridge: Libro de Minutas, MS, Librería de Periódicos de Ciencia, Cambridge, pág. 554.

20. Para la investigación de Jackson, ver Jolly 1972, pág. 71–72. Como ejemplo de una narración histórica exagerada de las contribuciones de Jackson, ver Pocock 1963.

21. Para una descripción del cohesor de Bose, ver Bose 1895b. Para el comentario del *The Electrician* sobre él, ver “Notas,” *The Electrician* 36 (1895), 27 de Diciembre: 273. Para los trabajos de Bose sobre “óptica de microondas”, ver Bose 1895a. En Calcuta Bose demostró ante el público la producción y recepción de ondas Hertzianas haciendo sonar un timbre y disparando una pistola en 1895. Para la vida y obra de Bose, ver Dasgupta 1995–96.

22. “Declaraciones en la Reclamación del capitán Jackson respecto a la invención de la telegrafía inalámbrica,” en el “Informe del capitán Hamilton” (28 Enero 1899), ADM. 116/523, Oficina del Registro Público, Kew.

23. “Informe del Capitán Jackson,” (16 Septiembre 1896) en ADM. 116/523, Oficina del Registro Público, Kew.

24. “Informe del Capitán Jackson,” 22 Mayo 1897, ADM. 116/523, Oficina del Registro Público, Kew.

25. Recuerdos de Marconi de cuando tomó lecciones del profesor Rosa en conflicto con las del profesor Giotto Bizarrini, que también enseñó a Marconi en Leghorn. Marconi recordaba que se había reunido con Rosa antes de los dieciocho años (i. e., antes de 1892). Sin embargo, en los recuerdos de Bizarrini, el hermano de Marconi, Alfonso, le presentó a Marconi en 1892, y la madre de Marconi presentó a Guglielmo al profesor Rosa ese mismo año. Según Bizarrini, Marconi con 18 años se interesaba en química, la bobina de Ruhmkorff y los aparatos telegráficos, e hizo algunas investigaciones en las oscilaciones eléctricas causadas por las descargas atmosféricas. Ver Bettolo 1986.

26. Marconi realzó más tarde que había aprendido física con el profesor Rosa, pero no mencionó su deuda con Righi. Ver Marconi 1909, pág. 196. Sin embargo, Righi recordó que había apreciado la “energía inventiva y el don intelectual inusual” de Marconi cuando le vio pro primera vez; ver *Nature* 66 (9 Octubre 1902), 581.

27. Las investigaciones de Marconi se reconstruyeron a partir de su testimonio en *Marconi Wireless Telegraph Company of America vs. DeForest Wireless Telegraph Company*: Registro de Denuncias para la Audiencia Final (Tribunal de los Estados Unidos, 1904), pág. 530–540. Esta es la recolección más detallada y sistemática de sus investigaciones en Italia. Creo que este testimonio es muy creíble, ya que la descripción de Marconi de su receptor es muy compatible con lo reportado por otras personas sobre su

receptor en 1896 y 1897. Ver H. R. Kempe, “Señalización a través del espacio con el sistema Marconi” (para informar a W. H. Preece), 15 Septiembre 1896, Archivos Compañía Marconi; G. S. Kemp, “Diario de experimentos en radio en G. P. O. & Salisbury”, Archivos Compañía Marconi; [W. H. Preece], “Informe sobre experimentos recientes con la llamada “Telegrafía Inalámbrica,” 29 Octubre 1897, Archivos Compañía Marconi. Marconi también dio una descripción detallada de su primer receptor en su primer papel de ingeniería, Marconi 1899.

28. En la pág. 536 de Marconi Wireless Telegraph Company of America vs. DeForest Wireless Telegraph Company, Marconi describe la inductancia elevada como “aislador para las ondas Hertzianas de oscilaciones de alta frecuencia.”

29. Marconi dijo que había sacado esto de sus notas. Ver Marconi a Preece, 10 Noviembre 1896, MCA HIS62. El método de Marconi contrasta profundamente con el de Oliver Lodge. A principios de la década de 1890, Lodge había conectado un extremo del receptor a las tuberías de gas de su laboratorio, pero encontró que esto tenía desventajas (Lodge 1932, pág. 233). Se había evitado conectar un extremo del transmisor a las tuberías ya que esto hubiera aumentado la longitud de onda al doblar la capacitancia.

30. El transmisor conectado a tierra de Marconi distingue su antena de otras invenciones similares. Popov usó un cohesor y un hilo largo en su detector de rayos, pero su inspiración parece que la originó más bien un pararrayos que un telégrafo. Minchin usó un hilo largo en su receptor (que llamó “alimentador”) y Jackson también conectó hilos al cohesor (que llamó “alas”), pero ninguno de ellos conectó a tierra el transmisor. Pocock (1988, pág. 100) comentó que “el añadido de Marconi de antenas a sus aparatos, igual que Popov y Jackson” no reconoce plenamente la originalidad en el diseño de la antena de Marconi.

31. El poco interés de Preece en las ondas Hertzianas se indicó en “La transmisión de señales eléctricas a través del espacio,” *The Electrician* 31 (1893), 15 Septiembre: 520–521.

32. Ver, e.g., la recolección del ingeniero australiano George W. Selby (1898) de sus primeros intentos para diseñar un sistema práctico inalámbrico.

33. Para más en esto, ver el capítulo 3 y el apéndice.

Capítulo 2

1. Por ejemplo, debido a las demostraciones de Lodge en 1894, el historiador de la tecnología Hugo Aitken (Aitken 1976, pág. 123) ha argumentado que no puede decirse que la telegrafía inalámbrica haya sido inventada por Guglielmo Marconi: “¿Sugirió Lodge en 1894 en público que su equipo se podía usar para enviar señales? ¿En su lectura se refirió a la aplicación de las ondas Hertzianas a la telegrafía? ¿Demostró la transmisión y recepción en código Morse? La respuesta podría ser afirmativa en cada caso. En este sentido ¿debe reconocerse a Lodge como el inventor de la radio telegrafía?.” Curiosamente (1986), al revisar la segunda edición de Aitken de 1976, observé este punto.

2. Para reclamaciones que apoyan la prioridad de Marconi, ver Süsskind 1962, 1969a, b. La reclamación de Aitken de la prioridad de Lodge tiene precedentes. W. P. Jolly, que había escrito biografías de Lodge y Marconi, admite la telegrafía inalámbrica de Lodge en la reunión de la Asociación Británica de 1894 (Jolly 1972, pág. 41–42; Jolly 1974, pág. 97). Después de Aitken, se aceptó ampliamente la prioridad de Lodge. Una reciente biografía de Lodge hace hincapié en la “transmisión de radio” de 1894, basada en la narración de Aitken y del propio Lodge. Rowlands 1990, pág. 115–123. Pocock (1988), aunque admite la originalidad de Marconi, menciona la transmisión de radio de Lodge en la lectura de Oxford de 1894, en la pág. 82. G. A. Isted, uno de los primeros ayudantes de Marconi, escribió más tarde que la demostración de Lodge en la Asociación Británica de Oxford “es el primer ejemplo registrado de transmisión y recepción de una señal por ondas Hertzianas y está claro que tiene una gran importancia histórica” (Isted 1991a, pág. 46). La argumentación de Aitken también ha sido recogida por Basalla (1988, pág. 99).

3. Sobre la vida y obras de los físicos Maxwellianos británicos, ver Buchwald 1985 y Hunt 1991.

4. El uso de registros de patentes e infracciones de patentes como fuente para la investigación histórica fue señalado por Reingold (1959–60) y por Chapin (1971). Ver también Hounshell 1975; Post 1976; Brittain 1970.

5. “Aparatos para telegrafía inalámbrica del dr. Oliver Lodge”, *The Electrician* 39 (1897); 686–687. También se citan en Aitken 1976, pág. 122.

6. La reunión anual de la Asociación Británica tuvo lugar en Oxford en 1894. La fecha de la lectura y experimentos de Lodge fue el 14 de Agosto.

7. Ver Fleming 1937, pág. 42.

8. John Ambrose Fleming a Oliver Lodge. 24 Agosto 1937. Colección Lodge, University Collage Londres.

9. (Copia de) Lodge a Fleming, 26 Agosto 1937, Colección Lodge, UCL.

10. Fleming a Lodge, 29 Agosto 1937, Colección Lodge, UCL.
11. Ibid.
12. Para las primeras concepciones de Lodge sobre las ondas electromagnéticas, ver Buchwald 1994 y Hunt 1991, pág. 24–47. Para la mejor descripción de las investigaciones de Lodge antes de 1888, ver Aitken 1976, pág. 80–102. Para la promulgación de Lodge de su programa con las ondas Hertzianas y su concepto de “ciencia imperial”, ver Lodge 1889, pág. 303–307. Para los primeros experimentos cuasi ópticos con ondas Hertzianas, ver Ramsay 1958.
13. La distancia era de unas 70 yardas.
14. La lectura “La obra de Hertz” se publicó en *Nature*, en *The Electrician* (con ilustraciones), y más tarde en las Actas de la Royal Institution. Aquí la referencia es Lodge 1894b. La lectura, con algunos apéndices, se publicó en 1894 como un libro (Lodge 1894c). Con la tercera edición (1900), se cambió su título a Señalización a través del espacio sin hilos.
15. El timbre no estaba conectado al circuito del cohesor, ni golpeaba directamente al cohesor.
16. “Ondas Hertzianas en la Royal Institution,” *The Electrician* 33 (1894): 156–157.
17. “El galvanómetro de “batido muerto” usa una aguja con un momento de inercia pequeño. Si cambia súbitamente la corriente, la aguja se mueve de un punto a otro, donde se detiene “muerta.”
18. Lodge (1894b, pág. 137) menciona “el punto de luz” del espejo del galvanómetro.
19. Lodge exhibió el detector portátil de diseño de su ayudante en la noche de la Royal Society unos días después de su Lectura del Viernes. Ver “Conversaciones de la Royal Society,” *Nature* 50 (1894): 182–184.
20. Oliver Lodge a J. Arthur Hill, 11 de Diciembre 1914, en Hill 1932, pág. 47.
21. Para la misma recolección, ver Lodge 1931, pág. 164, y Lodge 1932, pág. 231.
22. Muirhead se impresionó tanto después de la lectura de Lodge en Oxford que “al día siguiente se acercó a Lodge con la sugerencia que se podían enviar mensajes con el uso de estas ondas para alimentar cables” (Muirhead 1926, pág. 39, citado en Pocock 1988, pág. 83).
23. El galvanómetro marino de Thomson era un dispositivo muy sensible para medir la corriente diseñado especialmente de tal manera que el balanceo de un barco no podía cambiar las lecturas. En principio, utilizaba la rotación de un imán pequeño fijo en el centro de las bobinas con fibra de seda. Cuando las bobinas de campo crean campos magnéticos por acción de la corriente, el imán pequeño se ve forzado a girar, y este efecto se amplifica por la reflexión de un rayo de luz en un espejito sujeto al imán. Para una descripción detallada del dispositivo, ver Prescott 1888, pág. 154–157.
24. Por ejemplo, Lodge (1889, pág. 300) usó el galvanómetro marino prestado por Muirhead para sus experimentos sobre el momento magnético. Observe también que su relación comercial comenzó alrededor del tiempo que la Compañía Muirhead comenzó a construir los protectores de rayos de Lodge (Lodge 1892, pág. 419–426). Agradezco a Yavets esta última referencia.
25. Oliver Lodge, “Notas sobre la Historia del método de detectar las ondas Hertzianas con el cohesor y otros temas similares” (n.d.), Colección de Lodge, UCL. En el papel publicado (Lodge 1897, pág. 90), un párrafo similar dice lo siguiente: “Prácticamente cualquier tubo de limaduras puede detectar señales a una distancia de 60 yardas, con una mera esfera de media pulgada como emisor y sin el menor problema, pero el cohesor de un solo punto normalmente es mucho más sensible que cualquier tipo de cohesor de limaduras.”
26. Como no se publicaron las lecturas, me baso en los breves reportajes de las reuniones de la Asociación Británica publicados en *Nature*, en *The Electrician*, y en el *London Times*, todos ellos enviaron reporteros a la Asociación Británica. “Física en la Asociación Británica,” *Nature* 50 (1894): 408; “La Asociación Británica en Oxford: Martes, 14 Agosto,” *The Electrician* 33 (1894): 458 – 459; “Asociación Británica, Sección A: Teoría eléctrica de la visión,” *Engineering* 58 (1894): 382 – 383; *Times*, 15 Agosto, 1894. (N.B.: De aquí en adelante, “Times” se refiere al periódico de Londres.)
27. “La Asociación Británica en Oxford: Martes, 14 Agosto,” *The Electrician* 33, (1894): 458; “La Asociación Británica, Sección A: Teoría eléctrica de la visión,” *Engineering* 58 (1894): 382–383; *Times*, 15 Agosto 1894.
28. “Aparatos del Dr. Oliver Lodge para telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* 37 (1897), pág. 686.
29. Para esta controversia, ver Hunt 1983; Jordan 1982; Yavets 1993.
30. Para la descripción de Marconi como práctico, ver “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 207.
31. Han existido diferentes opiniones sobre la relación entre Preece y Marconi. Aitken (1976, pág. 210–216) sugiere que el interés de Preece provino de la “responsabilidad burocrática” de Preece y la Oficina Postal para supervisar el desarrollo de todas las formas de comunicación eléctrica en Gran Bretaña. Basado en el manuscrito de la Oficina Postal, Pocock (1988, pág. 114–117) muestra que Preece era más bien frío sobre las posibilidades comerciales del sistema de Marconi, argumenta que Preece de hecho seguía la política de la Oficina Postal con respecto a las nuevas invenciones –“ni aceptar la invención ni invertir sumas sustanciales”– sin ignorar por completo la nueva invención de Marconi. Pero Pocock

parece tener ciertas dificultades para explicar por qué Preece anunció ardientemente a Marconi en la Asociación Británica y en sus lecturas públicas. Como Nahin (1988, pág. 281) menciona, esta dificultad desaparece si se tienen en cuenta los factores personales.

32. Ver también “Física en la Asociación Británica,” *Nature* 54 (1896): *Times*, 23 Septiembre 1896; “Notas,” *The Electrician* 37 (1896): 685. Preece también menciona la antena parabólica de Marconi en el transmisor, y un relé y un impresor Morse en el receptor.

33. George F. FitzGerald a Oliver Heaviside, 28 Septiembre 1896, Colección Heaviside, Instituto de Ingenieros Eléctricos, Londres.

34. Lodge a Fleming, 26 Agosto 1937. El comentario de Lodge sobre Preece está en Lodge a Hill, 11 Diciembre 1914.

35. Ver también Pyatt 1983, pág. 12–35.

36. Oliver Lodge a Silvanus P. Thompson, 16 Marzo 1897, Colección Lodge, UCL.

37. Cuando se le preguntó por la diferencia, Marconi respondió: “No lo sé. No soy un científico, pero dudo que cualquier científico pueda responder.” (Dam 1897) Para un ejemplo de cuánto molestaba la “onda Marconi” a Silvanus Thompson, ver J. S. Thompson y H. G. Thompson 1920, pág. 81.

38. Respecto a la caja secreta de Marconi, hay una historia interesante. Cuando Frederick Trouton, un ayudante de FitzGerald, encontró un tubo cohesor ordinario de vidrio en la caja secreta de Marconi, Marconi la cerró de golpe, diciendo “Podrías robar mi invención”. Sobre esto, Jolly 1974, pág. 148. Parece que FitzGerald fue el primero en resolver el rompecabezas del sistema de Marconi. Analizó que “lo que está haciendo Marconi con sus cometas, postes, etc., es manufacturar un enorme radiador y no son las ondas cortas de su montaje de dobles esferas lo que está emitiendo y recibiendo sino las ondas mucho más largas de todo su sistema. Al conectarlo a tierra usa la tierra como la segunda placa de su transmisor... De todas formas la cosa es un *gran* sistema abierto.” (George F. FitzGerald a Oliver Lodge, 30 Octubre 1897, Colección Lodge, UCL)

39. “El hombre en la calle de la ciencia,” *The Electrician* 39 (1897): 546–547.

40. Oliver Lodge a Silvanus P. Thompson, 1 Junio 1897, Colección Lodge, UCL.

41. “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 207.

42. George F. FitzGerald a Oliver Lodge, 21 Junio 1897, Colección Lodge, UCL.

43. Oliver Lodge, “Telegrafía sin hilos,” *Times*, 22 Junio 1897.

44. Lodge a Thompson, 1 Junio 1897.

45. FitzGerald a Lodge, 21 Junio 1897.

46. “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 237. Ver también *Nature* 56 (1897): 185.

47. Oliver Lodge, “Perfeccionamientos en telegrafía sin hilos sintonizada,” 11.575, Especificación provisional (aplicación 10 Mayo 1897; especificación completa 5 Febrero 1898; aceptada 10 Agosto 1898). Para la sintonía de Lodge, ver Aitken 1976, pág. 130–142.

48. Aitken 1976, pág. 285–286, nota 12. Guglielmo Marconi, “Perfeccionamientos en la transmisión de impulsos eléctricos y señales, y en los aparatos para ello,” 12.039, Especificación provisional (aplicación 2 Junio 1896). El contenido de la patente, por supuesto, se mantuvo secreto hasta que se aceptó su especificación completa el 2 Julio 1897.

49. Incluso Lodge admitía la novedad de Marconi en el sistema de goleo. Ver Oliver Lodge, “Informe al Ingeniero Jefe de los Telégrafos del Gobierno” (Junio 1900), en ADM. 116.570, Oficina Pública de Registro, pág. 5. En el mismo documento, Lodge concluye (en la pág. 25) que (lo que Marconi puede reclamar rigurosamente es lo que ha hecho que el funcionamiento del cohesor sea dependiente y dé buenas señales en el código Morse ordinario, y que él ha extendido el método extraordinariamente a grandes distancias: con el uso de la potencia adecuada, y con los medios adecuados de un hilo elevado y conectado a tierra igual que el conductor de un pararrayos.”

50. Para los comentarios de un testigo contemporáneo sobre la antena de Marconi, ver Slaby 1898, esp. pág. 870–871. Incluso Lodge admitía que la antena de Marconi era muy original.

51. FitzGerald a Lodge, 21 Junio 1897.

52. “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 431.

53. John Fletcher Moulton (1844–1921) fue el primer Prizeman de Smith y Senior Wrangler del Mathematical Tripos en Cambridge, en 1868. Pronto se convirtió en Fellow de la Royal Society debido a sus investigaciones eléctricas, y después se encargó en trabajos legales. Ver Moulton 1922; “John Fletcher Moulton,” *Diccionario de Biografías Nacionales* (1912–1921), pág. 392–394.

54. Silvanus P. Thompson a Oliver Lodge, 30 Junio 1897, Colección Lodge, UCL.

55. Fue el 20 Julio 1897, y el nombre de la compañía era “The Wireless Telegraph and Signal Company.” Para la temprana historia de la Compañía, ver W. J. Baker 1970, pág. 35 ff.

56. Bajo el sistema de patentes británico en ese tiempo, en que el controlador de la Oficina de Patentes no tenía poder sobre los contenidos de la patente, un inventor podía reclamar tantas invenciones como necesite en una única patente a su propio riesgo. En los casos de algunas invenciones nuevas, un inventor

puede falsificar deliberadamente las reclamaciones con el efecto de monopolizar el “principio” de la invención, en vez de un artefacto específico. La patente de Marconi se acerca a este caso. La fuerte patente de James Watt sobre su nueva máquina de vapor con un condensador separado es otro ejemplo. Ver “Patente”, *Encyclopedia Britannica* (Chicago, 1972), pág. 451. (La entrada “Patente” en la enciclopedia británica más reciente no ayuda a esto.) Ver también Robinson 1972.

57. Guglielmo Marconi, “Perfeccionamientos en la transmisión de impulsos eléctricos y señales, y en los aparatos para ello,” 12039 en 1896, Especificación completa. La patente también está impresa en Fahie 1899, pág. 296–320.

58. “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 665. Para el comentario de FitzGerald, ver FitzGerald a Lodge, 30 Octubre 1897.

59. Justo después de publicarse la patente de Marconi, *The Electrician* publicó una serie de artículos sobre el cohesor (incluyendo el de Lodge 1897).

60. Para este episodio, ver *Times*, 15 Agosto 1894; Lodge 1931, pág. 162–163. Incluso después de esto, Lodge solía usar el término “onda Maxwelliana”; ver e.g., Lodge 1897, pág. 89.

61. Silvanus P. Thompson, “Informe sobre patentes de telégrafos inalámbricos,” (1900) ADM. 116.570, Oficina de Registro Público, ag. 38.

62. “Notas,” *The Electrician* 39 (1897): 665.

63. “Aparatos del Dr. Lodge para telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* 39 (1897): 686–687.

64. Lodge, “Informe al Ingeniero Jefe de Telégrafos del Gobierno.”

65. John Ambrose Fleming criticó el libro de Lodge como “una perversión de hecho” (Fleming a Guglielmo Marconi, 12 Enero 1900, Archivos Compañía Marconi).

66. Oliver Lodge a William H. Preece, 4 Marzo 1898, en E. C. Baker 1976, pág. 299–300. Para la telegrafía de inducción de Lodge y Preece, ver Lodge 1898b y Preece 1898.

67. Lodge, “Informe al Ingeniero Jefe de Telégrafos del Gobierno”; Thompson, “Informe de patentes de telégrafos inalámbricos.” Thompson (pág. 36) resumía las reclamaciones de Marconi como inválidas o no esenciales.

68. Para una narración de esta política corporativa hacia 1900, ver Jolly 1972, pág. 68 ff. Ver también C. G. Robinson, “Sinopsis de informe,” (26 Septiembre 1900) ADM. 116. 570, Oficina Pública, donde el capitán Robinson sugiere una estrategia para anular la patente de Marconi reclamando la prioridad del capitán Jackson. Informe sobre los informes de Lodge y Thompson del capitán Jackson está en forma de carta, Jackson a J. A. Fischer, en ADM 116.570, Oficina de Registro Público, donde el capitán Jackson insiste que “una Oficina Gubernamental podría fallar probablemente en su demanda, si impugnaran la validez de las patentes de Marconi,” y que “la mejor política sería entrar en negociaciones con la compañía... en vez de ir a costosos litigios con ellos.”

69. La señal en código Morse de la letra S es tres puntos.

70. Oliver Lodge a Silvanus P. Thompson, 11 Abril 1902, Colección Lodge, UCL.

71. Fleming, “Telegrafía inalámbrica: Al Editor del *Times*,” *Times*, 29 Octubre 1906. Ver también los artículos de S. P. Thompson (12 Octubre 1906), Kelvin (16 Octubre 1906), y Swinton (29 Octubre 1906) bajo el encabezado de “Telegrafía Inalámbrica” en el *Times*.

72. En el presente volumen, el esquema de Eccles se reproduce en la figura 2.1.

Capítulo 3

1. “Marconi Señales a través del Atlántico,” *Electrical World* 38 (1901): 1023–1025.

2. “Telegrafía inalámbrica,” *Electrical World* 38 (1901): 1011.

3. Para la primera telegrafía trasatlántica de Marconi, ver Vyvyan 1933, pág. 23–33; Jacot y Collier 1935, pág. 62 ff; Dunlap 1937, pág. 87–102; Danna 1967, pág. 26–33; Clayton 1968 (cap. 7: “El primer mensaje inalámbrico trasatlántico”), pág. 133–150; W. J. Baker 1970, pág. 61–73; Jolly 1972, pág. 85–114; Süskind 1974; Geddes 1974, pág. 14–20; Aitken 1976, pág. 261–265; D. Marconi 1982; Usted 1991b, esp. pág. 110–112. Para la narración del propio Marconi, ver la carta de Marconi al *New York Herald*, 17 Diciembre 1901; Marconi 1903a; entrevista de Dunlap con Marconi en Dunlap 1937, pág. 94–98, *passim*.

4. Entre la literatura secundaria, sólo Vyvyan, Baker y Aitken evalúan justamente (aunque muy breve y con frecuencia incorrectamente) el papel de Fleming en el experimento de Poldhu. Baker y Aitken confían en Vyvyan, que había ayudado a Fleming en Poldhu en el invierno de 1900–01 y había prestado un manuscrito titulado *La Historia de la Telegrafía Inalámbrica Trasatlántica de Fleming* mientras preparaba Vyvyan 1933. La propia narración de Fleming se publicó brevemente en Fleming 1906, pág. 44–45, 69–70, 449–452. Puede encontrarse una narración aún más completa en un manuscrito no publicado de John Ambrose Fleming, *La Historia de la Telegrafía Inalámbrica Trasatlántica*, volumen I (manuscrito narrativo de Fleming que cubre los años 1898–1902, n.d., MS Add 122/64, Colección

Fleming, University Collage Londres. Libro de notas de Fleming del experimento de Poldhu, Libro de Notas: Experimentos en UCL y en Poldhu, UCL MS Add 122/20, Colección Fleming, es otra fuente valiosa.

5. La idea de “estilo” en la acción tecnológica (no debe confundirse con “estilo nacional” en tecnología) no ha sido muy tratada por los historiadores. Para excepciones notables ver Jenkins 1984; Pitt 1988; Ferguson 1977; Hounshell 1976. Para una discusión de varios estilos de razonamientos en ciencia, ver Hacking 1992b.

6. H. R. Kempe, “Señales a través del espacio por Marconi,” 15 Septiembre 1896, MCA HIS 64.

7. Marconi a Preece (31 Marzo 1897) MCA HIS 62.

8. John Ambrose Fleming, “Memo sobre el sistema de Marconi y Marconi,” 9 Abril 1898, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming, UCL.

9. Para la vida y obra de Fleming, ver MacGregor–Morris 1954; Hong 1994a.

10. El mensaje era: “Encantado de enviarle saludos por medio de las ondas eléctricas a través del éter desde Boulogne a South Foreland, 28 millas, y desde allí por telégrafo postal. –Marconi.” (*Times*, 30 Marzo 1899).

11. Algunos autores han sugerido que dada la experiencia de Fleming en ingeniería de potencia, Marconi eligió a Fleming como asesor científico porque su experiencia de anticiparía cuánta potencia podía aumentarse para la telegrafía inalámbrica trasatlántica. Ver W. J. Baker 1970, pág. 63, y pág. 403. Sin embargo, no he encontrado ninguna evidencia que apoye esta afirmación, que es incompatible con el intento de Marconi en 1898 de invitar a Kelvin como asesor científico y con los recuerdos de Fleming que Marconi comenzó a considerar la telegrafía inalámbrica trasatlántica a finales de 1899. Para el “rechazo” de Kelvin de la posición de asesor de Marconi, ver S. P. Thompson 1910, 2, pág. 1006.

12. John Ambrose Fleming, “Telegrafía inalámbrica: Al Editor del *The Times*,” *Times* 3 Abril 1899.

13. Oliver Lodge a John Ambrose Fleming, 11 Abril 1899, UCL. MS Add 122/66, Colección Fleming; Fleming a Lodge, 14 Abril 1899, MS Add 89/36, Colección Lodge, UCL.

14. (Copia de) Fleming a Jameson Davis, 2 Mayo 1899, MS Add 122/47, Colección Fleming, UCL.

15. (Copia de) Fleming a Jameson Davis, 2 Mayo 1899, MS Add 122/47, Colección Fleming, UCL.

16. Para la telegrafía por inducción magnética de Lodge, ver Fleming a Davis, 19 Agosto 1899, MCA; también Lodge 1898b. Para la lectura de Fleming sobre el centenario de Volta en Dover, “Lodge podría no secundar el voto de gracias.” Sobre este episodio, ver Jolly 1972, pág. 58. Sobre la lectura y demostración de Fleming, referirse a Fleming 1899b; Fleming 1934, pág. 118.

17. John Ambrose Fleming, “Informe a G. Marconi Esq. Sobre los experimentos hechos en Relés, durante los últimos cuatro meses” (informe mecanografiado entregado a la Compañía Marconi, 20 Marzo 1900), 6 ff. MCA. Ver también Fleming a Marconi, 15 Enero 1900, MCA; Fleming a Marconi, 9 Febrero 1900, MCA.

18. John Ambrose Fleming, “Unas pocas notas del N° 777 de 1900,” (informe mecanografiado entregado a la Compañía Marconi, n.d.) 6 ff. MCA. Ver también Guglielmo Marconi, “Perfeccionamientos en los aparatos para telegrafía inalámbrica,” Patente Británica 7.777 (1900). Para detalles de la patente de sintonía de Marconi, referirse al capítulo 4.

19. Para sus primeras concepciones, ver G. Marconi, “Perfeccionamientos en la transmisión de impulsos eléctricos y señales y en los aparatos para ello,” Patente británica 12.039 (Especificación provisional, 2 Junio 1896). La concepción de Marconi sobre la tierra como guía ondas parece que se originó por la influencia de John Fletcher Moulton, que ayudó a Marconi con la especificación completa de su primera patente en 1896. Moulton estudió física matemática en Cambridge, y realmente conocía las teorías Maxwellianas de las guía ondas como describe J. J. Thomson 1893. Para la posible influencia de Moulton sobre Marconi, ver Silvanus Thompson a Oliver Lodge, 30 Junio 1897, UCL MS Add 89, Colección Lodge. Para la noción de los Maxwellianos británicos de la guíaonda, ver Buchwald 1994, pág. 333–339.

20. Aún incluso que se admitiera que la onda de Marconi actuara como una onda guiada, sería diferente a una onda guiada por, por ejemplo, dos hilos paralelos, ya que hay sólo un medio para guiar la onda (es decir, la tierra) en el caso de Marconi. Debido a esto su transmisión a larga distancia tenía que depender esencialmente de la potencia de radiación y la sensibilidad de los detectores.

21. Para Marconi, ver “Recientes trabajos de Marconi en telegrafía inalámbrica,” *Electrical World* 33 (1899): 608. Para el comentario de Silvanus Thompson, ver *Electrical World* 33 (1899): 44. Thompson había dado argumentos para la telegrafía inalámbrica a larga distancia en S. P. Thompson 1898, pág. 459. Thompson no daba ninguna razón para que la onda pudiera ir por debajo de la curvatura de la tierra, pero George FitzGerald pensaba que la difracción de las ondas largas en el borde de la tierra podía hacer que viajaran alrededor del mundo. Para esto ver George FitzGerald a Oliver Heaviside, 7 Mayo 1899, en Nahin 1988, pág. 273. Para la entrevista del amigo de Marconi en el *Pall Mall Gazette*, ver *Electrical World* 33 (1899): 583.

22. Fleming a Marconi, 23 Agosto 1899, MCA.

23. Fleming, Historia de la Telegrafía Inalámbrica Transatlántica, volumen I (de aquí en adelante se citará como Fleming, Historia).
24. Para la difícil situación financiera de la compañía y la tensión entre Marconi y la dirección, ver W. J. Baker 1970, pág. 62–63; Geddes 1974, pág. 14. En aquel tiempo, *Electrical Review* anunció que la telegrafía inalámbrica de Marconi era realmente práctica, pero que no daba beneficios a sus inversores; “La posibilidad comercial de la telegrafía inalámbrica,” *Electrical Review* 46 (1900): 337–338. La demostración sintonica de Marconi a los miembros de la dirección está descrita en J. A. Fleming, “Recientes avances en telegrafía inalámbrica. Al Editor del *The Times*,” *Times*, 4 Octubre 1901. Incluso en Septiembre de 1900, Flood-Page intentó persuadir a Marconi para que experimentara primero con transmisiones a distancias moderadas, por ejemplo, entre Inglaterra y España. Flood-Page, “Memorandum,” 19 Septiembre 1900, MCA.
25. Fleming a Marconi, 3 Mayo 1900, MCA.
26. Fleming a Flood-Page, 2 Julio 1900, en Fleming, Historia, pág. 7. Aunque Fleming conjeturó que “con esta inversión [1.000 libras] podríamos tener una planta que nos permitiría resolver la cuestión de la telegrafía de muy larga distancia,” el gasto total para este experimento fue de 50.000 libras.
27. Fleming a Flood-Page, 18 Julio 1900, en Fleming, Historia, pág. 11.
28. Cada condensador consistía de 12 placas de vidrio (16 x 16 pulgadas) alternadas con placas de cinc, todas ellas inmersas en una caja de madera llena de aceite de linaza. El condensador se diseñó para resistir un voltaje extremadamente alto. Ver Fleming, Historia, pág. 14.
29. Si la chispa de 2 pulgadas corresponde a 100.000 voltios, la potencia almacenada en un condensador de 0,02 microfaradios sería aproximadamente de 30–50 kW, en el rango de un alternador con una frecuencia de 30–50 Hz. El sistema necesitaba almacenar la mayor energía posible en el condensador. Aunque la energía almacenada en un condensador cargado es proporcional a su capacitancia y al voltaje aplicado ($E = CV^2/2$), la capacitancia no puede aumentarse por encima de un cierto límite (por ejemplo 0,033 microfaradios) debido a la dificultad de sintonizar el circuito de descarga con una antena de una capacidad mucho más pequeña; la alternativa era aumentar el voltaje aplicado.
30. Fleming, Historia, pág. 24. Fleming primero concibió el sistema de doble transformación en Julio de 1900. Ver Flood-Page a Fleming, 25 Julio 1900, en *Ibid.*, pág. 19. Para lo que pensaba Marconi sobre la chispa de 2 pulgadas, ver *ibid.*, pág. 23.
31. El uso de dos condensadores de diferentes capacitancias era un aspecto esencial del sistema de doble transformación de Fleming. Agradezco a Jed Buchwald su ayuda para aclarar este punto. Para el reconocimiento contemporáneo del sistema de doble transformación de Fleming, ver Poincaré y Vreeland 1904, pág. 154.
32. Para los trabajos de Fleming en ingeniería de potencia, ver Hong 1995a, b.
33. John Ambrose Fleming (con Marconi Wireless Telegraph Co.), “Perfeccionamientos en los aparatos para la producción de oscilaciones eléctricas,” patente británica 18.865, 22 Octubre 1900. El uso de un alternador y un transformador para crear oscilaciones de alta frecuencia había sido intentado por Elihu Thomson en la década de 1890. El diseño de Fleming de un mecanismo de brazo giratorio era similar en varios puntos al diseño de Thomson, y es posible que haya sido influido por el último. Para el sistema de Elihu Thomson para crear potentes oscilaciones, ver Thomson 1899.
34. Fleming a Marconi, 9 Noviembre 1900, MCA.
35. Fleming a Marconi, 14 Noviembre 1900, MCA. Ver también John Ambrose Fleming (con Marconi Wireless Telegraph Co.), “Perfeccionamientos en aparatos para hacer señales con telegrafía inalámbrica,” patente británica 20.576, 14 Noviembre 1900.
36. John Ambrose Fleming (con Marconi Wireless Telegraph Co.), “Perfeccionamientos en aparatos para telegrafía inalámbrica,” patente británica 22.106, 5 Diciembre 1900.
37. John Ambrose Fleming (con Marconi Wireless Telegraph Co.), “Perfeccionamientos en los métodos para producir ondas eléctricas,” patente británica 24.825, 5 Diciembre 1900.
38. Fleming a Marconi, 26 Noviembre 1900, MCA.
39. Primer bosquejo de Fleming a Flood-Page, 23 Noviembre 1900, UCL MS Add. 122/47, Colección Fleming.
40. Segundo bosquejo de Fleming a Flood-Page, 23 Noviembre 1900, UCL MS Add. 122/47, Colección Fleming.
41. Fleming, Historia, pág. 27. Sobre la petición de Fleming, ver Flood-Page a Marconi, 29 Noviembre 1900, MCA; Flood-Page a Fleming, 1 Diciembre 1900, UCL MS Add. 122/47, Colección Fleming; Fleming a Flood-Page, 3 Diciembre 1900, UCL MS Add 122/47, Colección Fleming. Para las patentes de Fleming, ver las especificaciones de la patente en las notas 42 y 43.
42. Marconi a Fleming, 10 Diciembre 1900, UCL MS Add 122/47, Colección Fleming.
43. Fleming a Marconi, 13 Diciembre 1900, MCA.
44. Diario de G. S. Kemp (1900–01), III, pág. 153, manuscrito mecanografiado, MCA.

45. John Ambrose Fleming, *Libro de Notas: Experimentos en UCL y en Poldhu*, 26–29 Enero 1901, UCL MS Add 122/20, Colección Fleming (de aquí en adelante se cita como Fleming, Libro de Notas).
46. El 15 de Febrero de 1901, Fleming escribió a Marconi: “Todavía no estoy seguro si habrá muchas o pocas dificultades para obtener la chispa oscilante de 2 pulgadas que Ud. necesita.” (MCA)
47. John Ambrose Fleming (con Marconi Wireless Telegraph Co.), “Perfeccionamientos en aparatos para telegrafía inalámbrica,” patente británica 3.481, 18 Febrero 1901).
48. Fleming, *Historia*, pág. 29. Ver también Fleming a Marconi, 27 Febrero 1901, MCA.
49. John Ambrose Fleming, “Recomendaciones respecto a la Estación de Potencia Marconi en los Estados Unidos,” 20 Febrero 1901, pág. 8 ff; “Recomendaciones suplementarias respecto al alternador para la estación de los EE.UU.,” (1 Marzo 1901), 2 ff. MCA. Diario de Kemp, pág. 160.
50. Fleming a Marconi, 19 Febrero 1901, MCA; Fleming a Marconi, 27 Febrero 1901, MCA. Tesla había estado planeando la transmisión trasatlántica de señales desde 1899, pero comenzó a construir la famosa torre Wardencliff a principios de 1901. Ver “Notas,” *The Electrician* 43 (1899); “Telegrafía inalámbrica de Tesla,” *Electrical Review* 48 (1901): 306. Sobre la conexión entre Tesla y Morgan, ver Seifer 1985.
51. Fleming, *Libro de notas*, 17 Abril 1901, miércoles. También en el diario de Kemp (pág. 166).
52. La “corriente sin potencia” en AC es una componente de la corriente primaria que se retrasa 90° detrás del voltaje primario. La otra componente 90° adelantada al voltaje se le llama “corriente de potencia.” Por tanto, la corriente total primaria $I = (I_{\text{watt}}^2 + I_{\text{wattless}}^2)^{1/2}$, $I_{\text{watt}} = I \cos\phi$, y $I_{\text{wattless}} = I \sin\phi$, donde ϕ es la diferencia de fase entre la corriente y el voltaje. Para los conocimientos de Fleming con esta técnica en ingeniería de potencia, ver Hong 1995a.
53. Fleming, *Libro de Notas*, 18–19 Abril 1901 (sin paginar)
54. Fleming, *Historia*, pág. 35.
55. Fleming, *Libro de Notas*, 28 Mayo 1901 (sin paginar).
56. Fleming, *Libro de Notas*, nota del 5 de Junio (sin paginar). Para el trabajo de Fleming en los condensadores, ver Fleming a Marconi, 3 Junio 1901; 13 Junio 1901, MCA. Para la comunicación entre Poldhu y Sta. Catherine, Fleming a Marconi, 21 Junio 1901, MCA.
57. Para la comunicación con Crookhaven, ver G. S. Kemp, 29 Junio 1901, MCA. Kemp había creado varios códigos para la calidad del mensaje recibido, que más tarde se usaron ampliamente. MM significa “absolutamente,” M para “rojo” o “perfecto,” Q para “encarnado” o “bueno pero con faltas”, S para “amarillo” o “parcialmente legible,” I para “verde” o fuerte pero ilegible,” 2 para “índigo” o “débil,” y 3 para “violeta” o “nada.” En aquel tiempo, prevalecía el término ‘aérea’ en vez de ‘antena’.
58. Para el experimento de Julio, ver Fleming, *Libro de Notas*, “Emisión a Crookhaven,” 4 Julio 1901 (sin paginar).
59. Fleming, *Libro de Notas*, 5 Julio 1901 (sin paginar).
60. “La historia de las señales trasatlánticas por el propio Marconi” (extracto de “The Weekly Marconigram” (manuscrito fechado el 25 de Junio de 1903; MCA HIS 74, pág. 2).
61. Fleming, *Libro de Notas*, 8 Julio 1901, y páginas bajo el encabezado de “Experimentos en Poldhu 10 Julio 1901”; Kemp, *Diario*, pág. 178. Las varias especificaciones provisionales del sistema de doble transformación de Fleming, rellena en 1900 y principios de 1901, no menciona en absoluto la sintonía. Sólo en la especificación completa de su patente 20.576, presentada el 10 Agosto 1901, Fleming comienza a mencionar la sintonía entre los tres circuitos.
62. Fleming, *Historia*, pág. 38.
63. Marconi también detectó señales con sus cohesores ordinarios en Crookhaven. Si el nuevo cohesor era unas diez veces más eficiente que los ordinarios, esto haría factible la transmisión a 2000 millas (Fleming, *Historia*, pág. 42). Sin embargo, debido a este nuevo cohesor Marconi se vio envuelto más tarde en una amarga controversia sobre quién lo inventó (Phillips 1993). Phillips demostró que este cohesor realmente funcionaba como un rectificador, a diferencia de los cohesores ordinarios.
64. Marconi a Entwistle, 22 Noviembre 1901, citado en “La historia de las señales trasatlánticas por el propio Marconi,” MCA.
65. “Experimentos en telegrafía inalámbrica,” *Electrical World* 38 (1901): 990. Vyvyan (1933, pág. 29) recordó que Marconi mantuvo en secreto su objetivo real porque “si declaraba su propósito por adelantado y fracasaba, desacreditaría su sistema en su enfoque más modesto, mientras que si tenía éxito sería aún mucho mayor debido a ser totalmente inesperado.”
66. Se eligió la letra S (es decir, · · ·) por el defecto antes mencionado en el sistema de Poldhu por el cual al presionar el manipulador durante el tiempo necesario para hacer las rayas aparecía un peligroso arco en el chispero. (Ver Marconi 1908, pág. 114). Justo antes del éxito en Diciembre de 1901, Marconi contó al *New York Sun* que “la letra de prueba se cambiaba cada semana, y cuando se recibió el mensaje trasatlántico en Terranova sucedió que le tocaba telegrafiar la S” (*Electrical World* 39, 1902): 24.
67. Para la narración del propio Marconi de la recepción de la señal, repetida en mucha literatura secundaria, ver Dunlap 1937, pág. 94–98. Ver también D. Marconi 1982, pág. 90–94; Hancock 1974, pág.

34. Hay diferentes opiniones relacionadas con la longitud de onda que usó Marconi. En varios sitios, Fleming la estimó entre 700–1000 metros, pero H. M. Dowsett, un ingeniero de la Compañía Marconi, dio 366 metros como la longitud de onda usada en su prueba de Junio de 1901. (Ver W. J. Baker 1970, pág. 68.) El ingeniero de radio Edwin Howard Armstrong una vez hizo un interesante comentario sobre esta publicación. En su carta a H. J. Round, un anterior ingeniero de la Compañía Marconi, Armstrong escribió: “Aparentemente nadie ha dado ningún valor consistente con respecto a eso, y supongo que la respuesta es si lo estamos suponiendo como debe ser, aunque probablemente con menos conocimientos fundamentales que hacen los que la suponen.” E. H. Armstrong a H. J. Round (16 Abril 1951), Papeles de Armstrong, Universidad de Columbia, Nueva York. La longitud de onda no era importante en la recepción de la señal. Porque con el balanceo de la cometa, que causaba variaciones en la capacitancia, Marconi abandonó el sistema sintonizado por otro no sintonizado con un cohesor de mercurio. Un cálculo moderno arroja dudas sobre la recepción de señales por Marconi con su receptor no sintonizado al mostrar que su cometa no sintonizada (500 pies) sólo podía responder a frecuencias superiores a 5 MHz. (una longitud de onda inferior a 60 metros). Ver Ratcliffe 1974a, b. Sin embargo, para los historiadores, lo que les interesa más que estas estimaciones técnicas es examinar cómo se construyó la autoridad y autenticidad de la declaración de Marconi –un tema sobre el que es más necesaria una investigación más amplia.
68. Para las varias reacciones de profesionales y no profesionales a la declaración de Marconi, ver Danna 1967, pág. 40–61. El fuerte apoyo de Elihu Thomson a Marconi contribuyó grandemente a cambiar las opiniones de los ingenieros de los EE.UU. Para esto ver D. Marconi 1982, pág. 103.
69. Para un pasaje similar, ver Woodbury 1944, pág. 235.
70. Fleming, *Libro de Notas*, página bajo el encabezado “Dicbre, 1901.”
71. Para la entrevista de Marconi en el *New York Herald*, ver “Señales de Marconi a través del Atlántico,” *Electrical World* 38 (1901): 1023–1025. Para la cena en el AIEE ver “La cena anual del Instituto y el Sr. Marconi,” *Electrical World* 39 (1902): 124–126. Para la mención de Marconi a Fleming en su discurso en el AIEE, ver Marconi 1903a, pág. 99. Para el discurso de Marconi en Gran Bretaña, ver Marconi 1902a, Para los reportajes populares contemporáneos en los que se ignoró la contribución de Fleming, ver McGrath 1902; Baker 1902.
72. “Notas,” *The Electrician* 48 (1902): 761–762.
73. Como se discutió en el capítulo 2, el principal punto de Thompson era probar que el inventor de la telegrafía inalámbrica fue Oliver Lodge, no Marconi. Sobre la disputa de prioridad del cohesor de la Marina Italiana, ver Phillips 1993.
74. Marconi a Fleming, 19 Mayo 1902, UCL MS Add 122/47, Colección Fleming.
75. (Copia de) Fleming a Marconi, 21 Mayo 1902, UCL MS Add 122/47, Colección Fleming.
76. Para la ansiedad de Marconi sobre las alteraciones de Fleming, ver Marconi a H. Cuthbert Hall, 29 Junio 1902, Colección Privada Gioia Marconi Braga. Para el experimento de Julio, ver Fleming, *Libro de Notas*, 4–7 julio 1902. Para la recepción por Marconi de las señales en el Carlo Alberto, ver Solari 1902. Para la demostración de Marconi para el Emperador Ruso, ver Aitken 1976, pág. 295, n. 83.
77. Marconi a H. Cuthbert Hall, 22 Agosto 1902. Colección Privada Gioia Marconi Braga. También en Douglas 1987, pág. 36, nota 14.
78. Marconi a H. Cuthbert Hall, 22 Agosto 1902, Colección Privada Gioia Marconi Braga. Para la ira de Marconi contra Fleming, ver Marconi a H. Cuthbert Hall, 2 Octubre 1902, Colección Privada Gioia Marconi Braga.
79. Marconi a Fleming, 2 Febrero 1903; (copia de) Fleming a Marconi, 10 Febrero 1903, UCL MS Add 122/47, Colección Fleming.
80. Fleming a Lodge, 29 Agosto 1937, en UCL MS Add 89/36 Colección Lodge.
81. Para la educación e investigación de Fleming en Cambridge, ver Hong 1994a, sección 1.2.
82. Para la mejor descripción de la metodología de Marconi, ver Aitken 1976, pág. 179–297. Entre las declaraciones del propio Marconi, Marconi 1901 es la fuente más importante que muestra la creatividad de Marconi en el diseño. Ver también Fleming 1937, pág. 57.
83. “Aunque es fácil de describir,” Fleming anotó una vez (1900, pág. 90), “se requiere una gran destreza y habilidad para hacer la sintonía requerida [con el “jigger” de Marconi].”
84. Ferguson (1977) caracteriza el método intuitivo y habilidad de los ingenieros con el término de “el ojo de la mente.” Para Watt, Brindley y Brunel, ver Smiles 1904 y Hughes 1966. Para Crompton, ver Bowers 1969. Para Ferranti, ver Hughes 1983, pág. 237–246.
85. Marconi a Fleming, 19 Mayo 1902, UCL MS Add 122/47 Colección Fleming.
86. Para el establecimiento de la credibilidad profesional de Fleming, ver Hong 1995a, b.

Capítulo 4

1. El fenómeno de la resonancia múltiple fue descubierto por primera vez por los físicos suizos E. Sarasin y Lucien de la Rive. En la base de su descubrimiento, afirmaron que la onda generada por el dispositivo Hertziano estaba compuesta de ondas heterogéneas (como la luz blanca está compuesta por varias ondas heterogéneas) dispersas en un rango muy amplio de frecuencias. Hertz atribuyó esta anomalía a la amortiguación de la onda con una frecuencia definida. Para la discusión de la resonancia múltiple, ver Aitken 1976, pág. 70–73.
2. Lodge a Thompson, 14 Abril 1897, University College Londres (UCL).
3. Oliver Lodge, “Perfeccionamientos en la telegrafía sin hilos sintonizada.” Patente británica 11575 (solicitud 10 Mayo 1897; especificación completa 5 Febrero 1898; aceptada 10 Agosto 1898).
4. Guglielmo Marconi, “Perfeccionamientos en la transmisión de impulsos y señales eléctricas y los aparatos para ello.” Patente británica 12039. Fecha de presentación, 2 Junio 1896; especificación completa, 2 Marzo 1897; aceptada 2 Julio 1897. El 10 de Noviembre Marconi escribió: “Las vibraciones etéreas afectan a los conductores en el receptor (que deben estar *sintonizados eléctricamente* con el transmisor).” (Marconi a Preece, 10 Noviembre 1896, MCA HIS 62)
5. El papel de Lodge no se publicó en las *Actas de la Sociedad de Física*, pero está descrito ampliamente en Lodge 1898a.
6. Después de conocer el público las pruebas de la patente de sintonía de Lodge, Marconi borró estas dos reclamaciones cuando rellenó su especificación completa. Marconi pensaba que su “acoplamiento inductivo” en los receptores “no sólo mejora la señal sino que también impide en gran medida cualquier interferencia debido a la influencia atmosférica.” Marconi, “Perfeccionamientos en los aparatos empleados en la telegrafía inalámbrica,” 12326 (especificación provisional, 1 Junio 1898).
7. Para una descripción del experimento, ver Marconi 1901, pág. 509.
8. Diario de G. S. Kemp, volumen I (1897 a 1898), pág. 41ff (MCA).
9. Lodge (1894, pág. 325) explica: “Si las cubiertas de la jarra están separadas a gran distancia, para que el dieléctrico esté más expuesto, radia mejor... Al separar las cubiertas de las jarras lo más posible tenemos un vibrador típico de Hertz, cuyo dieléctrico se extiende hacia la habitación, y este radia con mucha potencia.”
10. G. Marconi, “Perfeccionamientos en los aparatos para telegrafía inalámbrica,” 537 (aplicación 21 Marzo 1900; especificación completa 21 Enero 1901; aceptada 21 Junio 1901).
11. G. Marconi, “Perfeccionamientos en los aparatos para telegrafía inalámbrica,” Patente británica 7.777 (solicitud 26 Abril 1900; especificación completa 25 Febrero 1901; aceptada 13 Abril 1901).
12. Si se resuelve la serie de complejas ecuaciones diferenciales que controlan un circuito acoplado (como había hecho V. Bjerknes 5 años antes del logro tecnológico de Marconi), se encuentra que el sistema, dada una cierta condición, generan ondas prácticamente continuas. Ver Bjerknes 1895.
13. Diario de G. S. Kemp, volumen I (1899 a 1900), pág. 105–111 (MCA).
14. A principios de 1901, Marconi consiguió transmitir a 180 millas con su sistema inalámbrico sintonizado entre St. Catherine y Lizard.
15. F. Braun, “Perfeccionamientos relacionados con la transmisión de señales eléctricas telegráficas sin hilos de conexión.” Patente británica 1862 (solicitud 26 Enero 1899; especificación completa, 23 Octubre 1899; aceptada 6 Enero 1900).
16. Fleming a Marconi, 20 Febrero 1901.
17. John Ambrose Fleming, “Unas pocas notas sobre la N° 7777 de 1900,” (escrito en Febrero de 1901). MCA.
18. Fleming a Marconi, 9 Junio 1911, MCA.
19. Ver capítulo 3.
20. Fleming, “Recientes avances en telegrafía inalámbrica: Al Editor del *The Times*.” *Times*, 4 Octubre 1900. Fleming menciona otra vez los experimentos de una influyente Lectura Cantor en la Sociedad de las Artes (Fleming 1900, pág. 90–91).
21. *Electrical World* 38 (1901), Octubre, pág. 596.
22. *The Electrician*, 17 Enero 1902.
23. *The Electrician*, 28 Febrero 1902.
24. Este anuncio fue muy inusual, ya que todavía no estaba totalmente garantizada la patente del detector magnético. Marconi sólo había presentado una especificación provisional en Mayo de 1902. Nadie antes de Marconi había dado publicidad a una invención antes de haber sido aceptada su especificación completa.
25. *The Electrician* 50 (1902), Octubre 24.
26. Ibid.
27. *Times*, 22 Septiembre 1901.

28. No he sido capaz de localizar una fuente biográfica fiable de Nevil Maskelyne. La información en este párrafo se ha recogido de varios diarios de ingeniería y periódicos del día. La biografía de Marconi de Jolly (Jolly 1972) menciona la colaboración de Maskelyne con Hozier para Lloyd's.
29. *The Electrician*, 7 Noviembre 1902.
30. *The Electrician*, 21 Noviembre 1902.
31. "Anglo-American Cable: Competencia inalámbrica," *Telegraph* (3 Febrero 1903); "El futuro de la telegrafía inalámbrica: el Sr. Marconi responde al coro de chilladores -¿Puede pincharse un mensaje?," *St. James Gazette* (9 Febrero 1903); Nevil Maskelyne, "El pinchazo de los Marconigramas," *St. James Gazette* (11 Febrero 1903).
32. Fleming, "Estaciones de potencia y telegrafía inalámbrica barco-costa: Carta al Editor del *The Times*." *Times* 14 Abril 1903.
33. Para una discusión de la credibilidad y testigo en la ciencia moderna, ver Shapin y Schaffer 1985.
34. *Daily Telegraph*, 25 Marzo 1903.
35. *The Electrician*, 29 Mayo 1903, pág. 235.
36. *The Electrician*, 12 Junio 1903, pág. 315.
37. Ver Maskelyne 1903a, pág. 358. Es una interesante colección del asunto Maskelyne en el IEE. Es una colección de recortes de periódicos y revistas publicados en 1903 relacionados con las interferencias de Maskelyne. *Wireless Telegraphy* (recogidos por Emily J. Sharman, 1903) S. C. Mss 17, IEE Londres.
38. El Mensaje que transmitió Maskelyne, "rats", tiene un significado cultural. Durante las Guerras Boer (1899-1902), el Ejército Británico bombardeó fuertemente las trincheras Boer, y al preguntarles por medio de un heliógrafo, lo que sentían ante el poder de las granadas británicas. La respuesta que envió el ejército Boer, por medio del heliógrafo fue "rats." Tras esto, esta palabra simbolizaba "un aviso contra el abrumador orgullo" (Austin 1903).
39. Los recuerdos de Blok difieren un poco de la entrevista de Maskelyne con el *Daily Express* poco después del asunto ("Pinchazo fantasma," *Daily Express*, 13 Junio 1903). Maskelyne dijo que un observador de su parte se dio cuenta que, tras el inicio del mensaje "rats," el operador sacó la cinta, la enrolló en una bola, y la tiró." Maskelyne dijo después que "Fleming tenía el instrumento Morse apagado, y los siguientes mensajes se recibieron con un teléfono." Admitió que envió unas pocas líneas de *Henry V* y *El Mercader de Venecia* de Shakespeare, pero nunca mencionó la mala poesía burlona.
40. Según Jacot y Collier (1935), el hijo de Nevil Maskelyne, Jasper, recordó que Maskelyne apostó con Fleming que podía molestar a la reunión. Sin embargo no se encontró ninguna evidencia que apoyara esta afirmación.
41. Fleming a Marconi, 5 Junio 1903, MCA.
42. Fleming a Marconi, 6 Junio 1903, MCA.
43. "Vándalos científicos," *Daily Telegraph*, 12 Junio 1903. Un chico de 15 años con el sobrenombre de Bruce aparentemente había ayudado a Maskelyne en ese tiempo. En 1959 afirmó categóricamente que las transmisiones de radio genuinas se habían hecho desde la azotea del Teatro Egipcio (F. Shore a G. G. Hopkins, 22 Abril 1959, MCA).
44. John Ambrose Fleming, "Telegrafía inalámbrica en la Royal Institution: Al Editor del *The Times*," *Times*, 11 Junio 1903.
45. "Vándalos científicos," *Daily Telegraph*, 12 Junio 1903. Ver también la entrevista con C. Hall en "Ratas inalámbricas," *Morning Leader*, 12 Junio 1903.
46. Nevil Maskelyne, "Telegrafía Inalámbrica: Al Editor del *The Times*," *Times*, 13 Junio 1903.
47. "Pinchazo fantasma," *Daily Express* 13 Junio 1903.
48. Fleming, "Telegrafía inalámbrica en la Royal Institution: Al Editor del *The Times*," *Times*, 16 Junio 1903. Aquí menciona Fleming que Maskelyne "hizo una suposición gratuita y errónea que los aparatos que yo estaba usando eran aparatos sintonizados" y "los experimentos no eran en ningún sentido una exhibición de la fiabilidad y eficacia de la sintonía de Marconi."
49. "Gamberrismo científico," *St. James Gazette*, 13 Junio 1903; Nevil Maskelyne, "Telegrafía inalámbrica en la Royal Institution," *Times*, 18 Junio 1903.
50. Charles Bright, "Al Editor del *The Times*," *Times*, 16 Junio 1903.
51. *Electrical Review* 19 Junio 1903.
52. "Nueva maravilla inalámbrica: Cuestiones para el Sr. Marconi," *Morning Advertiser*, 10 Julio 1903.
53. "The Daily Wireless," *Punch* 124 (1903), 1 Julio, pág. 453.
54. La razón por la que Fleming inicialmente pidió un salario modesto en 1899 fue que consideraba su asesoría a Marconi como una posición a tiempo parcial en la que no gastaría muchas energías ni tiempo. Ver (copia) Fleming a Jameson Davis, 2 Mayo 1899, UCL. Ver también el capítulo 3.

Capítulo 5

1. Ver, e.g., Sharp 1921; White 1943; Shiers 1969.
2. Para el descubrimiento de la sombra fantasma en el laboratorio de Edison en Menlo Park, ver W. J. Hammer, Memorando, fecha 3 Octubre 1884, 6 páginas, MS, Colección Hammer, Smithsonian Institution, Washington DC; F. Jehl, *The “Edison Effect” Tube*, Colección Hammer. Ver también Josephson 1959, pág. 274–275.
3. Para la utilización del efecto, ver Jonson 1960, pág. 766–770; White 1943; Thackeray 1984. Para la patente de Edison del regulador de voltaje, ver T. A. Edison, “Indicadores eléctricos,” patente USA 307.031. 21 Octubre 1884.
4. Fuentes de citas: Jonson 1960, pág. 767; “Un fenómeno de la lámpara Edison,” *Engineering* 38, 1884: pág. 553; Houston 1884, pág. 2. Sin embargo, Houston (ibid., pág. 3) escribió también: “Podría decir también que no estoy totalmente convencido con los pocos experimentos que he hecho, de la existencia de una corriente [en la conexión negativa]. La desviación de la aguja del galvanómetro, cuando se conecta al terminal negativo, es muy débil. No obstante estoy seguro que se han observado desviaciones reales.”
5. William Crookes argumentó que la materia radiante, proyectada desde la superficie del cátodo, consistía de rayos catódicos. La materia radiante, que no es sólida, no líquida, ni gaseosa, está cargada negativamente y viaja a una enorme velocidad. Para la materia radiante de Crookes, ver Crookes 1879; Woodruff 1966; DeKosley 1976. Antes de Crookes, Cromwell Varley en Gran Bretaña (en 1871) y Eugen Goldstein en Alemania (en 1876) sugirieron que los rayos catódicos consistían de partículas de materia cargadas negativamente. Ver Anderson 1964.
6. William Spottiswoode hizo una serie de experimentos sobre la descarga en gases rarificados a finales de la década de 1870 y principios de la década de 1880. Llegó a la conclusión en 1880 que “la electricidad negativa en el tubo... adelanta al chorro molecular” (Spottiswoode 1880).
7. Oliver Lodge leyó un papel sobre la creación de niebla en la reunión de la Asociación Británica para el Avance de las Ciencias en Septiembre de 1884, que tuvo lugar en Montreal, al que Preece asistió antes de su visita a los Estados Unidos.
8. Ver Preece 1885. Para el trabajo de Preece sobre el efecto Edison, ver Tucker 1981–82, pág. 125–125.
9. Las mediciones y cálculos de Preece eran la práctica estándar en la telegrafía, especialmente cuando se quería comprobar si un cable estaba cortado en un sitio o no. Ver tablas de Preece 1885, pág. 221–229.
10. En 1884, Fleming vistió los EE.UU. después de la reunión anual de la Asociación Británica en Montreal, y se encontró con Edison en Nueva York. Aunque Fleming visitó la Estación Central Pearl de Edison, aparentemente no oyó hablar a nadie del efecto Edison. Incluso el segundo papel de Fleming, leído en la Sociedad de Física en Junio de 1885, no menciona los trabajos de Preece que leyó ante la Royal Society unos meses antes. Para el trabajo de Fleming en Nueva York, ver Hong 1994a, pág. 63.
11. Debido a la dificultad en la construcción de lámparas especiales, los físicos hicieron un experimento del efecto Edison con un tubo de rayos catódicos que tenía un cátodo de carbón. Ver e.g., Crookes 1894a, pág. 21–25. Arthur Schuster (1890, pág. 532) comentó que el efecto Edison era un fenómeno que “había recibido cierta atención por los *electricistas* (no físicos).” Julios Elster y Hans Geitel hicieron una serie de experimentos en la década de 1880 sobre la medición de la diferencia de potencial entre un ánodo de placa u un cátodo metálico caliente, estando ambos encerrados en un tubo de vidrio lleno de un gas rarificado o al vacío; ver e.g., Elster y Geitel 1887.
12. Para la propuesta de Fleming del Laboratorio Nacional de Estandarización, ver Fleming 1885b.
13. Para la investigación de Fleming en estándares fotométricos y filamento de carbón, ver J. A. Fleming, “Experimentos con filamentos de carbón”, 1887 en *Experimentos con filamentos de carbón, voltímetros, etc.* (Edison & Swan United Electric Light Co., Ponders End), MS Add 122/8, UCL, Colección Fleming. “Pruebas con el filamento de carbón” (1887 – 1889), MS Add 122/9 UCL Colección Fleming.
14. En esta base, Fleming (1890a, pág. 120) anotó que “cuando la lámpara se alimenta con corriente alterna se observa una corriente continua que fluye a través del galvanómetro” conectado entre la placa y el polo positivo del filamento. Sin embargo, este tipo de rectificación tenía poco uso práctico, y que únicamente transformaba una fuerte corriente alterna en una débil corriente continua.
15. La moderna tecnología del vacío comienza con Johann Geissler, un fabricante de instrumentos de Bonn que inventó una bomba de vacío de mercurio en 1858. A principios de la década de 1800, el vacío de la lámpara de Edison, se preparó con la bomba de Geissler, que normalmente daba alrededor de 10^{-6} atmósferas de presión, que se consideraba óptimo para las lámparas comerciales. Crookes, con la bomba Sprengel, creó el mejor vacío de 10^{-7} atmósferas en 1876, y Gimmingham usó una bomba Sprengel modificada según diseño propio cuando obtuvo un vacío de 10^{-8} en 1884. Para el perfeccionamiento en la

tecnología del vacío en la década de 1880 ver Thompson 1887–88. Creo que la contribución de Charles Gimingham fue esencial para Fleming. Gimingham, un experto en la construcción de las lámparas, era un técnico de la Compañía Edison-Swan. Era universitario como Fleming, y le proporcionó varas lámparas especiales para la posterior investigación sobre el efecto Edison. Para la obra de Gimingham ver DeKosky 1983, pág. 17.

16. Ver también Guthrie 1873, Fleming recordó más tarde que “Guthrie hizo una primera excursión en el campo de investigación, a saber, la emisión termoiónica, que tuvo avances tan importantes unos años más tarde” (Fleming 1924, pág. 20). Para la educación de Fleming en el South Kensington School, ver Hong 1994a, pág. 13–16.

17. Para la teoría Maxwelliana de la conductividad, ver Buchwald 1985, pág. 30–32. Para los experimentos de Fleming con un condensador y una Célula Clark, ver Fleming 1890b, pág. 43–44.

18. Para esta historia, ver Hong 1994a, pág. 17–21.

19. En la teoría Maxwelliana, como Buchwall (1985) ha demostrado tan bien, el examen de la conductividad de una sustancia dada era muy importante, aunque tácito, era estratégico para probar su carácter eléctrico. La teoría Maxwelliana consideraba la corriente de conducción como, en efecto, una convergencia de energía de campo en el circuito. El propio Maxwell se había interesado mucho en la primera observación de Schuster (1874) de lo que se llamaba “conductividad unilateral” (acuñado por Schuster), que ocurre cuando una fuente de CA se aplica a un circuito de hilos de cobre separados por una fina separación de aire. Este problema era tan grave que, de hecho, George Cristal, bajo la dirección de Maxwell, probó, y de hecho abolió, la conductividad unilateral de Schuster. Cristal demostró convincentemente que la “conductividad unilateral” en el circuito de Schuster era un artefacto instrumental atribuible a una propiedad del tipo particular del galvanómetro usado (Schuster 1874; Cristal 1876). Es muy posible que Fleming se familiarizara con el término cuando estuvo en el Laboratorio Cavendish.

20. Fleming (1896, pág. 231) dijo que este experimento no tuvo éxito.

21. Para los recuerdos de Fleming después de 1920, ver Fleming 1923a; Fleming 1923b (Creo que Hasok Chang para esta referencia); Fleming 1934, pág. 140–142.

22. Para el detector magnético de Marconi, ver O’Dell 1983. Para los detectores electrolíticos, ver Phillips 1980, pág. 65–84. Para el sistema de Lodge, ver “Los aparatos de telegrafía inalámbrica militares Lodge-Muirhead,” *The Electrician* 51 (1903), 16 Octubre: 1036–1037.

23. Para la investigación de Fleming en 1903–04, ver Hong 1994a, pág. 263–265.

24. Algunos de los instrumentos medidores, como el termogalvánometro de Duddell, se usaron realmente como detectores. Ver Duddell 1904.

25. Para el detector magnético de Rutherford, ver Rutherford 1897. Para el detector magnético de Marconi, ver Marconi 1902b. Para los trabajos de Fleming y Blok, ver A. Blok, “*Experimentos de Rutherford y una modificación*” (Octubre 1902) y *E. Mag, de las corrientes oscilantes* (Noviembre 1902), en el Laboratorio Bookm Vol. I UCL MS Add 122/21 Colección Fleming, pág. 74–90.

26. Ver también Fleming 1903a, pág. 762.

27. Para los comentarios del propio Fleming sobre su dispositivo, ver Fleming 1906a, 383–385.

28. Los dinamómetros de CA, que estaban calibrados para leer el valor cuadrático medio de corriente i , realmente medían el valor cuadrado i^2 . De esta forma, cuando la corriente cae de 1 a 10^{-3} amperios (1 miliamperio), la escala que indica la aguja del instrumento cae de una división de la escala que corresponde de 1 amperio a 10^{-6} . Ver Duddell 1904, pág. 91.

29. Ver capítulos 3 y 4.

30. Para el estilo de ingeniería de Fleming en las décadas de 1880 y 1890, ver Fleming 1934, pág. 112. Para un análisis de la invención del cimómetro, ver Hong 1994b.

31. Para una útil descripción de los rectificadores, ver Rosling 1906. Los tubos de vacío rectificadores se refieren a los tubos de vacío con gases rectificadores diseñados por el físico americano P. G. Nutting, para altos voltajes en C.A. Ver “Rectificadores gaseosos,” *The Electrician*, 53, 1904: pág. 639.

32. Para el uso de la lámpara rectificadora de mercurio por parte de Lodge en telegrafía inalámbrica, ver Lodge 1905, pág. 84.

33. Ver “Detector de ondas Schlömilch,” *The Electrician* 53 (1904), pág. 755.

34. Para las pruebas de Fleming con la válvula Nodon, ver Fleming 1905, pág. 476.

35. La cita es de Fleming 1906d, pág. 263. Es la primera publicación con identificación de fecha, pero a finales de 1910 recordó que la había inventado un día de Octubre (ver e.g. Fleming 1934, pág. 141). Para la disputa entre Fleming y DeForest sobre los detectores electrolíticos, ver Fleming 1996d y DeForest 1996b.

36. La frase “idea feliz” es de Fleming 1934, pág. 141. El primer circuito está descrito en Fleming 1906c.

37. Entre los historiadores de la tecnología, Bernard Carlson y Gorman (1990) realzaron la necesidad de examinar tres aspectos del proceso cognitivo en una invención: modelos mentales, Heurísticos y representaciones mecánicas. Mi enfoque es algo diferente al de ellos ya que quiero explicar la infiltración

de las varias fuentes externas al laboratorio local en el proceso de la invención o transformación de un efecto en un artefacto.

38. Fleming dio forma a su propia versión de la teoría del electrón en 1902 (Fleming 1902).

39. Ver Richardson 1901, 1903.

40. Las últimas historias de Fleming dan la impresión de que la teoría del electrón, al revelar el verdadero mecanismo del efecto Edison, era esencial para la invención de la válvula; ver e.g. Fleming 1924, pág. 20–47.

41. Ver e.g. Galison 1985.

42. Para la investigación de Fleming en fotometría en el Laboratorio Pender, ver Fleming 1902–03.

43. Fleming, “Perfeccionamientos en los instrumentos para detectar y medir corrientes eléctricas alternas,” especificación provisional, patente británica 24.850, 16 Noviembre 1904.

44. La razón para esto no se sabía realmente en ese tiempo. Fleming (1905, pág. 487) lo atribuye al desequilibrio entre la producción de electrones o iones negativos en el electrodo de carbón y su expulsión a otro electrodo.

45. Fleming a Marconi, n.d. (hacia el 30 de Noviembre de 1904), MCA. G. Shiers, que ha sugerido que Fleming inventó su válvula debido a la urgente necesidad de nuevos detectores, presenta esta carta de Fleming a Marconi como evidencia de apoyo. Sin embargo, incluso en esa carta, el énfasis de Fleming estaba en la invención de un medidor, no de un detector. Fleming dice, “He encontrado un método para rectificar oscilaciones, es decir, hacer que el flujo de electricidad sea siempre en la misma dirección, así se puede detectar con un galvanómetro de espejo ordinario. He estado recibiendo señales son una antena sin nada más que un galvanómetro de espejo y mi dispositivo, pero en el presente sólo a escala de laboratorio. Esto abre un amplio campo de trabajo, ya que ahora puede medir exactamente el efecto del transmisor. Todavía no he mencionado esto a nadie ya que puede llegar a ser muy útil.” La frase “ahora puedo medir exactamente el efecto del transmisor” es particularmente importante. Ver Shiers 1969, pág. 111. Aitken (1985, pág. 211–212) también cita esta carta de Shiers, pero Aitken siente que Fleming inventó la válvula como medidor, no como detector.

46. Marconi a Fleming, 14 Febrero 1905, UCL MS Add 122/1, Colección Fleming. Fleming a Marconi, 15 Febrero 1905, MCA. Marconi 1905.

47. Fleming a Marconi, 24 Marzo 1905, MCA.

48. *Memorando de Acuerdo entre la Compañía Marconi y Fleming*, 26 Mayo 1905, MCA. Después del nuevo contrato, Fleming escribió una especificación completa de su invención de la válvula para telegrafía inalámbrica. Ver Fleming, Perfeccionamientos en *Instrumentos para detectar y medir corrientes eléctricas alternas*, especificación completa, patente británica 24.850, 15 Agosto 1904 (aceptada 21 Septiembre 1905).

49. Fleming a Marconi, 9 Octubre 1906, MCA.

50. (Copia de) Fleming a A. R. M. Simkins (Director de trabajos de la Compañía Marconi), 17 Enero 1907, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming; Marconi a Fleming, 14 Abril 1907, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming; (copia de) Fleming a Marconi, 15 Abril 1907, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming.

51. (Copia de) Fleming a Marconi, 8 Septiembre 1908, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming; Marconi a Fleming, 8 Enero 1909, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming.

52. Fleming a Marconi, 9 Octubre 1906, MCA.

53. Para un resumen DeForest 1906a, ver *The Electrician*, 56, 1906: pág. 216–218.

54. (Copia de) Fleming a Marconi, 14 Enero 1907, UCL MS Add 122/48, Colección Fleming.

55. Ver también Price 1984; Laudan 1984; Rosenberg 1992.

56. Observe que Fleming contó su historia de la invención de la válvula en el capítulo “Mis investigaciones científicas e invenciones inalámbricas” en Fleming 1934. Ver también Shiers 1969.

57. Ver White 1943; Josephson 1959; Howe, 1955, pág. 15.

58. He tomado prestado el término “inarticulado” de Buchwald (1993).

Capítulo 6

1. Como en cualquier otra área de la historia humana, hay elementos trágicos: Edwin Howard Armstrong, que fue el primero que diseñó el circuito de realimentación del audión oscilante, finalmente perdió una batalla legal de más de 20 años con Lee DeForest. Un día en 1954, enfermo y cansado de sus prolongados litigios por patentes, Armstrong se arrojó por la ventana de su apartamento del piso 13 en Nueva York.

2. Ver e.g. Boucheron 1920 (titulado “El tubo de vacío – un acróbata eléctrico”), en se detalla como el audión hace seis funciones diferentes –como detector-amplificador, detector y amplificador de dos pasos,

generador de oscilaciones, transmisor telefónico y rectificador telefónico. El inventor del audión, DeForest, fue llamado por el *Scientific American* “El Merlín de hoy día” (Claudy 1920).

3. Al audión también se le llamó triodo. El término “revolución del triodo” aparece en Eccles 1930.
4. Para un análisis crítico del discurso de que la tecnología tiene su propia vida, ver Hong 1998.
5. La capacitancia determina principalmente la cantidad de energía que puede almacenar y disipar un circuito. La inductancia es una variable eléctrica que se conoce entre los ingenieros eléctricos como un momento eléctrico o inercia. Debido a la inductancia, la electricidad se comporta como si tuviera una inercia que se resiste a un cambio súbito en su movimiento.
6. Aquí R indica la resistencia total, que consiste de R_{ohmica} y $R_{\text{radiación}}$.
7. Si L es infinita, entonces la amortiguación es cero. En este caso, tenemos una onda infinitamente grande. Marconi adoptó rápidamente este método para aumentar la inductancia de su antena, pero observó rápidamente que no era práctico. Ver el capítulo 4.
8. Para el disco descargador de Marconi, ver Aitken 1976, pág. 277–278.
9. Lodge, *The Electrician* 28 (29 Enero 1892), pág. 330.
10. El papel de Ayrton se tituló “La variación de la diferencia de potencial del arco con corrientes, tamaño de carbones y distancia de separación.” Ver *The Electrician* Septiembre 1893. Para Ayrton, ver Gooday 1991.
11. Hertha Ayrton (1854–1923) es muy conocida actualmente por ser la primera mujer propuesta para ser Fellow de la Royal Society en 1902. Asistió a la Universidad de Cambridge después de pasar el Examen de Mujeres de la Universidad de Cambridge. Se casó con William Ayrton en 1885, 2 años después del fallecimiento de la primera esposa de Ayrton, Matilda. Hertha fue la primera mujer en leer un papel en la Institución de Ingenieros Eléctricos (“El silbido del arco eléctrico” en 1899) y su papel, “El mecanismo del arco eléctrico,” fue leído en la Royal Society en 1901 por John Perry, amigo íntimo de William Ayrton. En 1902, fue propuesta como candidata para ser Fellow pero fue rechazada por ser una mujer casada. Para su vida y obra, ver Tattersall y McMurran 1995; Marson 1991.
12. La fórmula de Thompson para la relación entre el voltaje y la corriente en los arcos eléctricos es $V = a + (bL/I)$, donde V , I y L son respectivamente voltaje, corriente y la longitud del arco siendo a y b constantes. La fórmula de Ayrton era $V = a + bL + \{(c + dL/I)\}$, siendo a , b , c y d constantes.
13. El razonamiento de Thompson es que si $R = (a/C) + R_0$ entonces (dR/dC) C es negativa. Ver también el comentario en *The Electrician* sobre “Resistencia negativa,” *The Electrician*, 26 Junio 1896) pág. 273.
14. *The Electrician*, 31 Julio 1896, pág. 452.
15. Ver Poulsen 1905.
16. Para Poulsen, ver Aitken 1985, pág. 117–122. Ver también Poulsen 1905; 1906. Para el nivel de complicación que alcanzó el transmisor de Marconi justo antes de la revolución del audión, ver “El sistema Marconi de telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* (26 Abril 1912), 95–98.
17. Ernts Ruhmer y Adolf Pieper, “Un proceso para generar oscilaciones eléctricas no amortiguadas permanentes,” patente alemana 173.396 (1904); F. K. Vreeland, “Aparatos para la producción y utilización de oscilaciones no amortiguadas o sostenidas,” patente US 829.934 (1906); S. Eisenstein, “Aparatos para la producción de vibraciones eléctricas no amortiguadas,” patente US 921.526 (1906).
18. “El sistema Poulsen de telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* 58 (1906), 30 Noviembre: 237.
19. *The Electrician* 58 (1906), 16 Noviembre: 157.
20. “El arco en la telegrafía inalámbrica,” *The Electrician* 58 (1906), 21 Diciembre: 374–376. Las razones para mi juicio que este artículo fue escrito por Fleming o al menos por alguien que había sido ayudante de Fleming son las siguientes: primero, la narración del autor para el desarrollo histórico del sistema de onda continua es muy similar al que aparece en Fleming 1906a; segundo, la discusión del autor de la patente de Elihu Thomson de 1893, en base de lo que Thomson mantiene que fue el primer inventor del sistema de onda continua, era el mismo que Fleming; tercero, el autor se refiere a las investigaciones menos conocidas de Fleming sobre la conductividad unilateral del arco de CA; finalmente, la conclusión del autor sobre la naturaleza del arco de Poulsen anticipa la conclusión de Fleming en Junio de 1907.
21. Fleming a Marconi, 1 Enero 1907, MCA.
22. Para el descargador rotativo de Marconi, ver Baker 1970, pág. 117–119 y Aitken 1976, pág. 277–279. Ver también Marconi a Fleming, 14 Abril 1907, MCA.
23. Fleming a Marconi, 5 Febrero 1907, MCA. Los experimentos de Fleming en UCL fueron hechos por su ayudante, W. L. Upton.
24. Los experimentos de Fleming se registran en el “Experimentos con los aparatos de Poulsen (principalmente diseñados para la Lectura en la R. I. del 24 de Mayo de 1907),” en el *Laboratory Book* volumen III, UCL MS Add 122/22.
25. Fleming 1907b, pág. 692–695.

26. Para el audión DeForest, ver Chipman 1965; Aitken 1985, pág. 162–224, 233–241. Para su vida, ver Lubens 1942 y Hijjiya 1993. DeForest 1950, aunque algo exagerado, también es útil.
27. Lee DeForest, “Dispositivo que responde a las oscilaciones,” Patente US 979.275 (aplicación presentada 2 Febrero 1905; patente concedida 20 Diciembre 1910).
28. Ibid.
29. Lee DeForest, “Dispositivo que responde a las oscilaciones,” Patente US 867.876 (aplicación presentada 2 Febrero 1906; patente concedida 8 Octubre 1907).
30. Lee DeForest, “Dispositivo que responde a las oscilaciones,” Patente US 824.637 (aplicación presentada 18 Enero 1906; patente concedida 26 Junio 1906).
31. DeForest, “Dispositivo que responde a las oscilaciones,” Patente US 824.637 (aplicación presentada 18 Enero 1906; concedida 26 Junio 1906). Uno de los dispositivos de los que dibujó el diagrama fue el de la figura 6.5c. Ver también las otras dos patentes bajo el mismo título, 836.070 y 836.071, aplicaciones que se presentaron con la misma fecha.
32. Lee DeForest, “Válvula estática para sistemas de telegrafía sin hilos,” Patente US 823.402 (aplicación presentada 12 Junio 1906). Gerald Tyne, que conocía a DeForest, C. D. Babcock, ayudante DeForest, y H. W. McCandless que era propietario de McCandless & Co. —una compañía fabricante de lámparas que más tarde construyó el audión para DeForest — escribió que el ayudante DeForest C. D. Babcock ordenó a McCandless que construyera la “válvula Fleming” a finales de 1905. Sin embargo, Tyne no cita ninguna fuente para esto. Ver Tyne 1977, pág. 53. La Patente DeForest sobre la válvula estática también la analizó Tyne 1977, pág. 57.
33. DeForest no especificó aquí los polos de la batería, pero aparentemente la placa se conectaba al polo positivo de la batería local H.
34. Creo que la idea del audión como relé fue introducida por DeForest para realzar y justificar la diferencia entre este y el dispositivo de Fleming —que es relé v. válvula. En DeForest 1920, afirmó sin embargo, que se había interesado en los relés desde 1900, y había concebido la acción de las llamas en el mismo término, lo cual creo que es engañoso.
35. Los primeros audiones DeForest eran audiones “blandos” (o de bajo vacío), en que tenía lugar la ionización del gas. Langmuir descubrió más tarde que para usar efectivamente el audión como amplificador realimentado y oscilador, debía ser “duro” (o de alto vacío). Los historiadores están divididos. Aitken (1985, pág. 219) era favorable a que DeForest comprendía el funcionamiento del audión; Chapman (1965, pág. 98), entre otros, argumentaba que DeForest confundía su funcionamiento. Podemos considerar su teoría de la “ionización del gas” como correcta, en el sentido que realmente ocurría en el audión de bajo vacío. Lo que afirmaba DeForest sobre la amplificación también podía ser correcto, ya que sus primeros audiones amplificaban señales (un poco, no tanto como pensaba él). Sin embargo, las señales que se escuchaban en el teléfono no eran el resultado de la acción relé o de disparo del audión sino el resultado de la rectificación de las señales. En ese punto estaba equivocado.
36. El nombre “audión” se acuñó a sugerencia del ayudante DeForest, C. D. Babcock. Se deriva del verbo latino *audire* que significa escuchar e *ion* del griego *ienai* que significa ir (DeForest 1950, pág. 214; McNicol 1946, pág. 164). DeForest usó el término audión por primera vez en su patente de “Telegrafía inalámbrica,” Patente US 841.386 (aplicación presentada el 27 Agosto 1906; concedida 15 Enero 1907), en la pág. 3, para designar el “elemento sensible” en el medio gaseoso conductor. No tardó en comenzar a denominar al propio dispositivo. Pupin (“Discusión,” en DeForest 1906b, pág. 766) criticó el nombre como un “mestizaje,” porque “es una palabra latina con una terminación griega.”
37. DeForest, Patente US 841.386. En la pág. 2 de su patente, DeForest recalcó: “Es preferible que el polo positivo de la batería B [la batería local] se conecte al electrodo F’ [la placa], y se obtienen mejores resultados si el polo negativo de la batería B se conecta al extremo del filamento F al que se conecta el polo positivo de la batería B’.” Los físicos usaron varios tipos de electrodos de control para controlar el flujo de electrones e iones en los tubos de rayos catódicos (Aitken 1985, pág. 217).
38. Lee DeForest, “Dispositivo para amplificar corrientes eléctricas débiles,” Patente US 841.387 (aplicación presentada 25 Octubre 1906; concedida 15 Enero 1907); McNicol 1946, pág. 165.
39. Ver también Tyne 1977, pág. 61.
40. Lee DeForest, “Telegrafía espacial,” Patente US 879.532 (presentada 29 Enero 1907; concedida 18 Febrero 1908); Chapman, pág. 99.
41. Para la historia de la realimentación, ver Bode 1964.
42. Lowenstein es famoso por su invención del amplificador con “polarización de rejilla”.
43. Lowenstein llamó al audión “controlador de iones.”
44. Miessner (1964, pág. 23) testificó más tarde sobre el trabajo de Lowenstein en la interferencia a “cuatro partes”, pero declaró “me echaron ya que ninguno de los contendientes en el tribunal se interesó, y mi intento de acreditar a Lowenstein de ser históricamente el primero en osciladores de tubo de vacío se quedó en nada.”

45. Diario DeForest, 12 Febrero 1912; entrada en su libro de notas, 22 Abril 1912, Papeles de Lee DeForest, Librería del Congreso, Washington D.C. Agradezco a Hugo Slotten por estos dos puntos.
46. Para el mejor análisis de las investigaciones DeForest en 1912, ver Aitken 1985, pág. 233–238.
47. La meta de AT&T era usar el audión amplificador como repetidor telefónico. A finales de 1913, DeForest había vendido 10 audiones amplificadores a la Navy a 500 dólares cada uno. C. V. Logwoon a Earl Hanson, 20 Diciembre 1913, Papeles Armstrong, Universidad de Columbia.
48. DeForest (1914) afirmó más tarde que las nuevas propiedades del audión se debían a “un elemento vital,... el segundo electrodo frío, el ‘electrodo en rejilla’ de mi patente de 1907, N° 879.532.”
49. Para el testimonio DeForest, ver Aitken 1985, pág. 240–241. Aitken, que es crítico con el testimonio de Stone, dice que “la implicación de Stone, consciente o inconscientemente, leyó más en su conversación con DeForest de que originalmente había sido” (pág. 241). Sin embargo, Aitken sugiere que en 1912 DeForest inventó más que un amplificador: “Lo que DeForest descubrió en Palo Alto era algo más importante que su descubrimiento original del audión o su descubrimiento que el audión podía amplificar; descubrió que, en un circuito apropiado, un audión podía oscilar –es decir, podía servir como generador de ondas continuas, y no meramente como detector” (pág. 238–239).
50. En sus primeras cartas al Sr. Underhill (un ingeniero y radio amateur y amigo de Armstrong) mostró en 1910 que Armstrong estaba familiarizado con los chisperos, detectores ordinarios, cristales, el sistema de chispa apagada, el sistema Fessenden, y además con varios tratados teóricos de telegrafía inalámbrica. Ver E. H. Armstrong al Sr. Underhill, 26 Enero y 19 Septiembre 1910, en los Papeles de Armstrong, Universidad de Columbia.
51. Una primera nota (sin fecha) de Armstrong en los Papeles de Armstrong, Universidad de Columbia.
52. La historia de los primeros trabajos de Armstrong se basa en Lessing 1956 y en el propio testimonio de Armstrong ante el tribunal. Ver *Radio Corporation of America, American Telephone and Telegraph Company y DeForest Radio Company, peticionarios vs. Radio Engineering Laboratorios, INC.* Corte Suprema de los Estados Unidos, 1934, pág. 830–886.
53. Lessing 1956, pág. 65–68; *Radio Corporation of America, American Telephone and Telegraph Company and DeForest Radio Company, Peticionarios vs. Radio Engineering Laboratorios, INC.* Corte Suprema de los Estados Unidos, 1934, pág. 830 – 886, passim; Armstrong 1914.
54. Ver E. H. Armstrong a William Davis, 9 Noviembre 1913, y J. Bottomely a G. Marconi, 3 Febrero 1914, ambos en los papeles de Armstrong en la Universidad de Columbia.
55. La historia de Armstrong versus DeForest se basa en Gaffey 1960; McCormack 1934; Reich 1977. Ver también el rechazo del examinador de la patente de dieciséis reclamaciones en la patente del ultra audión DeForest, National Museum de American History, Institution Smithsonian. Agradezco a Elliot Sivowitch por enviármelo a mi atención.
56. En los Estados Unidos las actas por interferencias las prepara la Oficina de Patentes, y un examinador (o examinadores) de patentes decide la prioridad. La litigación por patentes es un proceso legal, y un juez decide la prioridad.

Epilogo

1. Mi investigación actual se enfoca en Edwin Howard Armstrong y la revolución en la ingeniería de la radio en el siglo XX.

Apéndice

1. En la terminología de Fleming, el co-electrón era el electrón positivo que se conectaba con todos los electrones negativos por medio de la tensión del éter.
2. Ver también la nota en la pág. 751 de Fleming 1903a.
3. Es notable que Fleming compartiera el compromiso de los Maxwellianos con la guía ondas en la década de 1880 (Buchwald 1994). La idea de la Tierra como una guía ondas y la generación de las semiondas en el transmisor de Marconi fue sugerida antes de Fleming por A. Blondel y R. A. Fessenden (Collins 1905, pág. 33.).
4. Para estos experimentos, ver Marconi 1902 y Jackson 1902. Algunos científicos atribuían estos efectos a la absorción de la energía de la onda por iones o electrones; ver e.g. J. J. Thomson 1902; Taylor 1903. Ver también Fleming 1903a, pág. 710.

Bibliografía

- Aitken, Hugh G. J. 1976. *Syntony and Spark: The Origin of Radio*. Wiley (segunda edición: Princeton University Press, 1985).
- Aitken, Hugh G. J. 1978. "Science, Technology and Economics: The Invention of Radio as a Case Study." En *The Dynamics of Science and Technology*, ed. W. Krohn et al. Reidel.
- Aitken, Hugh G. J. 1985. *The Continuous Wave: Technology and American Radio, 1900–1932*. Princeton University Press.
- Aldridge, Susan. 1995. "A Prizefight on the Wireless." *New Scientist* 146 (20 Mayo): 46–47.
- Aitken, Hugh G. J. 1985. *The Continuous Wave: Technology and American Radio, 1900–1932*. Princeton University Press.
- Aldridge, Susan. 1995. "A Prizefight on the Wireless." *New Scientist* 146 (20 Mayo): 46–47.
- Appleyard, Rollo. 1897. "Wireless Telegraphy: To the Editor." *The Electrician* 39 (22 Octubr): 869.
- Armstrong, E. H. 1914. "Operating Features of the Audion." *Electrical World* 64: 1149–1151e
- Ayrton, Hertha. 1895. "The Electric Arc." *The Electrician* 34 (Enero–Septiembre), passim.
- Ayrton, William. 1896a. "The True Resistance of the Electric Arc." *The Electrician* 37 (15 Mayo): 93.
- Ayrton, William. 1896b. "The Resistance of the Arc." *The Electrician* 37 (3 Julio): 321–322.
- Ayrton, William. 1897. "Sixty Years of Submarine Telegraphy." *The Electrician* 42 (19 Febrero): 546–548.
- Austin, L. F. 1903. "Our Note Book." *Illustrated London News*, 20 Junio.
- Baker, E. C. 1976. *Sir William Preece, F.R.S.: Victorian Engineer Extraordinary*. Hutchinson.
- Baker, R. S. 1902. "Marconi's Achievement: Telegraphing across the Ocean without Wires." *McClure's Magazine* 18: 291–299.
- Baker, W. J. 1970. *A History of the Marconi Company*. Methuen.
- Barrett, Ralph, and Margaret L. Godley. 1995. "Popov and Marconi." *Nature* 376 (10 Agosto): 458.
- Basalla, George. 1988. *The Evolution of Technology*. Cambridge University Press.
- Bettolo, G. B. Marini. 1986. "Guglielmo Marconi: Personal Memories and Documents." *Rivista di Storia della Scienza* 3: 447–458.
- Bjerknes, V. 1895. "Ueber Electricische Resonanz." *Wiedemann's Annalen* 55: 121–169.
- Black, George. 1903. "Wireless Telegraphy at the Royal Institution: To the Editor." *The Electrician* 51 (10 Julio): 503.
- Blake, G. G. 1928. *History of Radio Telegraphy and Telephone*. Chapman.
- Blok, Arthur. 1954. "Some Personal Recollections of Sir Ambrose Fleming." En *The Inventor of the Valve: A Biography of Sir Ambrose Fleming*, ed. J. MacGregor-Morris. Television Society.
- Bode, H. W. 1964. "Feedback: The History of an Idea." En *Selected Papers on Mathematical Trends in Control Theory*, ed. R. Bellman y R. Kalaba. Doverz.
- Bose, J. C. 1895a. "On the Determination of the Indices of Refraction of Various Substances for the Electric Ray." *Proceedings of the Royal Society* 59: 160–167.
- Bose, J. C. 1895b. "On a New Electro-Polariscope." *The Electrician* 36 (27 Diciembre): 291–292.
- Boucheron, Pierre H. 1920. "The Vacuum Tube—An Electrical Acrobat." *Scientific American*, 17 Enero: 54–65.
- Bowers, Brian. 1969. R. E. B. Crompton. *Institute of Electrical Engineers*.
- Branly, E. 1891. "Variations of Conductivity under Electrical Influence." *The Electrician* 27: 221–222, 448–449.

- Brittain, James E. 1970. "The Introduction of the Loading Coil: George A. Campbell y Michael I. Pupin." *Technology and Culture* 11: 36–57.
- Buchanan, R. A. 1985. "The Rise of Scientific Engineering in Britain." *British Journal for the History of Science* 18: 218–233.
- Buchwald, Jed Z. 1985. *From Maxwell to Microphysics*. University of Chicago Press.
- Buchwald, Jed Z. 1993. "Design for Experimenting." En *World Changes: Thomas Kuhn and the Nature of Science*, ed. P. Horwich. MIT Press.
- Buchwald, Jed Z. 1994. *The Creation of Scientific Effects: Heinrich Hertz and Electric Waves*. University of Chicago Press.
- Buchwald, Jed Z. Forthcoming. *The Creation of Scientific Effects II*.
- Burns, R. W. 1994. "Lodge and the Birth of Radio Communication," *IEE Review*, Mayo: 131–133.
- Buscemi, V. 1905. "Trasparenza dei Liquidi per le onde Hertziane." *Nuovo Cimento* 9: 105–112.
- Carlson, W. Bernard, and Michael E. Gorman. 1990. "Understanding Invention as a Cognitive Process: The Case of Thomas Edison and Early Motion Pictures, 1888–91." *Social Studies of Science* 20: 387–430.
- Chapin, Seymour L. 1971. "Patent Interferences and the History of Technology: A High-flying Example." *Technology and Culture* 12: 414–446.
- Cheney, M. 1981. *Tesla: Man Out of Time*. Laurel.
- Chipman, Robert A. 1965. "De Forest and the Triode Detector." *Scientific American* 212(3): 93–100.
- Chrystal, G. 1876. "On Bi- and Unilateral Galvanometer Deflection." *Philosophical Magazine* 2 (Diciembre): 401–414.
- Claudy, C. H. 1920. "A Merlin of Today: What the Audion of De Forest Has Done and What it May Do." *Scientific American*, 15 Mayo: 640, 542–554.
- Clayton, Howard. 1968. *Atlantic Bridgehead: The Story of Transatlantic Communication*. Garnstone.
- Collins, A. F. 1905. *Wireless Telegraphy*. McGraw.
- Crookes, William. 1879. "On Radiant Matter." *Nature* 20: 419–423, 436–440.
- Crookes, William. 1891a. "Electricity in Transitu: From Plenum to Vacuum." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 20: 4–49.
- [Crookes, William.] 1891b. "Electricity in Relation to Science." *Nature* 45 (19 Noviembre): 63–64.
- Crookes, William. 1892. "Some Possibilities of Electricity." *Fortnightly Review* 51 (Febrero): 173–181.
- D'Albe, E. E. Fournier. 1923. *The Life of Sir William Crookes*. Unwin.
- Dam, H. J. W. 1897. "Telegraphy Without Wires: A Possibility of Electrical Science, II: The New Telegraphy—Interview with Signor Marconi." *McClure's Magazine* 8 (Marzo): 383–392.
- Danna, R. 1967. *The Trans-Atlantic Radio Telegraphic Experiments of Guglielmo Marconi, 1901–1907*. Ph.D. thesis, University of Missouri.
- Dasgupta, Subrata. 1995–96. "Forgotten History: Sir Jagadis Bose and the Origins of Radio." *Transactions of the Newcomen Society* 67: 207–219.
- Daumas, Maurice. 1979. "Introduction." En *A History of Technology & Invention, volume 3*. Crown.
- De Forest, Lee. 1906a. "The Audion: A New Receiver for Wireless Telegraphy." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 25: 735–779.
- De Forest, Lee. 1906b. "Oscillation Valve or Audion." *The Electrician* 58 (29 Diciembre): 425.
- De Forest, Lee. 1914. "The Audion as a Generator of High-Frequency Currents." *The Electrician* 73 (28 Agosto): 842–843.
- De Forest, Lee. 1920. "The Audion—Its Action and Some Recent Applications." *Journal of the Franklin Institute* 190: 1–38.

- De Forest, Lee. 1950. *Father of Radio: The Autobiography of Lee De Forest*. Wilcox & Follett.
- DeKosky, Robert K. 1976. "William Crookes and the Fourth State of Matter." *Isis* 67: 36–60.
- DeKosky, Robert K. 1983. "William Crookes and the Quest for Absolute Vacuum in the 1870s." *Annals of Science* 40: 1–18
- Dieckmann, M. 1904. "Ueber den Schloemilch-Wellendetektor." *Physikalisch Zeitschrift* 5 (15 Agosto): 529–531.
- Douglas, Susan J. 1987. *Inventing American Broadcasting, 1899–1922*. Johns Hopkins University Press.
- Duddell, William. 1900. "On Rapid Variations in the Current through the Direct-Current Arc." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 30 (1900): 232–283.
- Duddell, William. 1904. "Some Instruments for the Measurement of Large and Small Alternating Currents." *Philosophical Magazine* 8 (Julio): 91–114.
- Dunlap, Orrin E. 1937. *Marconi: The Man and His Wireless*. Macmillan.
- Eccles, W. H. 1930. "Physics in Relation to Wireless." *Nature* 125: 894–897.
- Eccles, W. H. 1933. *Wireless*. Thornton Butterworth.
- Elster, Julius, and Hans Geitel. 1887. "Ueber die Electrisirung der Gase durch gluhende Korper." *Wiedemann's Annalen* 31: 109–126.
- Espenschied, Lloyd. 1959. "Discussion of 'A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology.'" *Proceedings of the IRE* 47: 1253–1258.
- Eve, A. S. 1939. *Rutherford*. Cambridge University Press.
- Fahie, J. J. 1899. *A History of Wireless Telegraphy, 1838–1899*. Dodd, Mead.
- Ferguson, E. S. 1977. "The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology." *Science* 197: 827–836.
- FitzGerald, George F. 1883. "On the Quantity of Energy Transferred to the Ether by a Variable Current." *Transactions of the Royal Dublin Society* (1883). Reimpreso en *The Scientific Writings of the Late George Francis FitzGerald*, ed. J. Larmor (Longman, 1902).
- FitzGerald, George F. 1890. "Electro-Magnetic Radiation." *Nature* 42: 172–175.
- FitzGerald, George F. 1892. "On the Driving of Electro-magnetic Vibrations by Electro-magnetic and Electrostatic Engines." *The Electrician* 28 (29 Enero): 329–330.
- FitzGerald, George F. 1896. "Science and Industry." Reimpreso en *The Scientific Writings of the Late George Francis FitzGerald*, ed. J. Larmor (Longman, 1902).
- FitzGerald, George F. 1896b. "Negative Resistance." *The Electrician* 37 (17 Julio): 386.
- Fleming, John Ambrose. 1883. "On the Phenomena of Molecular Radiation in Incandescence Lamps." *Proceedings of the Physical Society* 5 (Mayo): 283–285.
- Fleming, John Ambrose. 1885a. "On Molecular Shadow in Incandescence Lamps." *Proceedings of the Physical Society* 7: 178–181.
- Fleming, John Ambrose. 1885b. "On the Necessity for a National Standardizing Laboratory for Electrical Instruments." *Journal of the Society of Electrical Engineers and Electricians* 14: 488–501.
- Fleming, John Ambrose. 1890a. "On the Electric Discharge between Electrodes at different Temperatures in Air and in High Vacua." *Proceedings of the Royal Society* 47: 118–126.
- Fleming, John Ambrose. 1890b. "Problems in the Physics of an Electric Lamp." *Proceedings of the Royal Institution* 13: 34–49.
- Fleming, John Ambrose. 1896. "A Further Examination of the Edison Effect in Glow Lamps." *Proceedings of the Physical Society* 14: 187–242.
- Fleming, John Ambrose. 1899a. Discussion of Marconi's "Wireless Telegraphy." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 28 (2 Marzo): 293.
- Fleming, John Ambrose. 1899b. "The Centenary of the Electric Current, 1799–1899." *The Electrician* 43: 764–768.

- Fleming, John Ambrose. 1900. "Electrical Oscillations and Electrical Waves." *Journal of the Society of Arts* 49: 69–131.
- Fleming, John Ambrose. 1902. "The Electronic Theory of Electricity." *Proceedings of the Royal Institution* 17: 163–181.
- Fleming, John Ambrose. 1902–03. "The Photometry of Electric Lamps." *Journal of the Institute of Electrical Engineers* 32: 119–171.
- Fleming, John Ambrose. 1903a. "Hertzian Wave Telegraphy." *Journal of the Society of Arts* 51: 709–784.
- Fleming, John Ambrose. 1903b. "A Note on a Form of Magnetic Detector for Hertzian Waves adapted for Quantitative Work." *Proceedings of the Royal Society* 71: 398–401.
- Fleming, John Ambrose. 1904a. "On a Hot-Wire Ammeter for the Measurement of very small Alternating Currents." *Proceedings of the Physical Society* 19 (25 Marzo): 173–184.
- Fleming, John Ambrose. 1904b. "On Large Bulb Incandescent Electric Lamps as Secondary Standards of Light." *Report of the British Association for the Advancement of Science* (1904): 682–683
- Fleming, John Ambrose. 1905. "On the Conversion of Electric Oscillations into Continuous Currents by Means of Vacuum Valve." *Proceedings of the Royal Society* 74: 476–487.
- Fleming, John Ambrose. 1906a. *The Principles of Electric Wave Telegraphy*. Longman.
- Fleming, John Ambrose. 1906b. "On the Electric Conductivity of a Vacuum." *Scientific American suppl.* 1568: 25129–25131.
- Fleming, John Ambrose. 1906c. "The Construction and Use of Oscillation Valves for Rectifying High-Frequency Electric Currents." *Proceedings of the Physical Society* 20: 177–185.
- Fleming, John Ambrose. 1906d. "Oscillation Valve, or Audion." *The Electrician* 58 (26 Noviembre): 263.
- Fleming, John Ambrose. 1907a. "Oscillation Valve, or Audion." *The Electrician* 58 (4 Enero): 464.
- Fleming, John Ambrose. 1907b. "Recent Contributions to Electric Wave Telegraphy." *Proceedings of the Royal Institution* 18: 677–710.
- Fleming, John Ambrose. 1907c. "Some Observations on the Poulsen Arc as a Means of Obtaining Continuous Electrical Oscillations." *Proceedings of the Physical Society* 21: 23–26.
- Fleming, John Ambrose. 1911. "Wireless Telegraphy." *Encyclopedia Britannica*, 11th edition, volume 26, pp. 529–542.
- Fleming, John Ambrose. 1920. "The Thermionic Valve in Wireless Telegraphy and Telephony." *Proceedings of the Royal Institution* 23: 161–189.
- [Fleming, John Ambrose.] 1923a. "Dr. Fleming on the Thermionic Valve: A Talk by the Inventor on Its Development and Its Application to Wireless." *Wireless World* 24 (Febrero): 693–694.
- [Fleming, John Ambrose.] 1923b. "How I Put Electrons to Work in the Radio Bottle." *Popular Radio* 3 (Marzo): 175–182.
- Fleming, John Ambrose. 1924a. *The Thermionic Valve and Its Developments in Radio-Telegraphy and Telephony*. Iliffe & Sons.
- Fleming, John Ambrose. 1924b. The Physical Society of London 1874–1924: *Proceedings of the Jubilee Meetings*. Número especial.
- Fleming, John Ambrose. 1934. *Memories of a Scientific Life*. Marshall, Morgan & Scott.
- Fleming, John Ambrose. 1937. "Guglielmo Marconi and the Development of Radio-Communication." *Journal of the Society of Arts* 86: 42–63.
- Gaffey, James R. 1960. "Certain Aspects of the Armstrong Regeneration, Superregeneration, and Superheterodyne Controversies." *Patent Trade-mark and Copyright Journal of Research & Education* 4: 173–185.
- Galison, Peter. 1985. "Bubble Chambers and the Experimental Workplace." En *Observation, Experiment, and Hypothesis in Modern Physical Science*, ed. P. Achinstein and O. Hannaway. MIT Press.

- Galison, Peter. 1988. "History, Philosophy, and the Central Metaphor." *Science in Context* 2: 197–212.
- Galison, Peter, and Alexi Assmus. 1989. "Artificial Clouds, Real Particles." En *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, ed. D. Gooding et al. Cambridge University Press.
- Gannett, Elwood K. 1998. "The IEEE Medal of Honor." *Proceedings of the IEEE* 86: 1295–1297.
- Garratt, G. R. M. 1974. "Marconi: The Lavernock Trials, May 1897." *Electronics & Power*, 2 Mayo: 323–326.
- Geddes, Keith. 1974. Guglielmo Marconi, 1874–1937. H.M.S.O.
- Gooday, Graeme. 1991. "Teaching Telegraphy and Electrotechnics in the Physics Laboratory: William Ayrton and the Creation of an Academic Space for Electrical Engineering in Britain." *History and Technology* 13: 73–111.
- Guthrie, F. 1873. "On a Relation between Heat and Electricity." *Philosophical Magazine* 46: 257–266.
- Hacking, Ian. 1992a. "The Self-Vindication of Laboratory Science." En *Science as Practice and Culture*, ed. A. Pickering. University of Chicago Press.
- Hacking, Ian. 1992b. "'Style' for Historians and Philosophers." *Studies in History and Philosophy of Science* 23: 1–20.
- Hall, H. C. 1902. "Wireless Telegraphy: To the Editor." *The Electrician* 50 (21 Noviembre): 198–199.
- Hammond, J. H. Jr. and E. S. Purington. 1957. "A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology." *Proceedings of the IRE* 45: 1191–1208.
- Hancock, H. E. 1974. *Wireless at Sea*. Arno.
- Heaviside, Oliver. 1892. *Electrical Papers*. 2 volumes. Macmillan.
- Hijiya, James. 1993. *Lee De Forest and the Fatherhood of Radio*. A Lehigh University Press.
- Hill, J. Arthur, ed. 1932. *Letters from Sir Oliver Lodge*. Cassell.
- Hong, Sungook. 1994a. Forging the Scientist-Engineer: A Professional Career of John Ambrose Fleming. Ph.D. dissertation, Seoul National University.
- Hong, Sungook. 1994b. "From Effect to Artifact: The Case of the Cymometer." *Journal of the Korean History of Science Society* 16: 233–249.
- Hong, Sungook. 1994c. "Marconi and the Maxwellians: The Origins of Wireless Telegraphy Revisited." *Technology and Culture* 35: 717–749.
- Hong, Sungook. 1995a. "Efficiency and Authority in the 'Open versus Closed' Transformer Controversy." *Annals of Science* 52: 49–76.
- Hong, Sungook. 1995b. "Forging Scientific Electrical Engineering: John Ambrose Fleming and the Ferranti Effect." *Isis* 86: 30–51.
- Hong, Sungook. 1996a. "From Effect to Artifact (II): The Case of the Thermionic Valve." *Physis* 33: 85–124.
- Hong, Sungook. 1996b. "Styles and Credits in Early Radio Engineering: Fleming and Marconi on the First Transatlantic Wireless Telegraphy." *Annals of Science* 53: 431–465.
- Hong, Sungook. 1996c. "Syntony and Credibility: John Ambrose Fleming, Guglielmo Marconi and the Maskelyne Affair." En *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and Early 20th Century Germany and Britain*, ed. J. Buchwald. Kluwer.
- Hong, Sungook. 1996b. "Styles and Credits in Early Radio Engineering: Fleming and Marconi on the First Transatlantic Wireless Telegraphy." *Annals of Science* 53: 431–465.
- Hong, Sungook. 1996c. "Syntony and Credibility: John Ambrose Fleming, Guglielmo Marconi and the Maskelyne Affair." En *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and Early 20th Century Germany and Britain*, ed. J. Buchwald. Kluwer.
- Hounshell, David E. 1975. "Elisha Gray and the Telephone: On the Disadvantage of Being an Expert." *Technology and Culture* 16: 133–161.

- Hounshell, David E. 1976. "Bell and Gray: Contrasts in Style, Politics, and Etiquette." *Proceedings of the IEEE* 64: 1305–1314.
- Houston, E. J. 1884. "Notes on Phenomena in Incandescent Lamps." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 1: 1–8.
- Howe, G. W. O. 1944. "An Interesting Patent Decision: Marconi's W. T. Co. of America versus the United States." *Wireless Engineer* 21: 253–255.
- Howe, G. W. O. 1955. "The Genesis of the Thermionic Valve." En *Thermionic Valves 1904–1954: The First Fifty Years*. Institution of Electrical Engineers.
- Hughes, Thomas P. 1966. "Introduction." En Samuel Smiles, *Selections from Lives of the Engineers*. MIT Press.
- Hughes, Thomas P. 1983. *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880–1930*. Johns Hopkins University Press.
- Hunt, Bruce J. 1983. "'Practice vs. Theory': The British Electrical Debate, 1888–1891." *Isis* 74: 341–355.
- Hunt, Bruce. 1991. *The Maxwellians*. Cornell University Press.
- Isted, G. A. 1991a. "Guglielmo Marconi and the History of Radio—Part I." *General Electric Company Review* 7: 45–56.
- Isted, G. A. 1991b. "Guglielmo Marconi and the History of Radio—Part II." *General Electric Company Review* 7: 110–122.
- Jackson, H. B. 1902. "On Some Phenomena affecting the Transmission of Electric Waves over the Surface of the Sea and Earth." *Proceedings of the Royal Society* 70: 254–272.
- Jackson, Joseph Gray. 1970. "Patent Interference Proceedings and Priority of Invention." *Technology and Culture* 11: 598–600.
- Jacot, B. L., and D. M. B. Collier. 1935. *Marconi, Master of Space: An Authorized Biography of the Marchese Marconi*. London.
- Jenkins, Reese V. 1984. "Elements of Style: Continuities in Edison's Thinking." *Annals of the New York Academy of Science* 424: 149–162.
- Johnson, J. B. 1960. "Contribution of Thomas A. Edison to Thermionics." *American Journal of Physics* 28: 763–773.
- Jolly, W. P. 1972. *Marconi*. Constable.
- Jolly, W. P. 1974. *Sir Oliver Lodge*. Constable.
- Jordan, D. W. 1982. "The Adoption of Self-Induction by Telephony, 1886–1889." *Annals of Science* 39: 433–61.
- Josephson, M. 1959. *Edison: A Biography*. McGraw-Hill.
- Kelvin [William Thomson]. 1904a. "On Electric Insulation in Vacuum." *Philosophical Magazine* 8 (Octubre): 534–38.
- Kelvin [William Thomson]. 1904b. "Electric Insulation in a Vacuum." *The Electrician* 53 (14 Octubre): 1031.
- Kurylo, F., and C. Susskind. 1981. *Ferdinand Braun: A Life of the Nobel Prizewinner and Inventor of the Cathode-Ray Oscilloscope*. MIT Press.
- Lagergren, S. 1898. "Ueber die Dämpfung electrischer Resonatoren." *Annalen der Physik* 64: 290–314.
- Lamb, Horace. 1883. "On Electrical Motion in a Spherical Conductor." *Philosophical Transactions of the Royal Society* 174 (part II): 519–549.
- Larmor, Joseph, ed. 1902. *The Scientific Writings of the Late George Francis FitzGerald*. Longman.
- Laudan, Rachel. 1984. "Notice toward a Philosophy of Science/Technology Interaction." En *The Nature of Technological Knowledge*, ed. R. Laudan. Reidel.
- Law, John. 1991. "Theory and Narrative in the History of Technology: Response." *Technology and Culture* 32: 377–384.

- Leslie, Stuart W., and Bruce Hevly. 1985. "Steeple Building at Stanford: Electrical Engineering, Physics, and Microwave Research." *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers* 73: 1169–1180.
- Lessing, Lawrence. 1956. *Man of High Fidelity: Edwin Howard Armstrong*. Lippincott.
- Lewis, Tom. 1991. *Empire of the Air: The Men Who Made Radio*. HarperCollins.
- Lodge, Oliver. 1889. *Modern Views of Electricity*. Macmillan.
- Lodge, Oliver. 1890a. "Electric Radiation from Conducting Spheres, an Electric Eye, and a Suggestion regarding Vision." *Nature* 41: 462–463.
- Lodge, Oliver. 1890b. "On Lightning-Guards for Telegraphic Purposes and on the Protection of Cables From Lightning." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 19: 346–379.
- Lodge, Oliver. 1891a. "Some Experiments with Leyden Jars" (extracto). *Nature* 43: 238–239.
- Lodge, Oliver. 1891b. "Presidential Address in Section A." *Report of the British Association for the Advancement of Science* (1891): 550–551.
- Lodge, Oliver. 1892. *Lightning Conductors and Lightning Guards*. Longman.
- Lodge, Oliver. 1894a. "Work of Hertz." *Proceedings of the Royal Institution* 14: 321–349.
- Lodge, Oliver. 1894b. "The Work of Hertz." *Nature* 50: 133–139.
- Lodge, Oliver. 1894c. *The Work of Hertz and Some of His Successors*. Van Nostrand.
- Lodge, Oliver. 1897. "The History of the Coherer Principle." *The Electrician* 40: 87–91.
- [Lodge, Oliver.] 1898a. "Dr. Lodge on Wireless Telegraphy." *Electrical Review* 42 (28 Enero): 103–104.
- Lodge, Oliver. 1898b. "Improvements in Magnetic Space Telegraphy." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 27: 799–851.
- Lodge, Oliver. 1900. *Signalling through Space without Wires* (tercera edición de Lodge 1894c). Electrician Publishing Co.
- Lodge, Oliver. 1903. "Means for Electrifying the Atmosphere on a Large Scale." *The Electrician* 52 (November 20): 173–174.
- Lodge, Oliver. 1905. "A Pertinacious Current; or, the Storage of High-tension Electricity by means of Valves." *Proceedings of the Royal Institution* 18: 79–86.
- Lodge, Oliver. 1921–22. "Alexander Muirhead" (obituario). *Proceedings of the Royal Society* 100 (A): VIII–IX.
- Lodge, Oliver. 1923. "The Origin or Basis of Wireless Communication." *Nature* 111: 328–332.
- Lodge, Oliver. 1925. *Talks about Wireless*. London.
- Lodge, Oliver. 1926. "Reminiscences of the last British Association Meeting in Oxford, 1894." *Discovery* 7 (Agosto): 263–266.
- Lodge, Oliver. 1931. *Advancing Science*. London.
- Lodge, Oliver. 1932. *Past Years: An Autobiography*. Scribner.
- Lubell, Simon. 1942. "Magnificent Failure." *Saturday Evening Post*, 17 Enero, 24 y 31.
- MacGregor-Morris, J. T. 1954. *The Inventor of the Valve: A Biography of Sir Ambrose Fleming*. Television Society.
- Marconi, Degna. 1982. *My Father Marconi*. Balmuir.
- Marconi, Guglielmo. 1899. "Wireless Telegraphy." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 28: 273–291.
- Marconi, Guglielmo. 1901. "Syntonic Wireless Telegraphy." *Journal of the Society of Arts* 49: 506–515.
- Marconi, Guglielmo. 1902a. "Address." *The Electrician* 48 (21 Febrero): 712–713.
- Marconi, Guglielmo. 1902b. "Note on a Magnetic Detector of Electric Waves, which can be employed as a Receiver for Space Telegraphy." *Proceedings of the Royal Society* 70: 341–344.

- Marconi, Guglielmo. 1902c. "A Note on the Effect of Daylight upon the Propagation of Electrodynamical Impulses over Long Distance." *Proceedings of the Royal Society* 70: 344–347.
- Marconi, Guglielmo. 1902d. "The Progress of Electric Space Telegraphy." *Proceedings of the Royal Institution* 17: 195–210.
- Marconi, Guglielmo. 1902e. "The Inventor of Wireless Telegraphy: A Reply." *Saturday Review* 93: 556–557.
- Marconi, Guglielmo. 1903a. "Address." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 19: 98–101.
- Marconi, Guglielmo. 1903b. "Address." *The Electrician* 50 (3 April): 1001–1002.
- Marconi, Guglielmo. 1905. "Recent Advances in Wireless Telegraphy." *Proceedings of the Royal Institution* 18: 31–45.
- Marconi, Guglielmo. 1908. "Transatlantic Wireless Telegraphy." *Proceedings of the Royal Institution* 19: 107–130.
- Marconi, Guglielmo. 1909. "Wireless Telegraphic Communication." En *Nobel Lecture Physics* (Elsevier, 1967).
- Maskelyne, Nevil. 1902. "A Supplement to Lieut. Solari's Report on The Radio-Telegraphic Expedition of H.I.M.S. 'Carlo Alberto.'" *The Electrician* 50 (7 Noviembre): 105–109.
- Maskelyne, Nevil. 1903a. "Electrical Syntony and Wireless Telegraphy." *The Electrician* 51 (19 Junio): 357–360.
- Maskelyne, Nevil. 1903b. "Wireless Telegraphy at the Royal Institution." *The Electrician* 51 (10 Julio): 503.
- Maskelyne, Nevil. 1903c. "To the Editor." *The Electrician* 51 (17 Julio): 549.
- Maskelyne, Nevil. 1903d. "Wireless Telegraphy at the Royal Institution." *The Electrician* 51 (24 Julio): 592.
- Mason, Joan. 1991. "Hertha Ayrton and the Admission of Women to the Royal Society of London." *Notes and Records of the Royal Society of London* 45: 201–220.
- Maxwell, James Clerk, J. D. Everett, and A. Schuster. 1876. "Report of the Committee for Testing Experimentally Ohm's Law." *Report of the British Association for the Advancement of Science* (1876): 36–63.
- McCorMack, Alfred. 1934. "The Regenerative Circuit Litigation." *Air Law Review* 5: 282–295.
- McGrath, P. T. 1902. "Marconi and His Transatlantic Signal." *The Century Magazine* 63: 769–782.
- Miessner, Benjamin Franklin. 1964. *On the Early History of Radio Guidance*. San Francisco Press.
- Minchin, G. M. 1891. "Detection of Electro-Magnetic Disturbance at Great Distance." *The Electrician* 28 (27 Noviembre): 85.
- Moffett, Cleveland. 1899. "Marconi's Wireless Telegraphy." *McClure's Magazine* 13: 99–112.
- Moulton, Hugh Fletcher. 1922. *The Life of Lord Moulton*. Nisbet.
- Muirhead, M. E. 1926. *Alexander Muirhead*. Oxford.
- Nahin, Paul. 1988. *Oliver Heaviside: Sage in Solitude*. IEEE Press.
- Nodon, A. 1904. "Electrolytic Rectifier: An Experimental Research" (Leído en el Congreso Internacional de St. Louis). *The Electrician* 53 (4 Octubre): 1037–1039.
- O'Dell, T. H. 1983. "Marconi's Magnetic Detector: Twentieth Century Technique Despite Nineteenth Century Normal Science?" *Physis* 25: 525–548.
- Perry, John. 1910. *Spinning Tops: The "Operatives Lecture" of the British Association Meeting At Leeds, 6th September, 1890. Society for Promoting Christian Knowledge*.
- Phillips, Vivian J. 1980. *Early Radio Wave Detectors*. Peter Peregrinus.

- Phillips, Vivian. J. 1993. "The 'Italian Navy Coherer' Affair: a Turn-of-the-Century Scandal." *Institution of Electrical Engineers Proceedings* 140 (Mayo): 173–185.
- Pickering, Andy. 1993. "The Mangle of Practice: Agency and Emergence in the Sociology of Science." *American Journal of Sociology* 99: 559–589.
- Pitt, Joseph C. 1988. "'Styles' and Technology." *Technology in Society* 10: 447–456.
- Planck, Max. 1897. "Notiz zur Theorie der Dämpfung electrischer Schwingungen." *Annalen der Physik* 63: 419–421.
- Pocock, Rowland F. 1963. "Pioneers of Radiotelegraphy." *Proceedings of the IEEE* 51: 959.
- Pocock, Rowland F. 1988. *The Early British Radio Industry*. Manchester University Press.
- Poincare, H., and F. K. Vreeland. 1904. *Maxwell's Theory and Wireless Telegraphy*. Rob.
- Post, Robert C. 1976. "Stray Sparks from the Induction Coil: The Volta Prize and the Page Patent." *Proceedings of the IEEE* 64: 1279–1286.
- Poulsen, V. 1905. "System for Producing Continuous Electric Oscillations." En *Transactions of the International Electrical Congress*, St. Louis.
- Poulsen, V. 1906. "A Method of Producing Undamped Electric Oscillations and Its Employment in Wireless Telegraphy." *The Electrician* 58 (16 Noviembre): 166–168.
- Preece, William H. 1884. Discussion of Houston's "Notes on Phenomena in Incandescent Lamps." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 1: 1–8.
- Preece, William H. 1885. "On a Peculiar Behaviour of Glow-Lamps when Raised to High Incandescence." *Proceedings of the Royal Society* 38: 219–230.
- Preece, William H. 1893. "On the Transmission of Electric Signals Through Space," *Electrical World* 22 (2 Septiembre): 179–180.
- Preece, William H. 1896a. "Electrical Disturbances in Submarine Cables." *The Electrician* 37: 689–691.
- Preece, William H. 1896b. "On Disturbance in Submarine Cables." *Report of the British Association for the Advancement of Science* (1896): 732. (Sólo el título).
- Preece, William H. 1896c. "On the Transmission of Electric Signals through Space." *Electrical World* 22 (2 Septiembre): 179–180.
- Preece, William H. 1897. "Signalling through Space without Wires." *The Electrician* 39 (1897): 216–218. Publicado más tarde en *Proceedings of the Royal Institution* 15 (1896–97): 467–476.
- Preece, William H. 1898. "Aetheric Telegraphy." *Journal of the Institution of Electrical Engineers* 27: 869–886.
- Prescott, George B. 1888. *Electricity and the Electric Telegraph*. Appleton.
- Price, Derek de S. 1984. "The Science/Technology Relationship, the Craft of Experimental Science, and Policy for the Improvement of High Technology Innovation." *Research Policy* 13: 3–20.
- Pyatt, E. 1983. *The National Physical Laboratory: A History*. Hilger.
- Ramsay, John F. 1958. "Microwave Antenna and Waveguide Technique before 1900." *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 46: 405–415.
- Ratcliffe, J. A. 1974a. "Marconi: Reactions to his Transatlantic Radio Experiment." *Electronics and Power*, 2 Mayo: 322
- Ratcliffe, J. A. 1974b. "Scientists' Reactions to Marconi's Transatlantic Radio Experiment." *Institution of Electrical Engineers Proceedings* 121, Septiembre: 1033–1038.
- Reich, Leonard S. 1977. "Research, Patents, and the Struggle to Control Radio: A Study of Big Business and the Uses of Industrial Research." *Business History Review* 51: 208–235.
- Reingold, N. 1959–60. "U.S. Patent Office Records as Sources for the History of Invention and Technological Property." *Technology and Culture* 1: 156–167.
- Richardson, O. W. 1901. "On the Negative Radiation from Hot Platinum." *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 11: 286–295.

- Richardson, O. W. 1903. "The Electrical Conductivity Imparted to a Vacuum by Hot Conductors." *Philosophical Transactions* 201: 497–549.
- Robinson, E. 1972. "James Watt and the Law of Patents." *Technology and Culture* 13: 115–139.
- Rosenberg, Nathan. 1992. "Scientific Instrumentation and University Research." *Research Policy* 21: 381–390.
- Rosling, P. 1906. Rectification of Alternating Currents." *The Electrician* 58: 677–679.
- Rothmund, V., and A. Lessing. 1904. "Versuche mit dem elektrolytischen Wellendetektor." *Wiedemann's Annalen* 15 (Septiembre): 193–212.
- Rowlands, Peter, and J. Patrick Wilson, eds. 1994. *Oliver Lodge and the Invention of Radio*. P.D. Publications.
- Rowlands, Peter. 1990. *Oliver Lodge and the Liverpool Physical Society*. Liverpool: Liverpool University Press.
- Rutherford, E. 1897. "A Magnetic Detector of Electrical Waves and some of Its Applications." *Philosophical Transactions* 189 (ser. A): 1–24.
- Rutherford, E. 1902. "Marconi's Magnetic Receiver: To the Editor." *The Electrician* 49 (25 Julio): 502.
- Schuster, Arthur. 1874. "On Unilateral Conductivity." *Philosophical Magazine* 48: 251–258.
- Schuster, Arthur. 1890. "The Discharge of Electricity through Gases." *Proceedings of the Royal Society* 47: 526–561.
- Seifer, Marc J. 1985. "Nikola Tesla: The Lost Wizard." En *Tesla '84: Actas del Simposium del Centenario de Tesla*.
- Selby, G. W. 1898. "Electric Telegraphy without Line Wires by Means of Hertz Waves." *The Electrician* 40 (14 Enero): 397–398.
- Shapin, Steven, and Simon Schaffer. 1985. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*. Princeton University Press.
- Sharp, Clayton H. 1921. *The Edison Effect and Its Modern Applications*. Edición privada en New York.
- Shiers, G. 1969. "The First Electron Tube." *Scientific American* 220 (Marzo): 104–112.
- Slaby, A. 1898. "The New Telegraphy: Recent Experiments in Telegraphy with Sparks." *Century Magazine* 55 (Abril): 867–874.
- Smiles, Samuel. 1904. *Lives of the Engineers*. Murray.
- Smith, W. 1888. "Telegraphy without Wires: To the Editor." *The Electrician* 21 (2 Noviembre): 832–833.
- Solari, L. 1902. "The Radio-Telegraphic Expedition of H.I.M.S. 'Carlo Alberto.'" *The Electrician* 50 (24 Octubre): 22–26.
- Spottiswoode, William. 1880. "Electricity in Transitu." *Proceedings of the Royal Institution* 9: 427–436.
- Star, S. L., and J. R. Griesemer. 1989. "Institutional Ecology, 'Translations,' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907–39." *Social Studies of Science* 19: 387–420.
- Stranges, A. N. 1986. Review of *Syntony and Spark* by Hugh G. J. Aitken. *American Historical Review* 91: 1166–1167.
- Süsskind, Charles. 1962. "Popov and the Beginning of Radiotelegraphy." *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 50: 2036–2047.
- Süsskind, Charles. 1968a. "The Early History of Electronics I. Electromagnetic before Hertz." *IEEE Spectrum* 5 (Agosto): 90–98.
- Süsskind, Charles. 1968b. "The Early History of Electronics II." *IEEE Spectrum* 5 (Diciembre): 57–60.
- Süsskind, Charles. 1969a. "The Early History of Electronics III. Prehistory of Radiotelegraphy." *IEEE Spectrum* 6 (Abril): 69–74.

- Süsskind, Charles. 1969b. "The Early History of Electronics: IV. First Radiotelegraphy Experiments." *IEEE Spectrum* 6 (Agosto): 66–70.
- Süsskind, Charles. 1970a. "The Early History of Electronics V." *IEEE Spectrum* 7 (Abril): 78–83.
- Süsskind, Charles. 1970b. "The Early History of Electronics VI." *IEEE Spectrum* 7 (Septiembre): 76–84.
- Süsskind, Charles. 1974. "Guglielmo Marconi (1874–1937)." *Endeavour* 33: 67–72.
- Tattersall, James J. and Shawnee L. McMurrin. 1995. "Hertha Ayrton: A Persistent Experimenter." *Journal of Women's History* 7: 86–112.
- Taylor, J. E. 1903. "Characteristics of Earth Current Disturbances and their Origin." *Proceedings of the Royal Society* 71: 225–227.
- Tesla, N. 1894. "On Light and Other Frequency Phenomena" (lectura dada ante la National Electric Light Association, St. Louis, 1893), en *Las Invenciones, Investigaciones y Escritos de Nikola Tesla*, ed. T. Martin. McCall & Emmet.
- Thackeray, D. 1984. "Edison's Electrical Indicator." *Electronics and Wireless World* 90 (Febrero): 30–31.
- Thompson, Jane S., and Helen G. Thompson. 1920. *Silvanus Phillips Thompson: His Life and Letters*. Dutton.
- Thompson, Silvanus P. 1887–08. "The Development of the Mercurial Air-Pump." *Journal of the Society of Arts* 36: 20–49.
- Thompson, Silvanus P. 1896. "On the Property of a Body Having a Negative Electric Resistance." *The Electrician* 37 (3 Julio): 316–318.
- Thompson, Silvanus P. 1897. *Light, Visible and Invisible*. Macmillan.
- Thompson, Silvanus P. 1898. "Telegraphy Across Space." *Journal of the Society of Arts* 40: 453–460.
- Thompson, Silvanus P. 1902a. "The Inventor of Wireless Telegraphy." *Saturday Review* 93 (5 Abril): 424–425.
- Thompson, Silvanus P. 1902b. "Wireless Telegraphy: A Rejoinder." *Saturday Review* 93: 598–599.
- Thompson, Silvanus P. 1910. *The Life of William Thomson*. Macmillan.
- Thompson, Silvanus P. 1911. *Notes on Sir Oliver Lodge's Patent for Wireless Telegraphy*. Edición privada en Londres.
- Thomson, Elihu. 1899. "The Field of Experimental Research." *The Electrician* 43: 778–780.
- Thomson, J. J. 1883–04. "On Electrical Oscillations and the Effects Produced by the Motion of an Electrified Sphere." *Proceedings of the London Mathematical Society* 15: 197–219.
- Thomson, J. J. 1891. "On the Discharge of Electricity through Exhausted Tubes without Electrodes." *Philosophical Magazine* 32: 321, 445.
- Thomson, J. J. 1893. *Recent Researches*. Cambridge University Press.
- Thomson, J. J. 1902. "On Some Consequences of the Emission of Negatively Electrified Corpuscles by Hot Bodies." *Philosophical Magazine* 4: 253–262.
- Threlfall, Richard. 1890. "The Present State of Electrical Knowledge." *Report of the Australasian Association for the Advancement of Science* 2: 27–54.
- Trouton, F. T. 1892. "Radiation of Electric Energy." *The Electrician* 28 (22 Enero): 301–303.
- Trowbridge, John. 1897. *What Is Electricity?* Kegan Paul, Trench, Trubner.
- Tucker, D. G. 1981–02. "Sir William Preece (1834–1913)." *Transactions of the Newcomen Society* 53: 119–138.
- Tyne, G. F. J. 1977. *Saga of the Vacuum Tube*. H. W. Sams.
- Van Helden, Albert, and Thomas L. Hankins, eds. 1994. *Instruments.Osiris*, vol. 9.
- Vendik, Orest G. 1995. "Popov, Marconi and Radio." *Nature* 374 (20 Abril): 672.

- Vyvyan, R. N. 1933. *Wireless over Thirty Years*. Routledge.
- White, Lynn, Jr. 1962. "The Act of Invention: Causes, Contexts, Continuities, and Consequences." *Technology and Culture* 3: 486–500.
- White, W. C. 1943. "Electronics. . . Its Start from the 'Edison Effect' Sixty Years Ago." *General Electric Review* 46 (Octubre): 537–541.
- Wilson, Adrian. 1993. "Foundations of an Integrated Historiography." En *Rethinking Social History: English Society 1570–1920 and Its Interpretation*, ed. A. Wilson. Manchester University Press.
- Wilson, David. 1983. *Rutherford: Simple Genius*. Hodder and Stoughton.
- Wise, Norton M. 1988. "Mediating Machines." *Science in Context* 2: 77–113.
- Woodbury, David O. 1931. *Communication*.
- Woodbury, David O. 1944. *Beloved Scientist: Elihu Thomson*. Boston Museum of Science.
- Woodruff, A. E. 1966. "William Crookes and the Radiometer." *Isis* 57: 188–198.
- Yavets, Ido. 1993. "Oliver Heaviside and the Significance of the British Electrical Debate." *Annals of Science* 50: 135–173.