

«ESTE PRECIOSO INSTRUMENTO QUE AL FIN NO SE HA INVENTADO PARA ADORNAR ESCAPARATES». LAS PILAS EN EL SISTEMA TELEGRÁFICO ESPAÑOL DEL SIGLO XIX

ÁNGEL TOCA**

INVESTIGADOR INDEPENDIENTE

Resumen: *Entre 1856 y 1892 la «Revista de Telégrafos» publicó más de 170 artículos sobre pilas, el treinta por ciento de los cuales fueron escritos por telegrafistas españoles cuya principal formación había sido la de técnicos eléctricos. En muchos de estos artículos manejaron teorías y explicaciones de tipo químico acerca del funcionamiento de las pilas, e instrucciones para su funcionamiento, cuidado y limpieza. En este artículo intentaremos descubrir qué tipo de razones les movieron para seguir esta estrategia, y si fueron capaces de conseguir los objetivos que contemplaron en sus artículos.*

Palabras clave: *Pilas; Teorías físicas y químicas; Telegrafistas; Siglo XIX; España.*

*“Este precioso instrumento que al fin no se ha inventado para adornar escaparates”.
Batteries in the Nineteenth Century Spanish Telegraphy System*

Abstract: *From 1856 to 1892, the “Revista de Telégrafos” published more than 170 articles on batteries, thirty percent of them were written by Spanish telegraphists who*

* Correspondencia: angeltocaotero@gmail.com

** El autor quiere agradecer al Foro Histórico de las Telecomunicaciones (<http://forohistorico.coit.es/>) su esfuerzo por digitalizar sus fondos de revistas, sin el cual este artículo no hubiera sido posible. Igualmente agradece las recomendaciones e indicaciones que dos revisores anónimos le han hecho llegar. Con sus aportaciones este artículo es mucho mejor, y si mantiene algún defecto o error debe ser atribuido en exclusiva al autor.

had been trained as electricians. In many of these articles authors used chemical theories and explanations about batteries, instructions on their operation, care, and cleaning. We will try to discover what were the reasons of this strategy and if telegraphists were able to achieve the goals that they envisaged in their papers.

Key words: Batteries; Physical and Chemical Theories; Telegraphists; XIXth Century; Spain.

Introducción

En junio de 1871 Justo Ureña y José Galante, por ese tiempo director y subdirector de sección del cuerpo de telégrafos respectivamente¹, se enzarzaban en una discusión en las páginas de la «Revista de Telégrafos» sobre el espacio que la pilas debían ocupar en las estaciones telegráficas. Al referirse a las condiciones que debían guardar esos lugares, Ureña señalaba la necesidad de que fueran limpios y bien iluminados, en anaqueles accesibles para que los telegrafistas pudieran, a simple vista, comprobar el estado en el que se encontraba cada una de ellas. Sugería que la pila era un precioso instrumento destinado al correcto funcionamiento de la estación, y no a su adorno, y siguiendo esta idea nos hemos querido preguntar qué lugar ocupaban las pilas en el imaginario de la nueva profesión del telegrafista. Queremos incidir en el papel que éstas jugaron a la hora de legitimar una profesión cuya formación era la de técnicos electricistas, sin más conocimientos químicos que los adquiridos en los libros de texto durante sus años de formación, y obligados a estar al tanto de lo que la Química decía sobre el funcionamiento de las pilas.

Para que podamos encuadrar las ideas que se manejaron en los artículos escritos por los telegrafistas durante estos años, se hace necesario conocer mínimamente las teorías que explicaron el funcionamiento de las pilas a lo largo del siglo XIX, especialmente en su segunda mitad. Desde los tiempos de Volta y Galvani se consideró que era el contacto entre el metal y el líquido la causa de la actividad de las pilas (Mertens, 1998b; Russell, 1959; Heilbron, 1978; Sudduth, 1980). Desde los primeros estudios realizados en el Reino Unido sobre la descomposición del agua por la acción de la pila, se creyó que ésta jugaba un papel importante en el fenómeno eléctrico. Esto propició la aparición de explicaciones de tipo químico sobre su funcionamiento, como las de Wollaston o Davy (Sudduth, 1980; Russell, 1959; Kipnis, 2001; Chang, 2012). Hacia 1820 la teoría química experimentó un nuevo

1. Ambos habían aprobado en la primera oposición al cuerpo de subdirectores que se realizó en noviembre de 1856, como puede comprobarse en el primer número de Revista de Telégrafos. Suponemos que posteriormente Ureña ascendió a la categoría de director. En la primera escala del cuerpo de telégrafos los directores eran los jefes de las estaciones principales. En el caso de que estas estaciones no tuvieran esa consideración, entonces podía ser dirigida por un subdirector. *Revista de Telégrafos*, 15 de diciembre de 1856: 8.

auge coincidiendo con la introducción del galvanómetro, aparato que permitió apuntar a la intensidad y no a la tensión como la magnitud que más claramente ponía en evidencia la conexión entre electricidad y afinidad química (Kipnis, 2001). Hacia la tercera década del siglo XIX Faraday dio un nuevo impulso gracias al descubrimiento de sus leyes sobre la electrolisis (Kragh, 2000; James 1989), mientras que en 1856 Becquerel establecía una relación cuantitativa entre los calores de combustión y la afinidad química (Levere, 1993). Se llegó a un consenso entre los defensores de la teoría química y la de contacto: la ciencia de ese momento no era capaz de solucionar la controversia (Kipnis, 2001). Una nueva vuelta de tuerca de la teoría de contacto fue obra de William Thomson y James Clerk Maxwell, quienes argumentaron a partir de 1873 que gran parte de la fuerza electromotriz no debía buscarse en la unión de los dos metales, sino en la superficie que separa los metales de cualquier medio que formase parte del circuito (Hong, 1994; Kragh, 2000).

La disputa llegó a su fin en la década de los años 80, cuando Nernst fue capaz de derivar la fuerza electromotriz de una pila a partir de consideraciones termodinámicas y de mecánica estadística. Para Ostwald la controversia había evolucionado a la par de los métodos eléctricos de determinación de las diferencias de potencial. Hasta 1830 no existieron medidas cuantitativas de esta magnitud, lo cual favoreció a las teorías de contacto. Entre 1840 y 1850 fueron las medidas poco precisas de Kohlrausch las que decantaron la balanza a favor de una explicación química del fenómeno. Las medidas precisas de los calores de reacción, y especialmente la determinación del potencial por el método de la tensión superficial hicieron que definitivamente fueran las teorías químicas las que terminasen por explicar el funcionamiento de las pilas (Hong, 1994).

Todas estas teorías no deben ser contempladas desde la óptica actual de dos disciplinas ya consolidadas como la Física y la Química, sino con la perspectiva de la segunda mitad del siglo XIX. En este tiempo ambas disciplinas no existían como espacios separados, ni había una frontera neta que las separase (Dörries, 1998: 247); tan solo diferencias de tipo metodológico y conceptual. El éxito de la Física se había basado en la mecánica newtoniana y la matematización del movimiento de los cuerpos en el tiempo y el espacio, bajo la influencia de las fuerzas (Hiebert, 1996: 94). Mientras la Química definía un estilo propio centrado en el laboratorio (Bensaude-Vincent, 2009: 366) y un marco teórico que servía como guía para la organización y la clasificación de la materia y sus transformaciones (Hiebert, 1996: 97). A pesar de esta diferencia sustancial, a lo largo del siglo XIX existieron campos como el de la óptica, el calor o el fenómeno eléctrico, y donde esos límites se diluyeron (Hiebert, 1996: 104; Dörries, 1998: 250).

Tal y como ha puesto de manifiesto Wise, máquinas como el telégrafo pueden mediar en diferentes ámbitos del conocimiento. De los dos modos de mediación descritos por Wise, el telégrafo representó la opción metodológica, la que localiza la verdad del conocimiento teórico en su utilidad, y la utilidad del conocimiento práctico en su verdad (Wise, 1988: 77). Al hacerlo el telégrafo medió entre dos conceptos de progreso: el industrial ba-

sado en el control de la materia, y el científico basado en la explicación de esa materia (Wise, 1988: 92). Desde esta perspectiva la pila eléctrica, una pequeña parte del sistema que representó para Wise la industria telegráfica de la segunda mitad del siglo XIX, bien pudo haber actuado como mediadora entre los primeros telegrafistas españoles.

Las pilas en el sistema teleográfico español del siglo XIX: introducción y protagonistas

Queremos en este artículo abordar en su contexto la cuestión referida a los distintos tipos de pilas que funcionaron en el sistema teleográfico español, entre 1856 y 1892. Esta demarcación temporal viene dada por la principal fuente que hemos manejado, la «Revista de Telégrafos», cuyos ejemplares al completo han sido consultados.² Esta publicación quincenal que vio la luz el 15 de diciembre de 1856, un año después de haberse puesto en marcha la primera línea telegráfica eléctrica, declaraba en su portada ser un «periódico científico e industrial dedicado a todas las clases de la sociedad y más especialmente a los empleados del ramo». Su primer director, Diego Montaut y Dutriz, proclamaba que su objetivo era «exponer con la mayor brevedad y sencillez la historia y progresos de esta que ya puede llamarse ciencia [la telegrafía]». Para esto consideraba necesario introducir nociones generales sobre electricidad, «sin los cuales sería imposible comprender la manera de obrar los telégrafos eléctricos».³ Publicada inicialmente por la imprenta de José Rodríguez, y posteriormente por la Imprenta Nacional, llegó a ser considerada por los propios telegrafistas como el órgano oficioso de la Dirección General (Olivé Roig, 2013: 35). Esto fue debido a que entre los primeros facultativos del cuerpo abundaron militares e ingenieros civiles, los cuales pudieron utilizar la revista para promocionar un reconocimiento que ya tenían en esa época los distintos cuerpos de ingenieros.⁴ La revista estaba organizada inicialmente en tres secciones: una primera destinada a la publicación de obras originales, todas ellas escritas o traducidas por inspectores, directores y subdirectores de sección.⁵ Le seguía una sección denominada «Parte oficial» en la que aparecían reglamentos, nuevas órdenes o el esta-

2. Salvo los números del año 1875, ya que durante ese tiempo la revista interrumpió su publicación.

3. Montaut, D., «Breve reseña de los progresos de la electricidad», *Revista de Telégrafos*, 15 de diciembre de 1856: 3. Añadía también que era imposible «ser un empleado completo e instruido en este ramo, sin poseer las nociones que enunciamos anteriormente, y por eso nuestro propósito [estará] dirigido hoy más bien a aquellos jóvenes que se dedican a tan honrosa y distinguida carrera...».

4. En las primeras oposiciones de ingreso al cuerpo facultativo de telégrafos quedaron exentos de tener que demostrar sus conocimientos técnicos «los incluidos procedentes del cuerpo de Artillería, Ingenieros [militares] y Estado Mayor», así como los ingenieros de Caminos, Minas, Montes e Industriales. Anónimo, «Parte oficial», *Revista de Telégrafos*, 15 de diciembre de 1856: 6.

5. Hemos encontrado referencias a revistas inglesas como *The Telegrapher*, *The Electrician* o *Electrical Engineer*, francesas como *Journal de Télégraphes*, *Cosmos* o el *Journal Télégraphique*, italianas como *L'Electricista* y alemanas como *Elektrich Zeitschrift*.

do de los distintos escalafones del cuerpo de telégrafos, y una final dedicada a las noticias varias donde se encontraban pequeñas reseñas de artículos escritos en diversas publicaciones extranjeras. A lo largo de los años estas secciones iniciales fueron modificándose, publicando una media de 10 artículos por número.

La historia del sistema telegráfico español comenzó con las primeras pruebas para un sistema óptico de telegrafía, realizadas a partir de 1844 por el militar José María Mathé. En 1852 el propio Mathé recibió el encargo de viajar por Europa para estudiar los diversos sistemas telegráficos eléctricos. Las pruebas de la primera línea telegráfica eléctrica, que desde Madrid hasta Irún nos ponía en comunicación directa con Europa, se completaron el 27 de octubre de 1855.⁶ El primer telegrama oficial se envió el 8 de noviembre, por una línea que unía Madrid con Guadalajara, Zaragoza, Pamplona, San Sebastián e Irún. La Academia de Ciencias de Madrid elaboró al tiempo un informe que señalaba cuáles deberían ser las características que deberían tener las líneas a instalar. Se encargó a los químicos Vicente Santiago Masarnau y Manuel Rioz Pedraja, y al ingeniero de caminos Pedro Miranda, la elaboración del informe que incluía, entre otras cosas, el estudio de los medios para «...la producción de las corrientes eléctricas y los medios de medir y regularizar su intensidad» (Olive Roig, 2005: 8-23; Sánchez Miñana, 2002-2003: 211-222; Navarro Moreno, 2005: 43-58).

¿Qué es lo que se entendía con el nombre genérico de pila? Hemos observado en nuestro estudio que su significado era ambiguo, ya que en ocasiones hacía referencia a algunos de los elementos que la formaban, y en otras al conjunto completo de todos ellos. Por elemento se entendía el conjunto de dos electrodos metálicos (de cobre, de cinc o de carbono, según modelos), sumergidos en un medio que contenía uno o varios electrolitos, y que a veces se encontraban separados entre sí por medio de vasos porosos, y en otras no. Las pilas utilizadas en los primeros sistemas telegráficos tenían elevadas resistencias internas y, por tanto, generaban intensidades débiles (Huard, 1893a: 3-4). Además, había que considerar si el circuito que debían alimentar se mantendría permanentemente abierto o cerrado. Por ejemplo, el sistema telegráfico estadounidense, con líneas de gran longitud y un número considerable de servicios, funcionaba en circuito cerrado, es decir, la señal consistía en la interrupción de la corriente establecida entre la estación inicial y la final (sin participación de estaciones intermedias).⁷ Esto implicaba la utilización de pilas que pudiesen despolarizarse rápidamente, que produjesen una intensidad constante y regular en el tiempo, y que además pudieran trabajar sin la necesidad de separar los electrodos con vasos porosos o diafragmas, ya que en esta disposición la difusión interna de los iones era míni-

6. Según Saravia, la línea había quedado ya en comunicación el día 27 de octubre, y el ramal entre Pamplona y Bilbao de esa misma línea funcionaba desde el 19 de octubre. Saravia, E., «Historia de la Telegrafía eléctrica en España», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1862: 471.

7. Justo Ureña explicó el funcionamiento de este sistema en un artículo publicado en 1861. Ureña, J., «La aguja Wheats-tone», *Revista de Telégrafos*, 15 de enero de 1861: 24.

ma. Sin embargo, el sistema telegráfico europeo, de escasa longitud y menor número de servicios trabajaba en abierto, es decir, el circuito sólo se cerraba cuando se pulsaba la señal. Esto demandaba pilas que, al igual que en el sistema estadounidense, no se vieses sometidas a una rápida polarización pero en las que era imprescindible la utilización de un medio de separación entre electrodos. Además, hay que tener en cuenta que en el interior de una estación podían encontrarse dos tipos diferentes de pilas: las denominadas de línea, es decir aquellas formadas por varios elementos capaces de crear una diferencia de potencial suficiente para comunicar entre sí dos estaciones, y las llamadas locales, aquellas que se necesitaban para el funcionamiento de todos los aparatos existentes en el interior de una estación: el sistema Morse, los timbres de aviso de llamadas, etc.⁸

Las pilas utilizadas en la primera línea telegráfica entre Madrid e Irún fueron las del modelo Wollaston, una variante del denominado modelo de corona de Volta que constaba de un electrodo de cobre y otro de cinc sumergidos en una disolución de ácido sulfúrico. Para esta primera línea se adquirieron 62 pilas, formadas cada una de ellas por 24 pares o elementos.⁹ Este primer modelo se mantuvo en funcionamiento entre 1855 y 1858, pero ya en 1857 la Dirección General de Telégrafos publicaba una instrucción sobre el uso de la pila Daniell, la cual se extendería en los años siguientes a lo largo del sistema telegráfico español.¹⁰

En 1862 se habían instalado ya 9566 elementos de pila de línea y unas 760 de pilas locales, para dar servicio a los 7173 km de líneas existentes en España.¹¹ En esa época una estación de capital de provincia como la de Valladolid disponía de cuatro pilas locales, de cuatro elementos cada una, y de tres pilas de línea de 150 elementos (Olivé Roig, 2005: 167), mientras que una estación de enlace disponía de pilas de línea de 20 a 50 elementos. En el presupuesto de 1869 encontramos desglosados los gastos destinados al mantenimiento de 281 pilas locales y 11406 pilas de línea. Se necesitaban 9000 kg de sulfato de cobre, 5200 vasos de cristal para ambos tipos de pila, y unos 12300 vasos porosos. Además, se necesitaban 9000 cilindros de cinc para pilas de línea y unos 200 para las locales, junto a 200 electrodos de cobre. Todo ello para una previsión de millón y medio de despachos telegráficos. El importe total de este presupuesto de mantenimiento alcanzaba los 5730 reales de vellón.¹²

8. Olivé señala que para distancias menores de 100 km eran necesarios de 15 a 30 elementos Daniell, de 30 a 50 para distancias comprendidas entre 100 y 200 km, de 50 a 70 para longitudes entre los 200 y los 300 km y de 70 a 100 elementos si la distancia estaba comprendida entre los 300 y los 500 km (Olivé Roig, S., 2004: 213).

9. Saravia, E., «Historia...»: 471. Consideraciones sobre la pila Wollaston en (Huard, 1893a: 7-18).

10. Anónimo, «Ministerio de Gobernación. Decretos», *Revista de Telégrafos*, 15 de noviembre de 1868: 150.

11. Exea, R., «Estadística», *Revista de Telégrafos*, 15 de mayo de 1862: 436. Las cifras hacían referencia a lo inventariado a fecha de diciembre de 1861.

12. Anónimo, «Presupuesto de los gastos que se calculan necesarios para el entretenimiento del material de estación durante el año económico de 1868 a 1869», *Revista de Telégrafos*, 15 de agosto de 1868: 184.

¿Y quién se encargó del mantenimiento y funcionamiento de todos los tipos de pilas que funcionaron en el sistema telegráfico español? El reglamento de 1857 indicaba que era obligación de los oficiales de sección contribuir «...personalmente al reconocimiento de las pilas, máquinas y demás elementos de comunicación,...» (Artículo 40).¹³ Cuatro años después se publicaba un nuevo reglamento, en cuyo capítulo tercero, artículo 45, se señalaba que serán los telegrafistas los que estarán a cargo del «...entretenimiento de las pilas en completa aptitud para el servicio».¹⁴ En 1891 eran los auxiliares de transmisión los que tenían conocimientos suficientes «...sobre el montaje, entretenimiento, limpieza de la pila Callaud y Leclanché-Barbier» (artículo 19).¹⁵

En un primer momento el cuerpo de telégrafos se nutrió de personal con formación eminentemente práctica, con conocimientos en electricidad y sus principales aplicaciones.¹⁶ En 1865 se creó la Academia Especial de Telégrafos, a la cual se accedía por examen de ingreso. Una vez aprobado los aspirantes recibían el título de telegrafistas-alumnos, con el fin de que adquiriesen «...la práctica necesaria en el manejo de aparatos telegráficos, montaje de estaciones, reparación de averías y demás conocimientos indispensables...».¹⁷ En el temario que los aspirantes debían preparar había temas de Física relacionados directa o indirectamente con el uso de las pilas, como aquellos dedicados a las de uno o dos líquidos, o a las pilas secas y sus aplicaciones. En cuanto a los temas de Química, a los aspirantes se les exigía manejar el concepto de afinidad y conocimientos sobre metales como el cinc, el cobre o el hierro. En 1876 se establecieron por Real Orden los temarios de los programas para el ingreso en la Escuela de Aplicación.¹⁸ Se recomendaba que para los cursos elementales los conocimientos de Química se ciñesen en su extensión al Curso Elemental de Química de Regnault (traducido en 1850 por Gregorio Verdú), y los de Física al Tratado Elemental de Física de Ganot (traducido al castellano en 1862 por José Monlau). En estos cursos elementales deberían estudiarse brevemente las pilas tipo Daniell, Bunsen y Callaud (tema 10), y un nutrido tipo de sustancias como ácidos, metales y sales de cinc y cobre principalmente. Para el curso de ampliación de Física se recomendaba el manual de Daguin (*Traité Elementaire de Physique Théorique et Experimentale*), en el que se estudiaba la teoría química de la pila, los efectos químicos y caloríficos de su funcionamiento, así como las pilas de corriente constante. Para la ampliación de Química se pedía estudiar la metalur-

13. Anónimo, «Reglamento Orgánico del Servicio Telegráfico», *Revista de Telégrafos*, 30 de enero de 1857: 31.

14. Anónimo, «Reglamento Orgánico del Cuerpo y Servicio Telegráfico», *Revista de Telégrafos*, 1 de febrero de 1861: 48.

15. Anónimo, «Reglamento», *Revista de Telégrafos*, 16 de enero de 1891: 27.

16. Anónimo, «La enseñanza industrial de la electricidad», *Revista de Telégrafos*, 1 de enero de 1889: 14.

17. Anónimo, «Programa de las materias que se requieren para ingresar en el cuerpo de telégrafos que ha de formar parte del de comunicaciones por la clase de telegrafistas segundos, y demás condiciones que habrán de reunir los aspirantes a dichos empleos», *Revista de Telégrafos*, 15 de septiembre de 1869: 209

18. Anónimo, «Programas de las asignaturas que se exigen para el ingreso y el ascenso en el Cuerpo de Telégrafos», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1876: 151-156.

gia del cinc, del cobre y del mercurio, así como las teorías electro-química y atomística. Finalmente, en el curso de Telegrafía Práctica se estudiaban las pilas Daniell, Minotto, Callaud, Leclanché (de dos líquidos), y las Grove o Bunsen de un solo líquido. Los alumnos debían conocer las condiciones de funcionamiento que requiere una pila, así como saber determinar las constantes de la misma y todas las pruebas a las que había que someterlas todos los días.

La influencia que tuvieron estos primeros telegrafistas, directores o subdirectores de sección, inspectores, etc., en la elaboración de estos programas es algo que nuestro estudio no ha podido establecer. Lo que sí hemos constatado es que varios de ellos recibieron el encargo de realizar estudios comparativos de diversos tipos de pilas, como el que realizaron en 1865 los profesores de la Escuela de Aplicación, Hipólito Araujo Sánchez y el Sr. Savall.¹⁹ En otras ocasiones eran oficiales de estación los que enviaban a la Dirección General memorias sobre el mejor funcionamiento de los diversos instrumentos que existían en las estaciones. Ejemplos de este tipo de memorias encontramos la del telegrafista de la estación de Tarazona, Carlos March, en las que se describía un nuevo sistema de pila, o la que el oficial de 2ª de la estación de Infiesto, Ramón Gutiérrez Santos, envió sobre un nuevo tipo de pila marina.²⁰ Florencio Echenique, jefe del taller del Cuerpo de Telégrafos, propuso en 1885 modificar la pila Daniell-Callaud con el objetivo de que ésta se convirtiese en una pila de campaña.²¹ Este caso es especialmente relevante porque muestra el papel jugado por los telegrafistas que trabajaban dentro del taller existente en el Gabinete Central de Madrid. Este taller había sido organizado en su parte técnica por el propio Florencio Echenique, y en su parte administrativa por el jefe de la Escuela de Telegrafistas, José Redonet, para que «...operarios inteligentes que con los elementos de que el taller dispone puedan construir toda clase de aparatos».²²

Aspectos teóricos y prácticos involucrados en el funcionamiento de las pilas

Antes de comenzar con la descripción de los distintos tipos de modelos de pilas que funcionaron durante estos años, queremos detenernos en dos asuntos que nos parecen relevantes, y que aparecieron periódicamente en las páginas de la revista. La primera tiene que ver con las distintas teorías, de tipo físico y químico, que los autores fueron mostrando para

19. Peñafiel, A., «Crónica del Cuerpo», *Revista de Telégrafos*, 1 de marzo de 1865: 52. Hipólito Araujo fue comisionado en 1871 para acudir a la Conferencia Internacional de Telegrafía de Roma. ANÓNIMO. 75 aniversario creación UIT. [Fecha consulta: 12 de junio de 2018] Disponible en: telegrafistas.es/61-telegrafia-electrica/libros-de-telegrafia/187-75-aniversario-creacion-uit.

20. Anónimo, «Sobre una pila», *Revista de Telégrafos*, 1 de abril de 1881: 287-288 y 291-292.

21. Anónimo, «Pila Echenique», *Revista de Telégrafos*, 16 de septiembre de 1885: 200.

22. Anónimo, «El nuevo taller del Cuerpo de Telégrafos», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1884: 162-163. La idea era conseguir que el taller suministrase todo aquel equipo que pudiese, evitando así la adquisición del material telegráfico en el extranjero.

explicar la naturaleza y el funcionamiento de las pilas. La segunda era de índole práctico y tenía que ver con la determinación de las denominadas constantes de las pilas. Este asunto era de especial importancia ya que establecía un criterio de comparación entre distintos tipos de pilas, y permitía tener magnitudes que era imprescindible conocer para el buen funcionamiento de una estación telegráfica.

La naturaleza química de la pila

Como hemos indicado anteriormente, la mayor parte de los telegrafistas accedían a su puesto de trabajo tras un periodo inicial de formación, en el cual recibían conocimientos de tipo físico, fundamentalmente de tipo eléctrico. Sin embargo, la naturaleza enigmática de la pila y la esencia dual de su funcionamiento, químico y eléctrico a la vez, les obligaba a buscar en la Química aquellos conceptos que fuesen capaces de dar una explicación de su funcionamiento. Al mismo tiempo se trataba de utilizar este tipo de conocimientos como un corpus propio de la profesión de telegrafista, muy diferente de la de un simple técnico eléctrico. Además, la componente técnica de la profesión era importante; la necesidad teórica de entender el funcionamiento de todos los aparatos a su alcance, pilas incluidas, les permitía adquirir criterios para seleccionar aquellos modelos que fueran los más adecuados para el servicio teleográfico.

Cuando revisamos los conocimientos químicos que los telegrafistas manejaron a lo largo de los 35 años de publicación de la revista encontramos el conjunto de gran parte de las teorías desarrolladas a lo largo del siglo XIX. Vemos desfilar ante nosotros ideas sobre la afinidad química, la combustión, la electroquímica de Davy o Faraday, así como la teoría electroquímica de Berzelius. También aparecen las relaciones termoquímicas entre calor y electricidad de Favre-Silberman o Berthelot-Thomsen, y conforme nos acercamos al final del siglo las teorías electrolíticas de la escuela de los ionistas, fundadores de la nascente disciplina de la Química Física. Mezclado con todo esto encontramos las teorías eléctricas sobre el funcionamiento de las pilas, y criterios técnicos que permitían comparar el funcionamiento de diferentes modelos. Con respecto a esto último fue clave la determinación de las denominadas constantes de una pila, lo que hoy conocemos como su fuerza electromotriz y su resistencia interna. Estos métodos se reformularon a lo largo de este tiempo, coincidiendo con la definición internacional de las unidades de las diversas magnitudes eléctricas: resistencia, intensidad y diferencia de potencial.

Para explicar el funcionamiento teórico de la pila los telegrafistas manejaron indistintamente teorías de tipo físico o químico. Un mismo autor podía defender ambas en artículos diferentes, al margen de que en ese momento predominasen unas sobre otras.²³ Recordemos que hasta la explicación definitiva de Nernst en la década de los 80, hubo consenso en

23. Como puede observarse a continuación con José Galante, quien en el mismo año y en dos artículos distintos es capaz de defender la teoría física del contacto y la teoría química de la afinidad.

que ninguna de las dos teorías era capaz de dar una explicación definitiva sobre su funcionamiento. Por esta razón vemos como los autores que polemizan son capaces de retroceder para traer antiguas explicaciones que refrendasen sus puntos de vista.

En octubre de 1862 José Galante ya exponía que el funcionamiento de la pila Volta se debía «...al contacto de los dos metales».²⁴ En mayo de 1863, como réplica de los artículos publicados meses antes por Francisco Zubeldia, el mismo José Galante afirmaba que, a pesar de que «...la naturaleza de lo que se llama electricidad y sus propiedades esenciales nos son desconocidas»²⁵ era hipotético y aventurado fiar todo a las explicaciones de tipo químico. Descartaba la teoría del contacto entre metales y electrolitos señalando que era falso que «...en los polos de la pila estará acumulada una cantidad de electricidad equivalente a tantas veces la desarrollada por [cada] elemento». Sin embargo, era en los polos de la pila, es decir en los electrodos metálicos, de donde provenían los dos tipos de electricidad. En la misma línea de utilizar a teorías de tipo físico estaba un artículo publicado en mayo de 1866 según el cual el origen de la electricidad dinámica residía en el rozamiento molecular, ya que la electricidad denominada estática tenía su origen en el rozamiento de los cuerpos.²⁶

Los artículos que defendieron el origen químico del funcionamiento de la pila son mayoría en los primeros años de publicación de la revista. En 1861 era la acción química la causa de la electricidad, ya que ésta provenía de la descomposición del agua, lo cual producía la oxidación del cinc y la reducción del sulfato de mercurio por medio del hidrógeno desprendido.²⁷ En términos semejantes se manifestaba José Galante en 1862, cuando al explicar el funcionamiento de la pila Daniell otorgaba el protagonismo al ácido sulfúrico formado a partir del sulfato de cobre, el cual «...atraviesa el vaso poroso y disolviéndose en el agua ataca al cilindro de cinc».²⁸ Como consecuencia de esta acción el cinc, al ser metal activo, «...se carga de electricidad negativa», siendo el agua, la disolución de sulfato y el cobre el polo positivo de la pila por cargarse todos ellos con la electricidad positiva. El fin de la acción química no era otro que el de separar los dos fluidos, oponerse a su reunión y repelerlos en distintas direcciones. La fuerza separadora de los fluidos eléctricos constituía así lo que los telegrafistas denominaban la fuerza electromotriz, la cual no era más que «... la fuerza de polarización de las moléculas que constituyen la pila».

24. Galante, J., «Polos de la pila», *Revista de Telégrafos*, 15 de octubre de 1862, 558-561.

25. Galante, J., «Algunas consideraciones sobre el estudio monográfico de la pila del Sr. Zubeldia», *Revista de Telégrafos*, 15 de febrero de 1863, 37-41. Francisco Zubeldia aprobó en la misma oposición al cuerpo de subdirectores que lo habían hecho Ureña y Galante (ver nota 1).

26. Anónimo, «Memoria sobre la pila», *Revista de Telégrafos*, 15 de mayo de 1866, 89-90.

27. Anónimo, «Nueva pila voltaica de sulfato de mercurio», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1861, 190.

28. Galante, J., «Fuerza electro-motriz, tensión e intensidad de las pilas hidro-eléctricas», *Revista de Telégrafos*, 1 de marzo de 1862, 373.

En términos similares se manifestaba Juan Ravina, apelando al carácter electropositivo de algunos elementos químicos y de sus compuestos, en consonancia con las ideas de Berzelius. Este tipo de sustancias «...están constituidos con mayor proporción de electricidad», y por tanto «las afinidades químicas pueden materializarse por una carga eléctrica de naturaleza contraria».²⁹ Para Ravina la fuerza electromotriz era, «...directamente como la afinidad del elemento positivo de la batería por el constituyente electro-negativo o anión del fluido excitante o electrolito, e inversamente como la afinidad del elemento negativo por el anión». En términos diferentes se refería Ernesto Saint Edme al cinc en los distintos modelos de pila, ya que para él éste se quemaba «...a costa del oxígeno del agua, [y] el hidrógeno se coloca sobre el conductor positivo».³⁰ La pila Daniell funcionaba al «...consumir el hidrógeno a medida que se dirige al conductor positivo». De manera similar George Leclanché explicaba unos años después que el funcionamiento de su pila era debido a «... la disolución de un metal. Esta disolución puede considerarse como una combustión, cuyos efectos deben ser proporcionales a las intensidades de las fuerzas que entran en juego, o sea a la afinidad de los cuerpos que se hallan en presencia».³¹

Otros pusieron el foco en el origen termoquímico del funcionamiento de la pila, traslación de las teorías enunciadas inicialmente por Berthelot y Thomsen. En 1867 se publicaba un artículo de Marie-Davy en el que se consideraba «...el poder electromotor de las pilas como igual a la suma de la potencia viva resultante de las acciones químicas...», cuya medida era cuantificada por «...el calor desprendido de dichas reacciones».³² Existía una relación directa entre el calor desarrollado en la reacción química y la fuerza electromotriz de la pila, relación puesta de manifiesto por Favre y Silbermann. En términos similares se manifestaba en 1870 Delaurier, quien afirmaba que «...el calor obrando sobre un cuerpo es quien produce siempre la electricidad».³³ Negaba que fuese la acción química la causante de la electricidad, sino el calor desprendido por dicha acción. Afirmaba que si la acción química tuviera algo que ver, cómo explicar que «la acción más poderosa, fácil y económica como es la combustión, no genera corriente alguna».³⁴ Al igual que habían afirmado Joule, Favre o Silbermann, el calor era el causante de la aparición de la electricidad, ya que al encontrar resistencia en el líquido que se comporta

29. Ravina, J., «Teoría química del par voltaico», *Revista de Telégrafos*, 15 de diciembre de 1862, 607-612.

30. Saint Edme, E., «De la electricidad», *Revista de Telégrafos*, 1 de noviembre de 1867: 286.

31. Leclanché, G., «Noticia acerca de la pila Leclanché, precedida de algunas consideraciones sobre el empleo de las pilas eléctricas en telegrafía», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1874, 145.

32. Anónimo, «Observaciones sobre el poder electro-motor de las pilas», *Revista de Telégrafos*, 15 de mayo de 1867, 129.

33. Delaurier, M., «Nueva teoría de la producción de la electricidad estática y dinámica llamada teoría electro-térmica», *Revista de Telégrafos*, 1 de abril de 1870, 73-80.

34. Delaurier, M., «Experimentos sobre la electricidad y objeciones a la teoría electro-química», *Revista de Telégrafos*, 15 de marzo de 1870, 61-64.

como mal conductor, hace que éste tome las dos electricidades cediendo al cinc la parte negativa. Por tanto, la descomposición química que se produce en el interior de la pila es una consecuencia indirecta del funcionamiento de las pilas, ya que es a su vez consecuencia del calor desprendido.

En 1883 José Galante hablaba por primera vez la relación entre fuerza electromotriz y calor desprendido en la transformación producida en el interior de una pila.³⁵ Al referirse a este calor señalaba que «...según lo que se deduce de la teoría química de la fuerza electromotriz, [ésta] es proporcional al calor resultante, por equivalente químico, de las acciones que en la pila tienen lugar». Un año después del artículo de Galante encontramos una referencia explícita al principio de conservación de la energía, cuando Antonino Suárez Saavedra se refería al funcionamiento de los distintos tipos de pilas. Señalaba que tanto la materia, «como la fuerza, como el trabajo resultante...», conservan siempre el mismo valor total, representan cantidades fijas... y con esos tres grandes factores sólo podemos obtener transformaciones que en nada alteran lo inmutable del número ni lo inmutable de la esencia».³⁶

Hemos encontrado dos breves referencias a la introducción de la teoría iónica, el pilar teórico sobre el que se construyó la disciplina de la Química Física (Servos, 1996). Se trata del resumen de una conferencia impartida por Thomas A. Edison en junio de 1891 en Detroit, ante los miembros de la Society Railway Telegraph, en la que atribuía a «...la traslación de los iones a los electrodos, llevando cada uno de aquellos una carga eléctrica», la buena conductividad de las disoluciones salinas.³⁷ Un año antes se había publicado un artículo en el que, por vez primera, se describían las transformaciones sucedidas en los electrodos en términos iónicos, sin acudir a la electrolisis del agua como causa-consecuencia del funcionamiento de la pila.³⁸

Determinación de las constantes de pilas y el problema de las unidades eléctricas

Un problema que despertó el interés de los telegrafistas fue el que tenía que ver con la determinación de las denominadas constantes de la pila, es decir, el valor de su fuerza electromotriz y de su resistencia interna. Al margen de las dificultades de orden técnico, el principal escollo residía en la ausencia de unidades claras en las que expresar ambas magnitudes, evidente en diversos artículos a lo largo de estos años. Este problema fue resolviéndose paulatinamente a lo largo del siglo XIX (Kershaw, 2007; Gooday, 2004), ciñéndose los telegrafistas españoles a los métodos habituales en la telegrafía europea.

35. Galante, J., «Alumbrado eléctrico doméstico», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1883, 305-312.

36. Suárez Saavedra, A., «Significación, pasado, presente y porvenir de la telegrafía», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1884: 157-162.

37. Anónimo, «La resistencia eléctrica del agua», *Revista de Telégrafos*, 16 de septiembre de 1892: 271.

38. Anónimo, «Pila Orтели», *Revista de Telégrafos*, 16 de noviembre de 1891: 389.

George Prescott, en su manual de telegrafía escrito en 1860, explicaba cómo realizar la determinación de estas constantes. Para establecer la resistencia de una pila debía medirse «...la fuerza de su corriente...» (Prescott, 1860: 442) en diversas situaciones: cuando la batería actúa sola y cuando se inserta en el circuito «...hilo de cobre de un milímetro de diámetro y diferentes longitudes; para una pieza de 10, 15, 20, etc. metros de longitud de este hilo, la resistencia sería de 10, 15, 20, etc.» (Prescott, 1860: 443). Llamando ϵ a la fuerza electromotriz y R a la resistencia interna de la pila, utilizando la ley de Ohm y determinando la intensidad por medio de la desviación de la aguja del galvanómetro, Prescott presentó los resultados obtenidos para la pila Daniell (Prescott, 1860: 444). Los resultados de ϵ (fuerza electromotriz) viene expresados en metros de hilo de cobre de un milímetro.

Number	Insertion in meters	Deflection (°)	Tangent of deflection	Force of current	R	ϵ
1	0	32	0,625	43,75	11,1	486
	68,7	5,45	0,101	7,07		
2	0	16,8	0,302	21,14	21,5	454
	7,2	12,75	0,266	15,82		
					Mean	470

Para comparar las fuerzas electromotrices de diferentes pilas se procedía a colocar la misma en un circuito, moviendo el reóstato hasta conseguir una desviación de la aguja de 45°; tras esto se aumentaba la resistencia girando el reóstato hasta conseguir una desviación de, por ejemplo, 40°; el número de vueltas era así una medida de la fuerza electromotriz de la pila. Por ejemplo, si para una pila Daniell esto se conseguía con 30 vueltas del reóstato, mientras que con una pila diferente se necesitaban 50 vueltas, entonces la fuerza electromotriz de la nueva pila estaba en una relación 50:30 con respecto a la fuerza electromotriz de la pila Daniell³⁹. Después de estas medidas era fácil reducir el número de vueltas necesarias para revertir la aguja de 15° a 10° a la unidad de fuerza electromotriz, expresada en metros de hilo. Por ejemplo, si Wheatstone determinó con su método que 15,1 vueltas del reóstato equivalían a 823 m de hilo de cobre, entonces una vuelta equivalía a 54,51 unidades de fuerza electromotriz. Con esta equivalencia, los valores obtenidos para la pila Daniell eran de 470 m de hilo de cobre, para la pila Grove se obtenía 680 m y para la de Bunsen 711 m.

39. (Prescott, 1860: 445). Lo que de esta manera se medía, advierte Prescott, no era más que «...la proporción entre las fuerzas electromotrices de diferentes pilas».

El conocimiento aproximado de fuerza electromotriz y resistencia interna permitía conocer cuál era la agrupación más conveniente de elementos y pilas, así como la intensidad mínima necesaria para poner en contacto dos estaciones telegráficas. Mariano Giménez de Muñana explicaba la importancia que tenía la agrupación de elementos, ya que «la intensidad de la pila, depende del número de elementos de que esté formada y ocurre con frecuencia tener que variar dicha intensidad, ya para comunicar a diferentes distancias, ya por el mal estado de aislamiento en la línea o por el estado atmosférico, y para estos casos se puede tener la pila dispuesta de manera que se puedan tomar de ella los elementos que se quiera» (Giménez de Muñana, 1868: 18).

En 1868 Francisco Cappa consideraba adecuado expresar los valores de la fuerza electromotriz y resistencia interna de la pila Daniell en metros de hilo telegráfico de 4 milímetros, al ser ésta la unidad utilizada en telegrafía.⁴⁰ En un artículo traducido en 1867 de la revista francesa *Cosmos* encontramos la definición de ohmio como «la de una columna de mercurio, a 0 °C, y una longitud de 1,362 m», y la de intensidad como la de la corriente que «es capaz de depositar en una hora 108 mg de plata».⁴¹ Sabemos que ya en 1862 Siemens había propuesto en Berlín que la unidad de resistencia fuese la de una columna de mercurio de 100 cm de longitud y una sección de 1 mm² (Kershaw, 2007: 113). Los métodos de determinación iban desde la medida de la intensidad a partir de «una brújula de senos o la de tangente»,⁴² al mismo tiempo que se determinaban las vueltas que se daba a un reóstato hasta la de enfrentar dos elementos idénticos, y determinar entonces la resistencia interna midiendo directamente las vueltas dadas al reóstato.⁴³ También fue frecuente encontrar que los valores de la fuerza electromotriz y resistencia interna se comparaban con una unidad arbitraria, tomada como tal la de un elemento determinado que para los telegrafistas era la pila Daniell. Esto permitía establecer comparaciones entre distintos modelos de pilas, como la que aparece en un artículo de 1871 y del que reproducimos la siguiente tabla.⁴⁴

40. Francisco Cappa, «Fórmulas relativas a la máxima intensidad de la corriente dada por una pila», *Revista de Telégrafos*, 1 de enero de 1868: 1-3.

41. Anónimo, «Observaciones sobre el poder electro-motor de las pilas», *Revista de Telégrafos*, 15 de mayo de 1867: 129.

42. Anónimo, «Medida de la resistencia y de la fuerza electro-motriz de las pilas», *Revista de Telégrafos*, 15 de enero de 1870: 15-16.

43. Anónimo, «Determinación de la resistencia y fuerza electro-motriz de los elementos», *Revista de Telégrafos*, 15 de octubre de 1871: 207-208.

44. Anónimo, «Comparación de las pilas», *Revista de Telégrafos*, 15 de marzo de 1871: 49-50. Otorgado el valor unidad a la pila Daniell, los valores numéricos de las demás pilas hacen referencia a las veces que cada magnitud es mayor o menor con respecto a las de la pila Daniell.

Pila	ϵ (fem)	R (resistencia)	I (intensidad)	Observaciones
Daniell	1	1	1	Determina la unidad de corriente
Callaud	1	1	1	
Minotto	1	3-4	0,33-0,25	Tiene diafragma
Marie-Davy	1,40	0,60	2,3	
Grove y Bunsen	1,80	0,16	11,2	Decrece rápidamente y tras 19 h de circuito cerrado la intensidad pasa a 0,43
Ácido sulfúrico y vaso poroso	1,4	2	0,7	

Hasta la década de los años 70 no encontramos referencias a la unidad de resistencia expresada en ohmios,⁴⁵ aunque previamente habían sido traducidos artículos en los que se explicaba el significado de algunas de estas unidades. Así sucedía con el publicado en 1873, en el cual encontramos la definición de intensidad como la cantidad de corriente que atraviesa la unidad de superficie de un conductor.⁴⁶ O la primera referencia a las pilas patrón, como las de Clark o De La Rue, donde las características de la pila son expresadas en ohmios y voltios.⁴⁷

Los principales modelos de pilas

En su obra sobre el telegrafista Enrique Bonnet, Sánchez Miñana afirma que el sistema telegráfico español había utilizado, fundamentalmente, pilas del tipo Daniell y Callaud, y que la única diferencia entre ambas estribaba en la utilización o no de diafragma (Sánchez Miñana, 2007: 59). El análisis realizado a los números publicados en la Revista de Telégrafos ha permitido confirmar la afirmación de Sánchez Miñana, pero al mismo tiempo descubrir que la competencia entre estos dos modelos tuvo también otros protagonistas que no fueron considerados previamente: la pila Grove utilizada mayoritariamente en el servicio telegráfico de Cuba, la pila Minotto, la breve aparición de un modelo nacional como la pila Miguel, o la consolidación a partir de 1880 del modelo Leclanché. Por tanto, el panorama fue un poco más complejo y muestra un proceso de competencia entre distintos modelos que, partiendo de la base común del modelo Daniell, intentaron su extensión por el sistema telegráfico español. Resultan especialmente interesantes las discusiones entre algunos telegrafistas a fa-

45. Anónimo, «Pila Füller», *Revista de Telégrafos*, 1 de marzo de 1877: 232-233.

46. Anónimo, «Sobre las expresiones "tensión", "intensidad" y "cantidad", por el profesor W.E. Ayrton», *Revista de Telégrafos*, 15 de julio de 1873: 166-168.

47. Anónimo, «Elemento de cloruro de plata de M. De La Rue, y elemento constante de Clark», *Revista de Telégrafos*, 1 de febrero de 1879: 20-22.

vor o en contra de uno u otro modelo, y cómo en su argumentario encontramos algunas claves sobre su funcionamiento y la manera en la que éstos trabajaron con ellas.

De cara a este proceso de justificación, que al mismo tiempo supone un proceso de consolidación de la profesión, resultan muy ilustrativos dos artículos publicados por José Galante en 1876.⁴⁸ Nacido en Hinojosa del Duero (Salamanca) en 1821, formó parte de la primera promoción de subdirectores que accedieron al Cuerpo de Telégrafos en 1856. Entre 1866 y 1875 se le comisionó para la redacción de diversos informes⁴⁹, siendo un autor habitual de la revista donde publicó un buen número de artículos técnicos. En 1880 publicó su obra más importante, *Manual de mediciones eléctricas*, la cual le supuso la obtención de una medalla en la Exposición Universal de París en 1881 y el título de académico correspondiente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales española en 1883.⁵⁰ En estos informes se señalaba cuáles eran las consideraciones que había que seguir para elegir el modelo más conveniente, y en opinión de Galante era necesario tener en cuenta «...las propiedades de las sustancias que entran en su composición, la economía en el gasto y la facilidad de su montaje y entretenimiento», además de «...las cualidades nocivas o inocentes de las sustancias de que se componen y de los gases que desprenden»⁵¹. Señalaba también la necesidad de disponer de personal específico destinado al montaje, cuidado y limpieza de los diversos elementos de pilas existentes en una estación, «dotado del celo necesario y de la instrucción suficiente».

La pila Daniell

La pila Daniell substituyó el modelo Wollaston utilizado inicialmente, aunque el tipo de pila instalado en España no correspondió con el modelo original. La pila de intensidad constante de Daniell intentaba resolver los problemas que presentaba la pila Wollaston: el descenso rápido de la intensidad de la corriente conforme el líquido de la pila se saturaba en el óxido de cinc, y la polarización del electrodo de cinc a causa del desprendimiento de hidrógeno producido en el de cobre (Owen, 2001: 26). La disposición inicial que Daniell utilizó en

48. Galante, J., «Algunas consideraciones sobre el sistema de pilas más conveniente para el servicio de telégrafos en España», *Revista de Telégrafos*, 1 de enero de 1876: 6-7; Galante, J., «Informe sobre el material telegráfico, con motivo de la adquisición que debe hacerse en virtud de la ampliación de crédito concedida por el Real Decreto de 31 de agosto último», *Revista de Telégrafos*, 1 de mayo de 1876: 69-71.

49. Como el que hizo sobre una nueva organización de la red, o sobre el estado del material tras el final de la guerra carlista. Anónimo. José Galante y Villaranda. [Fecha consulta: 13 de abril de 2020] Disponible en: <http://telegrafistas.es/telegrafistas-ilustres/biografias-historicas/207-22-jose-galante-y-villaranda>.

50. Anónimo. Relación de Académicos Correspondientes Nacionales de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. [Fecha consulta: 13 de abril de 2020] Disponible en: http://www.rac.es/2/2_4_2.php.

51. En un artículo publicado en 1870, Galante indicaba que era necesario que la corriente producida fuese lo más regular y constante posible, para lo cual también era «...regular y constante la acción química y la resistencia de la pila». Galante, J., «Modificaciones de la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1870: 134.

1836 tenía un objetivo didáctico: mostrar a los estudiantes del Kings College las leyes de la electrolisis de Faraday (Mertens, 1998a: 245-6). En 1837 propuso modificaciones de su modelo original, al percatarse que su primera pila estaba lejos de ser perfecta. Este nuevo modelo supuso la aparición de dos vasos, uno exterior de vidrio relleno hasta la mitad con una disolución diluida de ácido sulfúrico, y sumergido dentro de él un electrodo de cinc y un vaso de arcilla porosa, el cual disponía de un electrodo de cobre y una disolución de sulfato de cobre (Mertens, 1998a: 247-9). Los estudios de Daniell no se limitaron a la construcción de una nueva pila, cuyo diseño recordaba vagamente al modelo original de Becquerel pero cuyo tiempo de descarga multiplicaba por seis el que conseguía la pila del físico francés (Owen, 2001: 25), sino que también estudiaba los factores involucrados en la producción de la corriente y la resistencia interna de la misma, como la superficie sumergida de los electrodos y la distancia entre ambos (Mertens, 1998a: 249).

En enero de 1857 la Dirección General de Telégrafos imprimió una instrucción sobre la pila Daniell, lo que dio pie a algunos historiadores para señalar este año como el del comienzo de su utilización (Olivé Roig, 2004: 211-12). Aunque otros autores han indicado que esta pila estuvo en uso hasta 1867⁵², sin embargo sospechamos que siguió utilizándose posteriormente, ya que en el presupuesto de gasto que la Dirección General elaboró en 1869 para todas las estaciones del sistema, se preveía la compra de 300 vasos porosos para pilas locales y otros 12000 más para pilas de línea.⁵³ En 1861 encontramos la primera referencia en la revista a las pilas Daniell instaladas en España, dentro de una noticia que describía los problemas ocasionados por el sulfato de cobre.⁵⁴ En un estudio monográfico escrito por Francisco Zubeldía un año más tarde, alababa la sustitución de las antiguas pilas Wollaston por las nuevas Daniell, ya que consideraba que este modelo «...satisface la condición de constancia y es a la vez enérgica en el grado aceptable,...».⁵⁵

La cuestión de la limpieza de la pila fue importante, tal y como señalaba un artículo publicado en 1865 en el que se evaluaban los gastos de mano de obra que para el sistema telegráfico francés suponía la limpieza de las pilas Daniell.⁵⁶ El autor indicaba que «las pilas actuales de Daniell exigen gastos de mano de obra para cuidarlas, y en las principales estaciones telegráficas, donde existen muchas veces 400 o más pares, se necesita una persona

52. Suárez Saavedra, A., «Significación, pasado, presente y porvenir de la telegrafía», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1884: 157-162.

53. Anónimo, «Presupuesto de los gastos que se calculan necesarios para el entretenimiento del material de estación durante el año económico de 1868 a 1869», *Revista de Telégrafos*, 15 de agosto de 1868: 184. Sabemos también que en 1873 la estación de Santander continuaba utilizando este modelo de pila.

54. Anónimo, «Nueva pila voltaica de sulfato de mercurio», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1861: 190. Este problema suponía un gasto extra de cinc.

55. Zubeldía, F., «Estudio monográfico de la pila. Dedicado a la clase de telegrafistas», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1862: 546.

56. Anónimo, «Sobre la pila del Señor Minotto (conclusión)», *Revista de Telégrafos*, 1 de septiembre de 1865: 188-191.

exclusivamente encargada de este servicio... Para las pilas Daniell el mantenimiento de 400 pares será por lo menos de 500 francos por año...». Entre las tareas que debían realizarse para su mantenimiento estaban la recarga de la pila con sulfato de cobre, labor en la que los operarios se mostraban especialmente negligentes, y la limpieza de los vasos porosos que actuaban como diafragmas, debido a las incrustaciones que aparecían sobre su superficie. Algo parecido sucedía en los electrodos de cinc. Hipólito Araujo Sánchez, director que redactó varios informes como el que en 1866 hacía junto a José Galante sobre los problemas de funcionamiento de la red, explicaba en 1869 que las incrustaciones afectaban al funcionamiento de la pila aumentando su resistencia interna. Por esta razón era necesaria su pronta sustitución, como así atestiguaba las quejas que llegaban «...al Negociado de material de la Dirección General de Telégrafos».⁵⁷ Galante señalaba en 1876 el mismo problema, cuando sostenía que la limpieza del vaso poroso constituía el punto crítico del correcto funcionamiento de la pila.

Otra operación delicada, al margen de la limpieza de la pila, era la amalgamación del electrodo de cinc. El propio Daniell la adoptó tras las experiencias realizadas en 1837 por Faraday (Owen, 2001: 27). La operación consistía en introducir el electrodo en mercurio el tiempo suficiente para crear una amalgama en su superficie. Eduardo Cabrera, subdirector que fue encargado del proyecto de línea telegráfica León – Lugo, sostenía en 1867 que el procedimiento normal de amalgamación era deficiente ya que no permitía poner las pilas en acción de manera inmediata.⁵⁸ El método ideado por él obviaba este inconveniente, al montar la pila con los electrodos sin amalgamar pero vertiendo en el vaso de vidrio una cantidad de mercurio, uniendo los electrodos entre sí una vez introducidos los respectivos líquidos (ácido y disolución de sulfato de cobre). Señalaba que «por un efecto análogo al que produce el dorado y plateado galvánico se verá en un breve tiempo depositarse el mercurio en la superficie de los cilindros de zinc y formar completamente amalgama con este metal», lo cual permitía la puesta en marcha inmediata y tender a «hacer más duradera su acción, sin necesidad de desmontarlas...». Un año después aparecía publicado un método similar en la revista *Cosmos*, según el cual vertiendo unas gotas de mercurio al electrodo de cinc bastaba para que la amalgamación se renovase inmediatamente.⁵⁹

57. Araujo, H., «Algunas observaciones acerca de la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1869: 125-126. El otro informe del que tenemos constancia lo redactó en 1867, siendo ya subinspector versaba sobre la colocación de cables por el alcantarillado de Madrid. También acudió en 1862 a la Exposición de Londres (Olivé Roig, 2004: 80, 157 y 242).

58. Cabrera, E., «Método para amalgamar el zinc de las pilas», *Revista de Telégrafos*, 1 de noviembre de 1867: 287-288. Sobre el proyecto de línea entre León y Lugo, ver Olivé Roig (2004: 72).

59. Demance, M.E., «Sobre la amalgamación de las pilas eléctricas», *Revista de Telégrafos*, 1 de abril de 1868: 70.

La pila Callaud

Las continuas quejas sobre el funcionamiento defectuoso de las pilas Daniell, y la instalación en el sistema telegráfico francés de un nuevo modelo más económico y fácil de utilizar, hicieron que a partir de la segunda mitad de la década de los 60 comenzasen a instalarse en España las nuevas pilas Callaud. Una breve nota publicada en los *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* de 1857 informaba de las pruebas realizadas por el relojero de Nantes, Armand Callaud con los péndulos eléctricos de sus relojes, y el nuevo modelo de pila que utilizaba para alimentarlos (Callaud, 1857: 104-105). Un año más tarde otra nota en la misma revista informaba de las pruebas realizadas al nuevo modelo de pila ante la administración general, durante las cuales «la potencia de la corriente suministrada [fue] de al menos un treinta por ciento superior al de las pilas Daniell de la misma dimensión y cargada con los mismos líquidos» (Callaud, 1858: 598-599).⁶⁰

Hipólito Araujo ya se hacía eco en 1869 de las principales quejas que sobre el funcionamiento de las pilas Daniell llegaban al negociado de Material de la Dirección General de Telégrafos. Estas tenían que ver con la imposibilidad que presentaba la pila Daniell de modificar su resistencia interna. Además, iba variando según funcionaba debido a las incrustaciones de cinc y cobre que se producía en los vasos porosos y los electrodos. A causa de estas incrustaciones y a la falta de limpieza, «...bien pronto el vaso que al principio era excelente llega a ser malo y hay que relevarlo».⁶¹ Este tipo de problemas puso la atención en el papel que jugaba el diafragma y la necesidad o no de suprimirlo. Precisamente esta había sido la principal novedad de la pila Callaud. En un ensayo publicado por el propio Callaud en 1875, encontramos una descripción de su primer modelo de pila, el cual debió ser similar a los instalados en España (Callaud, 1875).⁶² Su novedad consistía en que partiendo de los mismos elementos que tenía la pila Daniell, suprimía el vaso poroso. Esto obligaba a disponer los electrodos de cinc y cobre de manera que fuese la diferente densidad de los líquidos los que permitiesen la separación entre ellos. El vaso principal, cuyas dimensiones se correspondían con el de las pilas Daniell, disponía de dos agujeros en su pared lateral en los que mediante soportes se sostenían los dos electrodos, el del cinc en la parte superior y el de cobre en la inferior. Sostenido por el soporte superior había un pequeño vaso que vertía directamente sobre la lámina de cobre. Para cargar la pila había que verter agua destilada con una pequeña cantidad de sulfato de cinc o de ácido sulfúrico, mientras en el pequeño vaso interior se introducía una disolución de sulfato de cobre: «La corriente aparecía inmediatamente. Echamos en el vaso interior cristales de sulfato de cobre, los cuales mantendrán la disolución de sul-

60. «puissance du courant émis est de 30 pour 100 au moins supérieure á celle des piles Daniell de même dimension, chargées des mêmes liquides». Esta y otras traducciones son del autor del artículo.

61. Araujo, H., «Algunas observaciones acerca»: 126 (nota 57).

62. La referencia a este ensayo en (Tenant, A.L., 1881: 251).

fato de cobre saturada a medida que tiene lugar el funcionamiento de la pila» (Callaud, 1875: 252).⁶³

La sustitución paulatina de las pilas Daniell por las Callaud debió realizarse de manera intensa a partir de la segunda mitad de los 60. Sobre la conveniencia de su uso y de los informes favorables recogidos por inspectores y directores de sección, nos habla extensamente José Galante en sus dos artículos de 1876 ya citados.⁶⁴ Destacaba la pila Callaud por «... su sencillez y por la facilidad de su montaje y entretenimiento»⁶⁵, mientras que el principal inconveniente estaba en la formación de estalactitas de cobre que provocaban el contacto entre electrodos. Daba una importancia capital a la labor de vigilancia, y al esmero que los operarios debían poner en su limpieza y mantenimiento. Al fiar la separación a la diferencia de densidades, cualquier golpe podía alterar la situación de las disoluciones en el interior de la pila, y dar al traste con su funcionamiento.

Este problema había sido puesto de manifiesto cinco años antes por Antonio Villahermosa, subinspector de la estación de Zaragoza y posterior director de la construcción de la nueva línea entre Madrid y Zaragoza.⁶⁶ Villahermosa recomendaba que las pilas Callaud se situasen en una estantería especial, a la manera que lo hacían en la estación zaragozana, dentro del cuarto de aparatos y desechando «... los cuartos oscuros y distantes, ni mucho menos en una hedionda, húmeda, lóbrega mazmorra como hasta hace poco las ha conservado alguna Estación». Era partidario de limpiar las pilas al menos una vez cada medio año, ya que servía para extraer todas las materias extrañas y residuos producidos por las reacciones. En su artículo de mayo de 1876, Galante sugería algunas modificaciones de la pila Callaud que podían mejorar su funcionamiento. Entre éstas se encontraba dotar de mayor resistencia interna a la pila, con el objetivo de «... disminuir el gran consumo de cinc y sulfato de cobre».⁶⁷ Para ello era necesario utilizar discos de cinc en lugar de cilindros, evitando el cinc fundido por su tendencia a acumular el hidrógeno desprendido en la cara inferior del electrodo. Recomendaba que el cinc se adquiriese en forma de planchas de gran espesor, pudiendo ser éstas suministradas «por la industria nacional».⁶⁸ También reco-

63. «Le courant apparaît immédiatement. On jette dans le godet de verre des cristaux de sulfate de cuivre, qui entretiendront la solution saturée à mesure que le fonctionnement de la pile tendra à l'appauvrir».

64. En un artículo publicado en 1861 se estimaba que el gasto medio anual era de 200 g por elemento. Anónimo, «Noticia sobre la pila Callaud», *Revista de Telégrafos*, 15 de noviembre de 1861: 298.

65. Galante, J., «Algunas consideraciones» (nota 48): 7.

66. Villahermosa, A., «Del diafragma en las pilas llamadas de dos líquidos», *Revista de Telégrafos*, 1 de mayo de 1871: 89-92.

67. Esto venía a contradecir lo señalado en el artículo de 1861. Sin embargo, Galante no indicaba con respecto a qué modelo establecía la comparación de consumo. Galante, J., «Informe sobre el material» (nota 48): 70. Ya en 1859 Manuel Fernández de Castro denunciaba que el inconveniente de la pila Callaud era el de gastar más sulfato de cobre (Fernández de Castro, 1859: 145).

68. Galante, J., «Informe sobre el material» (nota 48): 71.

mendaba llenar con sulfato de cobre la cavidad inferior, sin necesidad de medirlo ya que la mayor parte de las estaciones carecían de balanza. Estas modificaciones serían suficientes para mejorar los resultados de las estaciones con más tráfico, y justificaría sobradamente la inversión realizada en noviembre de 1875 para adquirir los 5000 elementos Callaud.

Tenemos constancia del uso de esta pila hasta finales de los años 80, a pesar de que Saavedra fijaba el final de su utilización en 1884. En 1877 funcionaban en la estación central de Madrid, la más importante del país, más de 800 pilas Callaud de línea y 482 locales, además de otros modelos que en esos momentos comenzaban a probarse como la Leclanché o la pila Siemens.⁶⁹ En 1887 se estimaba que había 25691 elementos de pila Callaud funcionando en España⁷⁰, y dos años más tarde encontramos descripciones detalladas de estas pilas en las líneas que desde Madrid comunicaba con ciudades como Guadalajara, Teruel, Zaragoza o Barcelona.⁷¹

Las pilas Grove y Miguel: una anécdota en el sistema telegráfico español

La presencia de estas dos pilas en los sistemas telegráficos español y cubano puede calificarse de anecdótica. Sin embargo las traemos aquí por lo que cada una de ellas tienen de relevante: la primera, porque su uso está influenciado por el sistema telegráfico estadounidense, y la segunda por tratarse de una patente española que mejoraba mínimamente la pila Callaud.

La única referencia que hemos encontrado sobre la pila Grove nos la dio el telegrafista destinado en Cuba, Juan Manuel Suárez, en un artículo publicado en 1861. La indicación es muy corta y se refiere al tipo de baterías que se utilizaban en ese momento en la isla, «las poderosísimas baterías americanas de Grove, con pares o elementos de tamaño medio, ...».⁷² El modelo de pila Grove fue una evolución entre los modelos de un solo líquido como los de Volta o Wollaston, y los de dos líquidos como la de Daniell.⁷³ Consistía en un electrodo de cinc sumergido en ácido sulfúrico diluido, y un electrodo de platino sumergido en ácido nítrico, separado del anterior por un vaso poroso. Se trataba de una pila que producía una mayor intensidad que la Daniell, pero a costa de la constancia de la corriente y del tiempo de funcionamiento (Owen, 2001: 34-36). Mertens señala que el tiempo de funcionamiento de esta pila era de tres días, lo cual era suficiente para desaconsejarla en un sistema telegráfico como el europeo, en el que recordemos el circuito eléctrico permanecía abierto, y todo ello al margen de la emanación de gases nitrosos durante su funcionamien-

69. Anónimo, «Nuestro propósito respecto de la Estadística», *Revista de Telégrafos*, 1 de diciembre de 1877: 361.

70. Anónimo, «Progresos del Servicio Telegráfico», *Revista de Telégrafos*, 1 de abril de 1887: 100-102.

71. Anónimo, «El fonóporo Langdon-Davies», *Revista de Telégrafos*, 16 de noviembre de 1889: 343-345.

72. Suárez, J.M., «Supresión de la batería local en el aparato de Morse, construido por Moulleron», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1861: 257.

73. Huard calificaba la pila Grove, y a su gemela más económica de Bunsen, como el tercer eslabón en el diseño de pilas (Huard, 1893a: 27-30).

to, lo cual empeoraba las condiciones de trabajo de los telegrafistas (Mertens, 1998a: 253-254; Schallenberg, 1978: 345). El hecho de que en Cuba se hubiesen instalado pilas diferentes a las de la península pone de manifiesto la influencia que tuvieron los suministradores de material, al margen de que el sistema cubano utilizaba el modo de funcionamiento de Estados Unidos, es decir, en circuito cerrado.

La indicación sobre el uso de la pila Miguel nos resulta relevante, por ser uno de los escasos ejemplos que hemos encontrado de una pila patentada en España.⁷⁴ Consistía en una adaptación realizada sobre la pila Callaud por parte de «...el Sr. Miguel, encargado del telégrafo de algunas compañías férreas catalanas» (Olivé Roig, 2004: 211). Tomando como base la pila Callaud, Miguel (o Miquel) introducía en el vaso principal un estrechamiento o cuello, el cual le permitía colocar el electrodo cilíndrico de cinc en la parte superior del mismo.⁷⁵ Su novedad consistió en sustituir el vaso de cristal de una pila Daniell por dos vasos unidos por el cuello, uno de los cuales tenía un diámetro de abertura igual a un tercio del diámetro del otro. El cilindro de cinc descansaba sobre el fondo del vaso superior, mientras que en el inferior descansaba en el fondo la lámina de cobre, y encima de él el sulfato de cobre. Este primer modelo funcionó con éxito en la línea férrea que unía Zaragoza con Barcelona, y el autor creía en su próxima extensión por todo el sistema telegráfico.⁷⁶ Del éxito de la empresa puede dar razón el privilegio de invención número 5149 para una «pila eléctrica llamada “Pila Miguel” aplicable a la telegrafía, locomoción y alumbrado eléctrico», presentada el 31 de agosto de 1874 en el Registro de Patentes.⁷⁷ José Galante dedicó a esta pila tres artículos, todos ellos publicados en 1876. En uno de ellos aseguraba que la pila Miguel no era sino «la pila Callaud modificada por Miquel, que no es otra que la italiana reducida en dimensiones».⁷⁸ Establecía comparaciones entre los dos modelos de pila Callaud, el francés y el italiano, mostrándose partidario de utilizar el primero. Destacaba la sencillez del modelo y la facilidad de montaje y mantenimiento, hecho que fue reconocido por la Dirección General de Telégrafos cuando la adoptó para «...las estaciones principales y para las que tengan translator, quedando los elementos pequeños para las de poco servicio».⁷⁹

74. Otro ejemplo similar lo encontraríamos años más tarde con la pila Echenique, una pila denominada de campaña que se utilizaba para equipos móviles como los que podía utilizar el ejército. Anónimo, «Pila Echenique», *Revista de Telégrafos*, 16 de septiembre de 1885: 200.

75. Anónimo, «Noticia sobre la pila Miguel», *Revista de Telégrafos*, 1 de junio de 1861: 166.

76. Anónimo, «Crónica científica», *Revista de Telégrafos*, 1 de mayo de 1870: 97-99.

77. De momento no hemos podido estudiar la documentación al respecto, bastándonos con la consulta en la base de datos del archivo histórico. OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS. [Fecha consulta: 15 de agosto de 2018] Disponible en: historico.oepm.es/archivohistoricow3c/index.asp#formulario_privilegios.

78. Galante, J., «La pila italiana y la pila francesa», *Revista de Telégrafos*, 1 de diciembre de 1876: 186-188.

79. El translator o repeater era un dispositivo electromecánico utilizado para regenerar la señal telegráfica. Según Prescott para conseguir esto se montaba un segundo circuito que se abría o cerraba a la par que el circuito principal, permitiendo así reenviar la señal original a una nueva estación (Prescott, 1877: 459-477).

En un artículo posterior Galante señalaba que la pila Miguel había demostrado su utilidad, tanto en España como en el extranjero, y defendía su uso ya que prevenía del exceso de sulfato de cobre que se vierte en la pila Callaud; para ello bastaba con «llenar del sulfato de cobre la cavidad inferior, sin necesidad de pesarlo ni de medirlo, circunstancia muy apreciable en atención a que son muy pocas las estaciones que tienen balanza».⁸⁰ Confiaba que los 500 elementos Miguel contratados darían buenos resultados en aquellas estaciones de mucho servicio.

Una pila para la controversia: la pila Minotto

A lo largo de los números de la revista comprendidos entre 1864 y 1872 hemos encontrado en torno a esta pila una viva discusión entre defensores y detractores de su uso. Esto nos ha permitido conocer de primera mano las recomendaciones que algunos telegrafistas hacían a la Dirección General, las dificultades que éstos se encontraban en su día a día dentro de las estaciones, de cómo se aprovechaban los materiales fabricados en nuestro país con el fin de ahorrar en los gastos de mantenimiento, o todo tipo de indicaciones que mejoraban el funcionamiento de esta pila. Pero no sólo las mejoras, sino también los diversos problemas que su funcionamiento produjo y cómo éstos fueron solucionados. En definitiva, un amplio conjunto de prácticas que muestra el papel desarrollado por los telegrafistas dentro de las estaciones.

A pesar de disponer de noticias sobre su uso en otros países, y de la traducción de algunos artículos que el propio Minotto había escrito en revistas técnicas, la puesta en marcha de su pila en el sistema telegráfico español no se produjo hasta 1868. En un informe publicado en 1869, Araujo daba este año como el de la adopción de la pila para el sistema telegráfico español, tras haber estado ensayándose «cerca de un año en la Estación central, ...».⁸¹ El propio Araujo junto a Savall habían recibido en 1863 el encargo de estudiar nuevos modelos de pila, entre los cuáles suponemos se encontraba el Minotto.⁸² En 1865 aparecieron en la revista dos artículos traducido en los que Giovanni Minotto hacía una descripción pormenorizada de su pila.⁸³ Nacido en Venecia en 1803, destacó por la construcción de la pila que llevaría su nombre (Minich, 1869: 1610-1615), además de haber sido vicedirector de los telégrafos de Cerdeña y director jefe de la división de telégrafos italianos (Anónimo, 1886: 248). En el primero de los artículos explicaba como reutilizar el vaso de la pila Daniell, pero con el bocal lo más ancho posible, para colocar en el fondo el

80. Resulta reveladora esta indicación de las carencias a las que los telegrafistas se enfrentaban. Recordemos que se incluía dentro de sus obligaciones el mantenimiento de las pilas. Galante, J., «Informe sobre el material telegráfico»: 70 (nota 48).

81. Araujo, H., «Algunas observaciones acerca de la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1869: 125.

82. Peñafiel, A., «Crónica del Cuerpo», *Revista de Telégrafos*, 1 de marzo de 1863: 52.

83. Anónimo, «Sobre la pila del Señor Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de agosto de 1865: 178-180. Anónimo, «Sobre la pila del Señor Minotto (conclusión)», *Revista de Telégrafos*, 1 de septiembre de 1865: 188-191.

electrodo de cobre con el sulfato encima de él. A continuación, se colocaba una fina capa de arena, y encima de todo este conjunto se colocaba el electrodo de cinc. Al poder regular la cantidad de arena y sulfato que separaba los dos electrodos, se modificaba a voluntad la resistencia interna de la pila. En el segundo artículo Minotto establecía una comparativa entre su pila y el modelo Daniell. Ambas presentaban una fuerza electromotriz similar, mientras que la resistencia interna de la Minotto era mayor. En lo que se refería a los consumos, la Minotto gastaba unas cinco veces más de sulfato que la Daniell; a cambio el gasto de cinc era mínimo debido a que al estar colocado encima, el electrodo de cinc podía retirarse si se preveía una larga temporada sin funcionar. Al no existir separación entre disoluciones, la pila Minotto evitaba el uso de vasos porosos, y por tanto carecía del gasto de limpieza.

En dos nuevos artículos traducidos y publicados en 1868⁸⁴, el autor nos muestra algunas peculiaridades de las estaciones españolas: la mayor parte de ellas carecían de mortero para moler el sulfato de cobre, utilizando en su lugar «una piedra de superficie plana, alrededor de la cual se ajusta un cuadro de madera», o la de aprovechar los electrodos de cinc desechados para preparar unos nuevos, tal y como se hacía en Vitoria. El mantenimiento de este tipo de pilas no requería más que reponer el agua cuando ésta se hubiese consumido.

El grueso de la discusión sobre la conveniencia de utilizar pilas Minotto en el sistema telegráfico español se desarrolló entre 1868 y 1872. Entre estas dos fechas encontramos hasta nueve artículos, en los cuales distintos telegrafistas y directores de estación expusieron sus argumentos a favor y en contra. En los primeros se trataban sobre cuestiones operativas, como el anónimo que denunciaba el aumento de resistencia de la pila ocasionado por «la aglomeración en masa compacta e impermeable del sulfato de cobre»⁸⁵, o el publicado por Francisco Cappa, quien se hacía eco de las pruebas realizadas por el oficial primero del taller de la Dirección General, Ildefonso Sierra, y que proponía eliminar la arena y sustituirla por agua, «... toda vez que hay gran dificultad en obtener en todas las provincias arena para el diafragma».⁸⁶

En un amplio artículo publicado por Hipólito Araujo en junio de 1869, éste alertaba sobre el problema de la rápida caída de la intensidad de las pilas Minotto, tal y como habían puesto de manifiesto diversas quejas llegadas a la Dirección Central.⁸⁷ Al indagar sobre las causas de la débil y desigual intensidad obtenida, la cual apenas llegaba a las dos terceras partes de una pila Daniell, Araujo encontraba que la ventaja práctica que suponía la ausen-

84. Cappa, F., «Instrucción práctica para el montaje y entretenimiento de la pila Daniell modificada. Escrita en italiano por Giovanni Minotto», *Revista de Telégrafos*, 1 de junio de 1868: 114-116. Cappa, F., «Instrucción práctica para el montaje y entretenimiento de la pila de Daniell modificada. Escrito en italiano por Giovanni Minotto (continuación)», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1868: 124-126.

85. Anónimo, «Sobre la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de diciembre de 1868: 167.

86. Cappa, F., «Modificación de la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de marzo de 1869: 57-60.

87. Araujo, H., «Algunas observaciones acerca de la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1869: 125-128.

cia de la labor de limpieza, en realidad se convertía en un problema. Al intentar alargar el funcionamiento de la pila el auxiliar vertía una carga excesiva de sulfato, el cual, añadido al considerable peso del electrodo de cinc, provocaba que en el fondo del vaso hubiese presiones elevadas. Esto provocaba la aglomeración e impermeabilización del sulfato de cobre, además de la diseminación de la arena a su través, lo cual hacía que éste entrase en contacto con el electrodo de cinc. Para Araujo el problema no estaba en la pila, y si en «...la falta de práctica en los minuciosos detalles con que forzosamente hay que luchar al establecimiento de toda cosa nueva...». Todo residía pues en la mala praxis de los telegrafistas y ayudantes, y «...la mala costumbre que hay en algunas estaciones de excitar la pila echando un poco de disolución de sulfato sobre el cinc». Al respecto señalaba: «no hay maestro que enseñe tanto y tan bien como la propia experiencia, ni escuela en la que se hagan más rápidos y seguros progresos para llegar a un objetivo determinado, como la lucha razonada para vencer los obstáculos que se presentan en el camino». La pila seguía siendo adecuada para el sistema telegráfico español, toda vez que la regulación de la resistencia interna permitía a «...cada estación montar la suya del modo más conveniente, con arreglo a la distancia máxima...» a la que había que hacer llegar la señal. Era también el defectuoso aislamiento de las líneas españolas el causante de la pérdida de intensidad, lo cual provocaba la utilización de un mayor número de elementos. Terminaba Araujo su artículo con un alegato a la formación de los telegrafistas, al estudio y a la observación del uso diario para que éstos no se convirtiesen en «...meros funcionarios administrativos, que tendremos que atenernos a la letra a lo que en materias análogas a la presente nos digan los extranjeros que se encargan de estudiar por nosotros». De esta manera, con «un poco de observación y estudio para vencer los obstáculos que la práctica nos vaya presentando...» se conseguiría «...encontrar bueno y aun preferible a lo anterior lo que hoy en día nos parece detestable». Finalmente, Araujo se hacía eco de la demanda que hicieron diversos telegrafistas para que se produjese el «...restablecimiento de las pilas de vaso poroso».

Entre 1870 y 1872 aparecieron seis artículos más que mantuvieron viva la controversia. El grueso de la discusión la llevaron José Galante y Justo Ureña, defensor el primero de la sustitución de la pila Minotto frente al segundo que proponía su uso con ligeras modificaciones. Ambos eran para entonces inspectores, y recogieron múltiples testimonios de diversas estaciones telegráficas como las de Tarragona, Zaragoza, Alicante, Central de Madrid o Málaga, dónde habían tenido ocasión de trabajar con ese modelo de pila. Defendían la necesidad de que cada jefe de estación publicase sus observaciones al desmontar la pila, aportando como datos «...la fecha en la que se haya montado, el sulfato invertido, estado y peso de los discos de cinc y cuantas indicaciones puedan servir para formar juicio de los efectos que se obtengan».⁸⁸ Para que esta labor se desarrollase en las mejores condiciones, era necesario sacar las pilas «...del cuarto más oscuro de la estación y llevarlas a una habi-

88. Ureña, J., «Más sobre la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de febrero de 1871: 25.

tación clara, seca y desahogada», colocándolas sobre anaqueles separados de la pared para así mejor observar los efectos producidos en los vasos y en cada uno de los elementos que constituían la pila.⁸⁹ Esta disposición había sido adoptada en la estación de Alicante, por indicación de Hipólito Araujo, «...el cual lo ha visto practicar en el extranjero».

La controversia fue reactivada por José Galante en un largo artículo publicado en junio de 1870. En él denostaba el uso de la pila Minotto, toda vez que la actividad química inicial era tan enérgica que los electrodos de cinc se desgastaban con «pasmosa rapidez».⁹⁰ Refería las pruebas que él mismo había realizado a la pila Callaud en la estación de Tarragona diez años antes, las cuales le persuadieron de la conveniencia de este modelo para nuestro sistema telegráfico. En su opinión debería haberse «...evitado el empleo de la de Minotto que acaba de hacer tan grande y tan inesperado fiasco». Por el contrario, denunciaba que la pila Minotto «fuese presentada al público, con el mayor aparato, y que tras largos ensayos terminó por sustituir a la pila Daniell en la mayor parte de las estaciones telegráficas». Explicaba que al poco de ponerse en marcha comenzaron los problemas: la rápida disminución de la intensidad, la compactación del sulfato de cobre, el endurecimiento de la arena, los tubos de goma podridos, etc. No entendía como «...habiéndose ensayado este sistema en la Estación Central, no se hubiesen advertido estos inconvenientes, o el que, a pesar de ello, se hubiese adoptado en todas las Estaciones». Termina proponiendo aprovechar el material de la pila Minotto para montar pilas Callaud las cuales daban, en su opinión, un buen resultado.

Cuatro meses y medio después Justo Ureña señalaba que él había sido el encargado, como jefe de la Estación Central, del estudio de la pila Minotto, y que a pesar de los inconvenientes señalados por Galante «no se ha creído oportuno dejar de utilizar el material que acaba de adquirir la Dirección».⁹¹ El mismo había desmontado las pilas Minotto a prueba, las cuales habían funcionado sin disminución apenas de su intensidad y «con la mayor regularidad dieciséis meses consecutivos, sin más entretenimiento que reponer cada semana el agua evaporada». Lejos de disminuir como señalaba Galante, Ureña defendía que la intensidad de la corriente «fue siempre aumentando hasta el último día que se desmontó, porque en algunos vasos no quedaba ya sulfato». Aceptaba que la pila Minotto era más cara que la Daniell, y que, si existían tantos problemas con ella, era necesario que en las estaciones «...se observen con el mayor rigor las prescripciones que nos dicta la práctica, a cuya falta es preciso atribuir la mayor parte de las veces esa diversidad de pareceres que se forman sobre ciertos fenómenos».

En enero de 1871 Galante publica una breve réplica a las afirmaciones de Ureña, señalando el gran número de quejas que la pila Minotto generaba en las estaciones, las cuales

89. Ureña, J., «Más sobre la pila Minotto»: 26.

90. Galante, J., «Modificaciones de la pila Minotto»: 134-137 (nota 51).

91. Ureña, J., «Sobre la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 1 de noviembre de 1870: 261-263.

solicitaban volver al antiguo sistema Daniell.⁹² Él mismo indicaba haber puesto en marcha en marzo de 1870 una pila Minotto, pero sin el diafragma triturado (la arena), y que «a día de hoy continúa funcionando sin notable novedad». Mes y medio más tarde aparecía una nueva réplica de Ureña en la que seguía defendiendo la necesidad del diafragma, y aunque no negaba la posibilidad de que la pila Minotto pudiera funcionar sin él, las precauciones que había que tener eran difíciles de conseguir en una estación telegráfica.⁹³ En la estación de Alicante se había montado una pila Minotto en la que se procedió a sustituir la arena por una capa de tres centímetros de vidrio molido, y tras 18 meses de funcionamiento apenas si había dado algún problema. En junio el propio Ureña daba por terminada la controversia, volviendo a señalar que, aunque fuese posible trabajar sin diafragma, la presencia de éste ayudaba a prevenir «las alteraciones accidentales que puedan ocasionar por causas extrañas».⁹⁴ Para él, todo el problema del montaje de la pila se reducía a «graduar convenientemente su resistencia interior en proporción al circuito exterior». Ponía como ejemplo los 50 elementos Minotto que llevaban funcionando en la estación de Alicante desde el mes de noviembre, con un consumo de apenas la cuarta parte del kilogramo de sulfato de cobre cargado.

La última referencia a la pila Minotto la hemos encontrado en un artículo donde se describía el funcionamiento de la estación telegráfica de Málaga, en donde se mostraban «conformes con lo que sobre la cantidad de electricidad que produce»⁹⁵. Sobre el uso de pilas sin diafragma, decían conocer todo lo que se ha publicado sobre ellas, toda vez que la propia práctica dentro de la estación se lo había mostrado. Se sabía que este tipo de pilas gastaba mucho más sulfato y que «las trepidaciones y las sacudidas que pueden sufrir los elementos no alteran de manera alguna las condiciones de la pila». Se decantaban por el uso de las pilas Minotto, con lo cual creían «...dar una prueba de imparcialidad, y convenimos que estas pilas pueden estar funcionando largo tiempo sin necesidad de limpiarlas». Como prueba de ello, señalaban que en la estación de Antequera llevaban 30 meses funcionando con apenas tres libras de sulfato.

La pila Leclanché

La primera noticia sobre esta pila que hemos recogido en las páginas de la Revista de Telégrafos data de noviembre de 1867, cuando Ernesto Saint Edme señalaba que había sido Leclanché quien había apostado por el uso de despolarizantes sólidos.⁹⁶ El cambio produ-

92. Galante, J., «Más sobre la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 1 de enero de 1871: 2-3.

93. Ureña, J., «Más sobre la pila Minotto»: 25 (nota 88).

94. El propio Ureña señala haber sido capaz de mover 100 elementos Minotto sin necesidad de desmontarlos. Ureña, J., «Más sobre la pila Minotto», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1871: 125-126.

95. Anónimo, «Montaje de estaciones», *Revista de Telégrafos*, 15 de abril de 1872: 76-78.

96. Saint Edme, E., «De la electricidad», *Revista de Telégrafos*, 1 de noviembre de 1867: 286 – 287.

cido entre las primeras pilas primarias y las secundarias representada por la de Daniell, es-tribaba en el estado físico de las sustancias despolarizantes (Schallenberg, 1978: 347). La pila Daniell y sus herederas apostaron por despolarizadores en disolución (el sulfato de cobre), mientras que, a partir de la década de los años 50, con la aparición de la pila Davy comenzaron a utilizarse despolarizantes sólidos como el óxido de mercurio (II), el óxido de plomo (IV) o el óxido de manganeso (IV) (dióxido de manganeso o peróxido de manganeso en denominación de la época). Era opinión de Saint Edme que el peróxido de manganeso se destinaba a quemar perfectamente tanto el hidrógeno desprendido como los compuestos amoniacaes que se dirigían al conductor positivo, mientras que las sales amoniacaes hacían de líquido comburente. Creía que la pila Leclanché reunía «... todos los caracteres deseables para lo concerniente al servicio telegráfico». Un año más tarde un nuevo artículo se refería a ella como una pila aceptable para su utilización en el sistema telegráfico, aunque no tuviese como objeto reemplazar a las pilas de línea existentes.⁹⁷ El ingeniero telegráfico francés Georges Leclanché había inventado en 1866 un primer modelo. Tras haber estudiado diversos tipos de pilas se planteó «obtener una pila teórica en la cual las acciones químicas estén siempre en equivalencia perfecta con el trabajo efectuado» (Leclanché, 1867: 2-4).⁹⁸ Diez años más tarde daba una descripción detallada de esta primera pila (Leclanché, 1876: 55). Con el objetivo de conseguir una buena combinación conductora mezcló el peróxido de manganeso con el grafito, introduciéndolo en el interior del vaso poroso, el cual se rodeaba de una larga lámina de carbón. El vaso se sumergía en una disolución de cloruro de amonio, y un simple hilo de cinc de un centímetro de diámetro servía de electrodo. En esa década se había generalizado el uso de pilas de nulo mantenimiento y recipiente estanco, destinadas a usos domésticos como los timbres de llamada (Mertens, 2000: 113-116). La elevada resistencia interna de su primer modelo de pila era un inconveniente que resolvió sometiendo a la mezcla de grafito y peróxido en polvo a elevadas presiones, y temperaturas de 100 °C. A la mezcla de un 40 % de peróxido de manganeso y un 55 % de grafito, Leclanché añadió un 3-4 % de tiosulfato de potasio, con el objetivo de disminuir aún más su resistencia (Heise, Cahoon, 1952: 179).⁹⁹ Esta mejora y la utilización del cloruro de amonio en forma de pasta hizo que la pila Leclanché fuese la más utilizada, no sólo por sus mejoras técnicas sino por ser la «... más barata en su instalación, sin apenas mantenimiento, que además puede durar de dos a tres años, según los puestos telegráficos estén más o menos ocupados por las transmisiones» (Huard, 1893b: 9).

97. Anónimo, «La Telegrafía en la Exposición Universal. Capítulo II. Manantial de Electricidad. Pilas diversas», *Revista de Telégrafos*, 15 de octubre de 1868: 215 – 216.

98. «Obtenir une pile théorique dans laquelle les actions chimiques étant toujours en équivalence parfaite avec le travail effectué, lui laisseraient nécessairement une durée proportionnelle à ce travail, sans la moindre surveillance».

99. En opinión de Heise y Cahoon muchas veces una modificación de tipo mecánico tenía un gran impacto en la mejora de la pila, mucho mayor que «... a basic contribution to our knowledge of cell reactions».

En 1869 Louis Figuiet dedicó un artículo a describir las sustancias que entraban en la composición de una pila Leclanché, aportando datos interesantes sobre el coste de algunas de estas materias en el mercado español.¹⁰⁰ En su opinión el papel del peróxido de manganeso consistía en tomar la electricidad positiva, además de ser inoxidable y ser un buen conductor con una elevada afinidad por el hidrógeno. En España el kilogramo de peróxido de manganeso costaba entre 70 y 80 céntimos de peseta, y para conseguir que condujera bien la electricidad era necesario utilizar volúmenes iguales de él y de grafito. Del líquido que «...debe bañar ambos polos, el clorhidrato de amoníaco, o sal de amoníaco del comercio, es el que ha fijado la atención del inventor». La pila apenas se deterioraba si se montaba sin trabajar, y en uso normal la duración de una pila de línea podía llegar a alcanzar los tres años. Finalizaba Figuiet su artículo señalando que 28 elementos Leclanché podían sustituir a 40 elementos Daniell, y cada uno de ellos disponía de una fuerza electromotriz 1,382 veces mayor que su competidor. El cálculo de Figuiet coincide con el que el propio Leclanché había expuesto en su memoria, por lo que sospechamos que se limitó a copiarla.

En 1871 encontramos un nuevo artículo, esta vez tomado de la revista *The Mechanics' Magazine*, en la que se vuelve a realizar una breve descripción de la pila, y se señala que además de su gran fuerza electromotriz y fácil manejo, «posee una constancia que constituye su mayor ventaja»¹⁰¹. Tres años después se publicaba un amplio artículo traducido del propio Leclanché en el que se hacía una descripción detallada de su pila y que a grandes rasgos coincidía con su escrito de 1867. Llama la atención que por primera vez aparezca la reacción química, y que en palabras de Leclanché ésta se producía en los electrodos al cerrar el circuito.¹⁰² Ese mismo año y en un número anterior encontramos noticias sobre las pruebas realizadas en la Dirección General de Telégrafos. Para tal fin se habían adquirido 100 elementos Leclanché, repartidos a partes iguales entre la estación Central y la de Zaragoza.¹⁰³ Sobre el resultado de dichas pruebas encontramos una referencia hecha por José Galante en 1876, según la cual dicha pila no había recibido buenos informes a causa de su poca constancia y lo penoso y difícil de su montaje y limpieza. Sin embargo, destacaba por el nulo consumo de electrodos y electrolitos cuando dejaba de estar en funcionamiento. Concretamente señalaba que en la estación Central de Madrid «se ha ensayado esta pila y según informe del Jefe del Gabinete Central, ha dado buen resultado y si bien su limpieza y

100. Figuiet, L., «Pila de peróxido de manganeso con un solo líquido, por M. Leclanché», *Revista de Telégrafos*, 1 de octubre de 1869: 213 – 214.

101. Anónimo, «Elemento Leclanché de peróxido de manganeso», *Revista de Telégrafos*, 15 de noviembre de 1871: 228.

102. Leclanché, G., «Noticia acerca de la pila Leclanché, precedida de algunas consideraciones sobre el empleo de las pilas eléctricas en telegrafía», *Revista de Telégrafos*, 1 de julio de 1874, 145-150. La representación era: $2 \text{MnO}^2 + \text{AzH}^4 = \text{Mn}^2\text{O}^3 + \text{AzH}^3\text{HO}$

103. Anónimo, «Noticias», *Revista de Telégrafos*, 15 de junio de 1874: 142.

renovación son algo penosas». ¹⁰⁴ A causa de estos informes desfavorables, se publicó un nuevo artículo traducido en el que informaba sobre las diversas modificaciones de la pila. ¹⁰⁵ Del uso de este segundo modelo de pila tenemos referencia por Suárez Saavedra, quien en su descripción en la Exposición Universal de Barcelona, hizo referencia a ella ¹⁰⁶.

A partir de 1880 comenzaron a publicarse diversos artículos, todos ellos traducciones de otros aparecidos en revistas extranjeras, en los que comenzaba a hablar de la sustitución de las pilas en telegrafía por dinamos primero, y acumuladores posteriormente. De los primeros apenas tenemos artículos que no defendían esta sustitución, principalmente por motivos económicos. Efectivamente, el coste de la adquisición y mantenimiento del motor que habría de mover las dinamos disuadía a los telegrafistas españoles de apostar por este medio. Con respecto a los alternadores sabemos que el Gabinete Central de Madrid realizó pruebas al respecto en 1889, sustituyendo las antiguas pilas Callaud por catorce acumuladores, los cuales permitieron realizar pruebas satisfactorias entre el gabinete central y las estaciones de Salamanca, Teruel, El Escorial y Valladolid ¹⁰⁷. Sin embargo, tampoco los acumuladores terminaron de sustituir a las pilas, y éstas continuaron utilizándose hasta bien entrado el siglo xx.

Conclusiones

En 1918 salía de la imprenta el tercer volumen de la Biblioteca del Electricista Práctico, editado por la Editorial Calpe y con el título genérico de «Pilas Eléctricas». El manual, cuya segunda edición salió dos años más tarde, fue escrito por un especialista en la materia, el oficial de telégrafos Francisco Villaverde. En su introducción manifestaba que su intención era dedicarse «únicamente del estudio de la pila; por qué se produce en ella la corriente; qué condiciones teóricas y prácticas debe reunir una pila para ser útil y económica», para lo cual «lo haríamos preceder de unas ligerísimas nociones de nomenclatura química, cuyo objeto es facilitar la comprensión de las reacciones químicas que se producen en la pila y que dan lugar a la corriente eléctrica» (Villaverde, 1920:7). En el índice del volumen volvemos a ver repetidas todas las cuestiones que fueron apareciendo en los diversos artículos que se publicaron a lo largo de 35 años en la Revista de Telégrafos.

¿Qué llevó a Villaverde a escribir un libro sobre pilas y declararse especialista en su uso? ¿Por qué afirma comprender las reacciones químicas que se producen en una pila y como

104. Galante, J., «Informe sobre el material»: 69 (nota 48).

105. Leclanché, G., «Perfeccionamiento de la pila de peróxido de manganeso y sal amoniacal», *Revista de Telégrafos*, 1 de marzo de 1879: 36-37.

106. Suárez Saavedra, A., «La Electricidad en la Exposición Universal de Barcelona», *Revista de Telégrafos*, 1 de diciembre de 1888: 365-366.

107. Anónimo, «Los acumuladores eléctricos en el Servicio de Transmisión Telegráfica», *Revista de Telégrafos*, 16 de septiembre de 1889: 276-277.

éstas daban lugar a una corriente eléctrica, sí como hemos visto, ésta fue una cuestión que mantuvo divididos a químicos y físicos del siglo XIX? ¿Por qué abraza la teoría química y no la de contacto, más próxima a sus conocimientos como técnico especialista del sistema telegráfico?

En nuestro estudio hemos podido contemplar como a lo largo de 35 años de publicación, se han asomado a sus páginas subdirectores y directores de estación, inspectores e incluso humildes telegrafistas para aportar su conocimiento, algunas veces teóricos y otras veces prácticos, sobre el funcionamiento de las pilas. Hemos visto distintos tipos de teorías, instrucciones de uso, montaje o mantenimiento, labores de limpieza o de amalgamado de los electrodos de cinc, e incluso la determinación de la fuerza electromotriz y la resistencia interna en un tiempo en el que aún no estaban definidas sus unidades de medida. Esto nos ha permitido contemplar un conjunto de conocimientos que iban más allá de las cuestiones meramente eléctricas relacionadas con su oficio.

A nuestro parecer destaca el hecho de que algunos de los autores más prolíficos, como Ureña, Galante o Zubeldia, fueron aquellos que accedieron a las primeras oposiciones en los albores del sistema telegráfico eléctrico. Desconocemos cuáles fueron sus titulaciones, aunque por el tono de sus artículos o el espíritu divulgativo formal con el que nació la Revista de Telégrafos, sospechamos que pudieron pertenecer a esos primeros militares, o ingenieros que ocuparon los puestos más altos del escalafón. Estos primeros autores imprimieron su estilo a esos primeros artículos, estilo que llevo a considerar a la Revista como el órgano oficioso de la Dirección General de Telégrafos.

Estos autores, cuya influencia en la elaboración de los temarios de oposición desconocemos pero intuimos, manejaron con soltura las diversas teorías físicas y químicas, pero desde una perspectiva más informativa que de reivindicación en defensa de estas teorías. Esto hizo que fuesen capaces de defender una teoría y su contraria con igual facilidad, y con la única intención de encontrar explicaciones actualizadas del funcionamiento de una pila. A su favor jugaba el hecho de que el fenómeno eléctrico constituía un puente entre ambas disciplinas, por lo que pasar de uno a otro no suponía un problema para ellos. Sin embargo, llama la atención la participación de estos y otros autores en las diversas discusiones establecidas entre partidarios y detractores de un determinado modelo de pila. Algunos de ellos participaban desde el conocimiento adquirido a diario en el funcionamiento de una estación telegráfica; otros desde su participación en las pruebas realizadas en la Dirección General o en la recopilación de los informes que se hacían llegar a ésta. Resulta especialmente esclarecedor el debate surgido a raíz de la sustitución de las pilas Daniell por las Callaud, o la larga controversia establecida en torno a la pila Minotto. Esto demuestra que optaron por utilizar el conocimiento práctico, y en escasas ocasiones acudir a explicaciones teóricas o formales sobre el funcionamiento de las pilas, y con la intención de apoyarse en ellas como criterio de autoridad. Esto permitió, a nuestro parecer, la transición entre el técnico que había accedido a la nueva profesión con conocimientos prácticos sobre electrici-

dad, al del técnico telegrafista. Desde esta perspectiva la pila no se constituyó en mediadora del conocimiento de éstos, sino en un argumento destinado a hacer valer su opinión en la práctica diaria del sistema telegráfico.

Esta aproximación transversal realizada a través de las pilas, y las teorías que explicaban su funcionamiento, debería tener su complemento con un estudio similar sobre los conocimientos eléctricos de los que dispusieron los telegrafistas. De esta manera sería posible obtener un panorama completo de los conocimientos teóricos y prácticos que manejaron unos técnicos formados inicialmente fuera del ámbito académico de la época, es decir, fuera de Escuelas de Ingenieros, Escuelas Industriales o de Oficios, o cualquier otro establecimiento oficial de la España de la segunda mitad del siglo XIX. La Revista de Telégrafos no sólo fue un vehículo de transmisión de saberes científicos y técnicos aceptados para telegrafistas, sino que también constituyó un órgano de legitimación de una nueva profesión. Sólo desde esta perspectiva podemos entender que ya entrado el siglo XX un oficial de telégrafos como Francisco Villaverde pudiera mostrarse con los conocimientos y autoridad para escribir un pequeño manual sobre pilas.

Bibliografía:

- ANÓNIMO (1886), «Récapitulation», *Journal Télégraphique*, 25 de noviembre, 248.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2009), «The Chemists' Style of Thinking», *Ber. Wissenschaftsgesch.*, 32: 365-378.
- CALLAUD, A. (1857), «Note: description d'une pile à courant constant, à deux liquides, sans diaphragme», *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*: 104-105.
- CALLAUD, A. (1858), «Note», *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*: 598-599.
- CALLAUD, A. (1875), *Essai sur les Piles (2^{ème} édition)*. Paris: Gauthier-Villars.
- CHANG, H. (2012). *Is Water H₂O? Evidence, Realism and Pluralism* (Boston Studies in the Philosophy of Science 293). New York: Springer.
- DOLAN, B.P. (1998), «Blowpipes and Batteries: Humphry Davy, Edward Daniel Clarke, and Experimental Chemistry in Early Nineteenth-Century Britain», *Ambix* 45 (3): 137-161.
- DÖRIES, M. (1998), «Easy Transit: Crossing Boundaries Between Physics and Chemistry in mid-Nineteenth Century France». In: SMITH, C., AGAR, J. (Eds.), *Making Space for Science: Territorial Themes in the Shaping of Knowledge*. London: Macmillan: 246-262.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. (1859), *L'électricité et les chemins de fer: description et examen de Tous les systèmes proposés pour éviter les accidents sur les chemins de fer au moyen de l'électricité, Tome I*. Paris: Lacroix et Baudry.
- FULLMER, J.Z. (1978), «Humphry Davy, Electrochemist». In: DUBPERNELL, G., WESTBROOK, J.H. (Eds.). *Selected Topics in the History of Electrochemistry. Proceedings Volume 78-6*. Princeton: The Electrochemical Society: 88 – 99.
- GIMÉNEZ DE MUÑANA Y CAMPILLO, M (1868). *Manual de telegrafía eléctrica*. Madrid: Imprenta de Frías y Compañía.
- GOODAY, G. (2004). *The Morals of Measurement: Accuracy, Irony and Trust in Late Victorian Electrical Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HEILBRON, J.L. (1978). «Volta's Path to the Battery». In: DUBPERNELL, G., WESTBROOK, J.H. (Eds.). *Selected Topics in the History of Electrochemistry. Proceedings Volume 78-6*. Princeton: The Electrochemical Society: 39-65.
- HEISE, G.W., CAHOON, N.C. (1952), «Dry Cells of the Leclanché Type, 1902-1952. A review», *Journal of the Electrochemical Society*, 99 (8): 179-187.
- HIEBERT, E.N. (1996), «Discipline Identification in Chemistry and Physics», *Science in Context*, 9 (2): 93-119.
- HONG, S. (1994), «Controversy over Voltaic Contact Phenomena, 1862-1900», *Archive for History of Exact Science*, 47: 233-289.
- HUARD, L. (1893a). *Les Piles Électriques (Le Livre pour Tous, 98)*. Paris, L. Boulanger Editeur.
- HUARD, L. (1893b), *Les Piles Modernes (Le Livre pour Tous, 99)*. Paris: L. Boulanger Editeur.
- JAMES, A.J.L. (1989), «Michael Faraday's First Law of Electrochemistry. How Context Develops New Knowledge». In: STOCK, J.T., ORNA, M.V. (Eds) (1989). *Electrochemistry, Past and Present*. Washington D.C., American Chemical Society: 32-49.
- KERSHAW, M. (2007), «The international electrical units: a failure in standardisation?», *Studies in History and Philosophy of Science*, 38: 108-131.
- KIPNIS, N. (2001), «Debating the Nature of Voltaic Electricity, 1800 – 1850». In: BEVILACQUA, F., FREGONESE, L. (Eds.) *Nuova Voltiana: Studies in Volta and his Times*, 3: 121 – 151. Online: <http://ppp.unipv.it/pagesIT/NuovaVoltframe.htm>.
- KRAGH, H. (2000), «Confusion and Controversy: Nineteenth-Century Theories of Voltaic Pile». In: BEVILACQUA, F., FREGONESE, L. (Eds.) *Nuova Voltiana: Studies in Volta and his Times*, 1: 133 – 157. Online: <http://ppp.unipv.it/pagesIT/NuovaVoltframe.htm>.
- LECLANCHÉ, G. (1867), *Quelques observations sur l'emploi des piles électriques. Pile constant au peroxyde de manganèse à un seul liquid*. Paris: Typ. de Hennuyer et fils.
- LECLANCHÉ, G. (1876), «Nouvelle pile au peroxyde de manganèse», *Compte Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 83: 54-56.

- LEVERE, T.H. (1993). *Affinity and Matter. Elements of Chemical Philosophy 1800-1865*. Reading: Gordon and Breach Science Publishers.
- MERTENS, J. (1998a), «From the Lecture Room to the Workshop: John Frederic Daniell, the Constant Battery and Electrometallurgy around 1840», *Annals of Science*, 55: 241-261.
- MERTENS, J. (1998b), «Shocks and Sparks. The Voltaic Pile as a Demonstration Device», *Isis*, 89: 300-311.
- MERTENS, J. (2000), «The Development of the Dry Battery: Prelude to a Mass Consumption Article (1882-1908)», *Centaurus*, 42: 109-134.
- MINICH, A. (1869), «Commemorazione funebre di Giovanni Minotto», en: *Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti*, XIV: 1610-1625.
- NAVARRO MORENO, P. (2005), «El factor humano: el Cuerpo de Telégrafos». In: OLIVÉ, S., MARTÍNEZ, G., et.al. (Eds.). *150 Aniversario del telégrafo en España*; s.l.; Asociación de Amigos del Telégrafo de España: 43-58.
- OLIVE ROIG, S. (2004). *El nacimiento de la Telecomunicación en España. El Cuerpo de Telégrafos (1854-1868)*. Madrid: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- OLIVÉ ROIG, S. (2005). «Historia de la Telegrafía en España (1855 – 1905)». In: OLIVÉ, S., MARTÍNEZ, G., et.al. (Eds.). *150 Aniversario del telégrafo en España*; s.l.; Asociación de Amigos del Telégrafo de España: 8-23.
- OLIVÉ ROIG, S. (2013). *Telégrafos. Un relato de su travesía centenaria*. Madrid: Fundación Telefónica – Editorial Ariel.
- OWEN, D. (2001), «The Constant Battery and the Daniell-Becquerel-Grove Controversy», *Ambix*, 48 (1): 25-40.
- PRESCOTT, G.B. (1860). *History, Theory, and Practice of the Electric Telegraph*. Boston: Ticknor and Fields (University Press, Cambridge).
- PRESCOTT, G.B. (1877). *Electricity and the Electric Telegraph*. New York: Appleton and Co.
- RUSSELL, C.A. (1959), «The Electrochemical Theory of Sir Humphry Davy. Part I and II», *Annals of Science*, 15: 1-25.
- SÁNCHEZ MIÑANA, J. (2002-2003), «Antonino Suárez Saavedra (1838-1900), telegrafista, ingeniero eléctrico y divulgador», *Quaderns d'Història de L'Enginyeria*, vol. V: 211-222.
- SÁNCHEZ MIÑANA, J. (2007), *El telegrafista murciano Enrique Bonnet (1837-1905). Un pionero de las telecomunicaciones en España*. Murcia: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones de la Región de Murcia.
- SCHALLENBERG, R.H. (1978), «Batteries Used for Power Generation During the Nineteenth Century». In: DUBPERNELL, G., WESTBROOK, J.H. (Eds.). *Selected Topics in the History of Electrochemistry. Proceedings Volume 78-6*. Princeton: The Electrochemical Society: 341-359.
- SERVOS, J.W. (1996). *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America*. Princeton: Princeton University Press.
- SUDDUTH, W.M. (1980), «The Voltaic Pile and Electro-Chemical Theory in 1800», *Ambix*, 27 (1): 26-35.
- TERNANT, A.L. (1881), *Les Télégraphes*. S.l., s.e.
- VILLAYERDE, F. (1920). *Pila Eléctricas (Biblioteca del Electricista Práctico nº 3)*. Barcelona: Editorial Calpe.
- WISE, N. (1988), «Mediating Machines», *Science in Context* 2 (1): 77-113.