

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA:

EL CASO DEL ARCO PARLANTE

Alberto Ghisolfi^(1,2), Luis Junciel^(1,2,5), Damián Gulich^(2,3,4), Cecilia von Reichenbach^(1,2,4)

1 Instituto de Física de La Plata, CCT La Plata, CONICET

2 Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 1900 La Plata, Argentina

3 Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata - CIC), C.C. 3, 1897 Gonnet, Argentina

4 Museo de Física, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 1900 La Plata, Argentina

5 Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

Resumen

En este trabajo resumimos la recreación de una experiencia de arco parlante en el marco de una reconstrucción histórica con interés didáctico. Presentamos un desarrollo tecnológico que combina piezas originales del patrimonio del Museo de Física con equipos modernos de modo de poder recrear una experiencia realizada en la Universidad Nacional de La Plata en 1911 y que tuvo impacto en las políticas nacionales del financiamiento de las universidades.

La presentación del arco parlante fue hecha por Emil Bose y formaba parte, junto a otras experiencias, de una conferencia destinada a concientizar a la sociedad sobre la relevancia del equipamiento de enseñanza y de investigación de la entonces Escuela Superior de Ciencias Físicas que Bose dirigía.

La implementación que presentamos aquí estuvo destinada a la recreación de este evento que el Museo de Física realizó al cumplirse 100 años de la conferencia original y se ha integrado al repertorio de demostraciones del Museo sobre la historia de las comunicaciones.

Introducción

Este trabajo se centra en el estudio del dispositivo llamado “arco cantante”, o “arco parlante”, y tiene motivaciones desde aspectos históricos y educativos. Por una parte, se reconoce a este diseño como el antecesor de la radiodifusión, de uno de los primeros instrumentos de música electrónica, y más recientemente de la construcción de los transductores de alta frecuencia llamados “plasma ion tweeters”. Desde el punto de vista de la historia local estuvo presente en una actividad de divulgación científica de impacto sobre la política universitaria a nivel nacional realizada en 1911 en el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata.

Desde el punto de vista educativo merece citarse su re-construcción para su exhibición pública en un evento realizado en el mismo lugar y repetido en tres oportunidades: para público general, para un congreso científico internacional, y para alumnos de escuelas. Uno de los objetivos de estas actividades fue mostrar el grado de desarrollo y actualización de la física en Argentina a comienzos del siglo XX, la evolución tecnológica involucrada y su aplicación en dispositivos de uso actual. Otro objetivo fue la presentación de experimentos de física de manera vistosa, de forma de despertar entusiasmo y curiosidad en el público, acercándolo a ciencia de una manera entretenida, en la que jugó un papel fundamental la recreación de una transmisión del arco cantante.

Breve historia del Arco Cantante

El químico británico Humphry Davy fue el primero en reportar un arco eléctrico en el año 1800 (Davy 1800). El arco, llamado “voltaico” en honor de Alessandro Volta, era generado por un voltaje de corriente continua con alto amperaje entre dos carbones, usando una batería recientemente inventada por el físico italiano. Su aplicación inmediata fue para generar los primeros tendidos de luz eléctrica en las calles, mientras que se continuaba en la investigación de sus características. En 1880 comenzaron a usarse en algunas calles de París, luego en Londres, y finalmente se difundieron al resto de Europa y Estados Unidos.

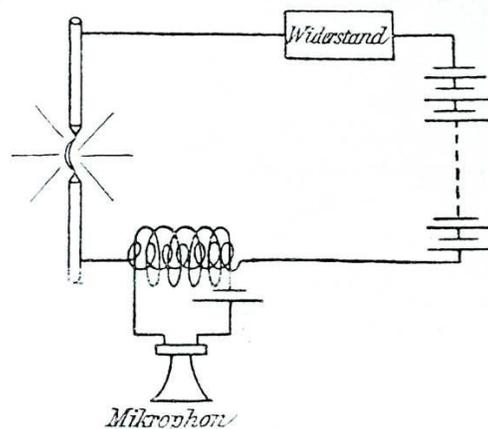
Desde el mundo académico, el físico George Francis Fitzgerald realizó, junto con Oliver Lodge, Oliver Heaviside y Heinrich Hertz los estudios y ensayos que permitieron confirmar la teoría de James Clerk Maxwell acerca del campo electromagnético. En 1883, aplicando las Ecuaciones de Maxwell, Fitzgerald sugirió un dispositivo para producir rápidamente corriente eléctrica oscilante, para generar ondas electromagnéticas. Fitzgerald sostenía que la autoinductancia del

arco podía ser usada para producir ondas electromagnéticas continuas no amortiguadas (Gethmann). A partir de estos resultados Hertz realizó entre 1886 y 1888 (Hertz 1893) los experimentos que probaron la existencia de las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell en 1865.

A partir de 1895 la matemática Hertha Marks Ayrton, en Londres, realizó un profundo estudio de los arcos eléctricos, analizando la respuesta del arco en bajas y altas frecuencias y designó por “resistencia negativa” a la proporcionalidad inversa entre tensión y corriente, hoy conocida como autoinductancia. Además de numerosos trabajos científicos, Ayrton escribió un libro sobre el arco, que fue de amplia utilización por los ingenieros (Ayrton 1902). Como reconocimiento fue la primera mujer nombrada en la Institution of Electrical Engineers.

William du Bois Duddell, físico británico discípulo de Herta y William Ayrton, publicó en 1900 la revista Nature su invención del “arco cantante”, un diseño en el que mediante un teclado se podía modificar la corriente que alimentaba una lámpara de arco. La búsqueda de Duddell en realidad comenzó tratando de minimizar el zumbido producido por las lámparas de arco que iluminaban las calles de Londres. En 1899, variando la tensión que alimentaba el arco logró modular las frecuencias audibles producidas, mediante una inductancia y un capacitor en serie. Usando un “oscilógrafo” que había inventado recientemente, ajustó el circuito a los valores correspondientes a la escala de notas musicales. Con la adición de un teclado logró convertir el circuito en uno de los primeros instrumentos electroacústicos, y el primero de ellos que era audible sin utilizar el sistema telefónico o el de altoparlante.

Se implementaron distintas variantes al circuito, que comprendían la inclusión de dispositivos pasivos como inductancias, capacitores y resistencias combinados en configuración serie o paralelo. El más sencillo de ellos (fig. 1) incluye un par de bobinas de acoplamiento directo, alimentadas por un batería. Una de ellas está en serie con un micrófono de alta sensibilidad, modulando por inducción la tensión en la bobina del circuito principal. Este circuito alimenta los carbonos que generan el arco, donde finalmente se reproducirá la señal amplificada del micrófono. La variación del arco produce cambios en la presión del aire adyacente, que se propagan como sonidos. Las experiencias de Duddell se desarrollaron en un rango de frecuencias audibles.



En 1898, en Frankfurt, el físico alemán Hermann Theodor Simon había diseñado lo que llamó el “arco parlante”, conectando el arco al altavoz de un teléfono (Simon 1901). Simon mostró que no sólo el sonido se modulaba, sino también la luz emitida, con lo que logró realizar para la armada alemana un sistema de telefonía inalámbrica entre buques por medio de una luz de arco modulada. El sistema contaba con una pantalla parabólica de amplificación de la luz y un sensor de selenio fotosensible instalado en el foco de otra pantalla parabólica receptora. Este tipo de sensores ya se utilizaban en la tele transmisión de información variando la intensidad de una llama de acetileno modulada por la membrana de un micrófono (fig. 2) (Max Kohl, 1922). Una pila de selenio muy sensible se ubicaba en el foco de la pantalla parabólica receptora. Dado que la conductividad del selenio aumenta al recibir luz, los cambios en la iluminación se traducen en una variación de la corriente que excita un auricular de membrana sensible. Esto se logra actualmente con fotodiodos de silicio.



No hay evidencias de que Duddell supiera de la invención de Simon, pero tampoco el logró darle trascendencia a su diseño. Pese a que viajó por Inglaterra y Francia haciendo demostraciones, nunca patentó su invento, aunque muchos soñaban con escuchar música a través de las luces que iluminaban Londres (APS News 2010).

Tanto Duddell como Simon observaron que las ondas sinusoidales puras producidas podían ser sintonizadas fácilmente, y que podrían resolver el problema de la telefonía con ondas eléctricas (Duddell 1900), pero no lograron alcanzar frecuencias adecuadas (sólo alcanzaban a 30 ó 40 KHz). Esta dificultad fue superada pocos años más tarde por Poulsen.

El físico danés Valdemar Poulsen, junto con su compatriota P. O. Pederson, fue quien mejoró el diseño poniendo el arco en una atmósfera de hidrógeno, de más alta conductividad térmica que el aire, y colocando el arco entre un electrodo metálico refrigerado como ánodo y un carbón sólido como cátodo, con lo que logró aumentar la frecuencia, produciendo ondas de radio. Poulsen patentó en 1902 el “transmisor de radio de arco” (arc radio transmitter), el primer emisor capaz de generar ondas de

radio continuas. Es en este punto que se hace la gran diferencia con la telegrafía sin hilos: hasta entonces sólo podían emitirse ondas amortiguadas, lo que no permitía modular la señal (Poulsen 1904). Con ondas de radio continuas, la señal pudo modularse proporcionalmente a la tensión del circuito, logrando por primera vez la transmisión de sonidos. Los transmisores de Poulsen fueron usados en todo el mundo hasta 1920, y tuvieron gran interés estratégico durante la 1ª Guerra Mundial.

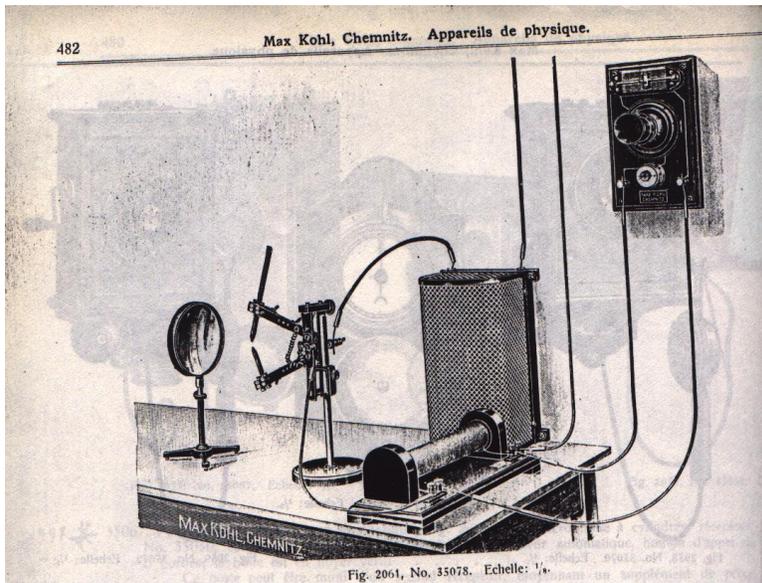
Otro de los desarrollos posteriores, y en este caso recientes, que derivaron al arco cantante fueron los tweeters de ion de plasma (*plasma ion tweeter*). Estos dispositivos funcionan produciendo la ruptura de un arco de alta tensión estabilizado que agita los iones por cambios de temperatura en una pequeña cámara, lo que causa la contracción y expansión del arco moviendo el aire a alta frecuencia, produciendo ondas de sonido. (Oohashi)

Mientras que los *tweeters* de alta gama más rápidos están contruidos con cintas de seda procurando minimizar su masa, el los de ion de plasma no tienen masa, ni elementos con desplazamiento, pues el sistema consiste en un arco eléctrico estable. Por lo tanto es mucho más rápido y puede extenderse a frecuencias mucho más altas (40kHz / 100kHz). Si bien se acepta que el oído humano no puede percibir frecuencias más allá de 20 KHz, este tipo de altavoz de agudos que se extiende más allá de 40 KHz es responsable de delicados y cristalinos sonidos de alta frecuencia. En 1946 Siegfried Klein desarrolló variantes del dispositivo de Duddell que dieron lugar diversas patentes, y en 1954 llegó a la conclusión de que confinando el arco a un pequeño tubo de cuarzo y acoplándole una bocina podría ser utilizado como un altavoz, o también como un micrófono. Por aquellos años esta tecnología fue de interés para los audiófilos y el dispositivo fue llamado *Ionophone*. Desde 1978 por una firma alemana fabrica los *tweeters* de ion de plasma, que precisan de una delicada puesta a punto. Una vez activados es necesario que trascurra un intervalo de 30' para que se produzca la ruptura del arco, mientras que para amplificar su efecto y características de dispersión utiliza una bocina de oro. Su sonido excepcional se debe a su falta de masa, la reducción de transitorios, la falta de resonancias y la rigidez de fase.

El arco cantante en La Plata

En la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) se creó en 1906 el primer Instituto de investigación y docencia en física en el país, que llegó a su pleno apogeo en 1911, bajo la dirección del físico alemán Emil Bose. Docente nato e investigador de gran prestigio, contaba con el apoyo de las autoridades de la universidad, en especial de

su presidente Joaquín V. González. En marzo de 1911 el entonces Presidente de la Nación Roque Sáenz Peña anuló por decreto un aumento para las universidades nacionales aprobado por el Congreso (Actos 1911). En apoyo a las medidas de



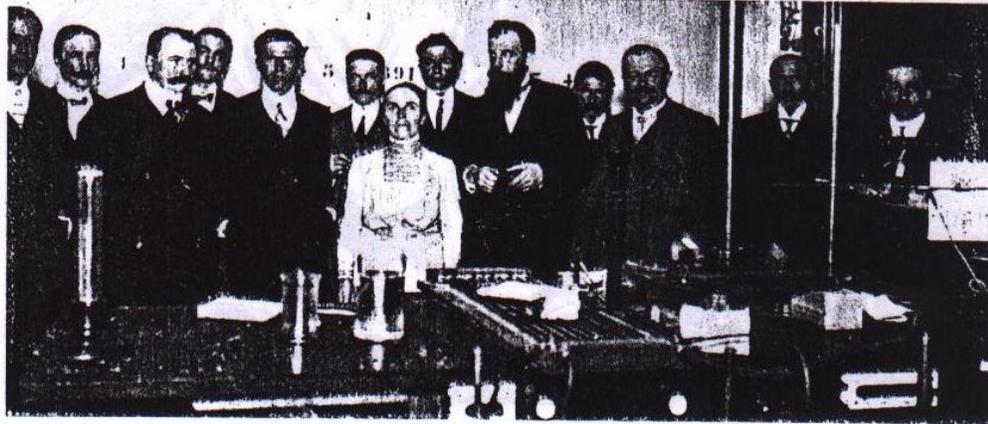
reclamo iniciadas por los aliados del gobierno federal y la prensa de Buenos Aires, González y Bose organizaron una exhibición pública en las modernas instalaciones de la Escuela Superior de Física (que posteriormente se llamara Instituto de Física). El 29 de marzo la UNLP invitó a “un selecto grupo de nuestro elemento intelectual”, a la prensa y aún “algunas mujeres”, a una demostración destinada a hacer públicos el programa de extensión universitaria de González, la reputación de Bose como eximio experimentador, y la valiosa colección de instrumentos científicos adquiridos en la firma alemana Max Kohl para la enseñanza de la física (Ranea 1991). Entre las más impresionantes demostraciones efectuadas por Bose, sus colegas y discípulos se destacaron las realizadas con aire líquido, alta y baja tensión, experiencias de Thompson con corrientes alternas, efectos de alta presión y, como “corona y clímax” el arco cantante reproduciendo la voz de la famosa cantante italiana Eva Trazzini.

Configuración del arco cantante implementada con instrumentos de la firma Max Kohl (1906)

Es de suponer que esta elección se debió al alto registro de esta soprano. En el subsuelo del anfiteatro en el que se desarrolló la exhibición uno de los ayudantes hizo funcionar el fonógrafo, que reproducía un disco de pasta de la cantante, cuyo altavoz estaba colocado frente a un micrófono. La corriente modulada por el micrófono alimentaba el dispositivo del arco cantante dispuesto sobre la mesa de

demostraciones, para asombro y fascinación de los asistentes, que oían la voz de *la Tetrizzini* ejecutada por las oscilaciones del arco. Entre el público se encontraban los periodistas de seis influyentes diarios de La Plata y Buenos Aires, cuyos artículos

La conferencia del profesor Bosse



El profesor Bosse, uno de los maestros extranjeros traídos por la Universidad de La Plata, dió el 29 de marzo una conferencia en el Instituto Superior de Ciencias Físicas.—El profesor, con su señora y varios concurrentes al acto.—
Fot. de CARAS Y CARETAS.

sobre la exhibición constituyeron una de las primeras manifestaciones periodísticas acerca de asuntos universitarios (fig.3). Se marcaba el fin de una era de oratoria vacía y elegante en las universidades con la incorporación de demostraciones experimentales, mientras se promocionaba el Instituto como uno de los más importantes del mundo, sólo comparable en equipamiento con el Instituto de Física de Berlín. Los ecos de las demostraciones sirvieron de apoyo a los reclamos contra el recorte presupuestario, como se había previsto, y quedaron como documento para que, ochenta años más tarde, un historiador investigara los hechos.

La indagación realizada por el filósofo e historiador de la ciencia Guillermo Ranea no sólo devino en una presentación en un Simposio Internacional de Instrumentos científicos (Ranea 1991), sino que, sobre todo, sirvió para destacar el valor de la colección de instrumentos del Departamento de Física. Esto posteriormente condujo a la creación del Museo de Física en el año 1994. A lo largo del trabajo realizado desde entonces en el Museo se continuó con la preservación de la colección, la investigación histórica, el desarrollo de exhibiciones y actividades de divulgación. Entre ellas, la recreación de la conferencia realizada por Bose al cumplirse 100 años de su presentación, en el marco de la conferencia internacional HK2010 “Humboldt Kolleg Conference on Physics Argentina – Alemania: un siglo de cooperación científica en Física”. El 29 de marzo de 2011, a las 15 horas, se realizó una puesta

en escena (libre y parcial, en función de las limitaciones técnicas y posibilidades de uso del instrumental original), en el mismo anfiteatro que usara Bose (fig. 4).

FIGURA 4 : ANFITEATRO 2011

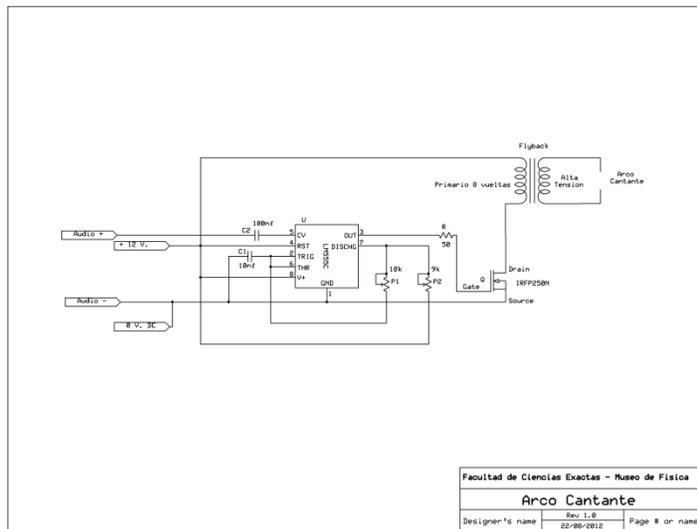
Entre las experiencias recreadas tuvo especial importancia la del arco cantante, para la cual fue necesaria la construcción de un equipo complementario, debido a que para el uso de los instrumentos originales no se contaba con la provisión de grandes corrientes, que en 1911 se obtenían como extensión del tendido eléctrico de los tranvías de la ciudad (fig. 5 edificio).



A continuación se describen los detalles técnicos de dicho dispositivo, que complementó el uso de la pantalla de amplificación Max Kohl, original de la época de Bose.

Implementación del Arco Cantante con dispositivos electrónicos

El siguiente esquema muestra el circuito implementado para alimentar el arco, que se dispuso en el instrumento origina.



Dispositivos que integran el circuito electrónico

- Dispositivos Activos: Un circuito integrado **NE555N** y un transistor MOSFET **IRFP250N** (o de similares características)
- Dispositivos Pasivos: dos potenciómetros de 10 k Ω , una resistencia de 50 Ω , un condensador de poliéster de 0,01 μF / 100V, un condensador de poliéster de 0,1 μF / 100V, un conector jack hembra 3,5 mm, pasta conductora, un disipador y un *flyback de televisor o de monitor*. Los terminales del arco son dos agujas de acero diametralmente opuestas a una distancia aproximada de 2 cm.

¿Qué funciones cumplen los distintos dispositivos que integran el circuito?

Funciones principales de cada elemento:

- IC: **NE555N** es un circuito integrado. Básicamente está compuesto por dos amplificadores operacionales, un *Flip-flop* tipo RS, un *buffer* que controla la continuidad de la señal de salida y la invierte, y puede entregar hasta 200 mA, y un transistor para descargar el capacitor del temporizador.

Una de funciones más aplicadas del IC NE555C es configurarlo e implementarlo como un oscilador, o generador de onda.

- **MOSFET IRFP250N:** es un transistor de tecnología MOSFET (*Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor*). Su función en este circuito consiste en amplificar la señal de audio que se genera en la salida del circuito integrado.
- Pasta conductora y disipador: La pasta cumple la función de asegurar la conducción térmica entre el MOSFET y el disipador. El disipador permite utilizar toda la capacidad de potencia del transistor MOSFET sin que este último se dañe.
- **Resistencias y potenciómetros** para limitar el paso de la corriente.
- **Capacitores:** son elementos que tienen la propiedad de almacenar energía. Se calculan para fijar la constante de tiempo $\tau = 1/RxC$.
- **Flyback:** Es un transformador especial que se utiliza en televisores, monitores de computación, dispositivos e instrumentos con pantalla de Tubo de Rayos Catódicos (TRC) para elevar unas 100 veces la tensión de la fuente de alimentación (de 300V hasta 30 kV, por ejemplo, dependiendo de los requerimientos de cada equipo). El objetivo es proporcionar la alta tensión al TRC, generando el campo para acelerar los electrones, los que emiten luz al colisionar con el fósforo de la pantalla; como función secundaria provee varios voltajes más bajos para otros circuitos. El alto voltaje se induce en la bobina del secundario, cuya etapa final consta de diodos y una red de condensadores.

A este último también se lo conoce como convertidor de retroceso: convierte CC-CC (corriente continua-corriente continua) con aislamiento galvánico entre la entrada y la salida.

En el circuito implementado el *Flyback*, con la adaptación de una de sus bobinas, se utiliza como transformador de alta tensión. La bobina secundaria fue diseñada en el laboratorio bobinando una determinada cantidad de vueltas

determinadas alrededor del núcleo de ferrita (en nuestro caso ocho) con un cable aislado de Cu de $1,5 \text{ mm}^2$ de diámetro y utilizando la bobina primaria, original de fábrica, para obtener la ruptura del aire por alta tensión y generar el arco entre las dos agujas de acero.

Funcionamiento del circuito:

Se calculan las resistencias y capacitores para establecer las constantes de tiempo. Esta red RC se conecta en la entrada del ICNE555N para que genere en su salida una onda de una frecuencia de unos 40 kHz, y dicha señal se aplica al MOSFET para que sea amplificada. La señal amplificada, con mayor intensidad, pasa luego por la bobina primaria haciendo que ésta entre en resonancia con la bobina secundaria, generándose de este modo una tensión de 7 a 9 kV. Todo ello en función de la propia tensión de alimentación que se aplica al circuito, en nuestro caso entre 9 y 12V. De este modo se establece un arco de tensión entre los terminales.

Para escuchar el sonido es necesario inyectar una señal de audio en la entrada del circuito integrado (IC) haciendo que module el ancho el pulso de la señal que está en la compuerta de entrada del MOSFET, que a su vez alimenta a la bobina primaria inyectándole la señal amplificada. Si aumenta el ancho del pulso que controla al arco éste aumenta su diámetro, produciendo la compresión del aire que lo rodea, pero si el ancho del pulso es menor se produce el efecto contrario, de forma consecuente con la señal de sonido. Así, el arco se contrae y expande al son de la música al igual que un simple parlante, con la diferencia de que en este caso emite en forma multidireccional. Las compresiones y expansiones del aire alrededor del arco producen las ondas de sonido que escuchamos.

Para que la señal de audio suene limpia es necesario que la ruptura del arco se realice de forma tal que no se escuchen ruidos espurios tales como silbidos, o zumbidos propios del arco de alta tensión. Para ello es necesario variar la intensidad del arco con los controles existentes (los potenciómetros p1, p2) hasta escuchar clara y limpia la señal inyectada. En nuestro caso el color del arco es azul y se produce entre las dos agujas de acero enfrentadas que funcionan como electrodos de salida.

Conclusiones

En este trabajo hemos recorrido la historia del dispositivo llamado “arco cantante”, antecesor de la radiodifusión, de instrumentos electroacústicos, y de los “plasma ion tweeters”. Vimos que, en la historia de la ciencia en Argentina, apareció en público por primera vez integrando una serie de demostraciones que acompañaron una conferencia pública realizada en 1911 en el Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata. El impacto de esta conferencia a través de la prensa, fundamentalmente por su influencia sobre la política universitaria a nivel nacional, dio mayor trascendencia a la exhibición del arco cantante.

Entre las actividades de extensión universitaria que desarrolla el Museo de Física se destacan por su afluencia masiva las realizadas en el anfiteatro del Departamento de

Física. Una de las más resonantes fue la reconstrucción de la conferencia de 1911, que fuera desarrollada en el mismo lugar. Desde el punto de vista educativo podemos destacar que, además de ofrecer una retrospectiva histórica del desarrollo científico local, se pudo exhibir una serie de fenómenos que despertaron asombro y curiosidad entre los concurrentes al evento. Se repitieron varias de las experiencias descritas en las crónicas históricas, utilizando en cuento fue posible los instrumentos originales. Las actividades que contribuyeron a la formación de los estudiantes y graduados encargados de la conferencia incluyeron la investigación histórica, la reconstrucción de las experiencias, la puesta a punto de los equipos, la redacción de un guión de divulgación científica y la realización de las experiencias frente a y con el público. Esta actividad se repitió en tres oportunidades: para público general, para un congreso científico internacional, y para alumnos de escuelas, lo que obligó a una adaptación tanto del lenguaje como de los contenidos explicitados en cada experiencia. La recreación de la transmisión del arco cantante fue un caso especial en que el equipamiento original tuvo que ser complementado con un dispositivo moderno, que fue construido ex profeso por colaboradores externos al Museo. Su puesta en funcionamiento en la conferencia tuvo un papel destacado, ya que fue presentado como el ejemplo de los desarrollos previos necesarios para obtener la tecnología con que contamos hoy.

Los autores agradecen el asesoramiento recibido por el Sr. Carlos Linares sobre la implementación del circuito y documentación histórica.

Bibliografía

Max Kohl 1922. Catálogo de instrumentos didácticos Max Kohl 1922, p. 483.

Duddell 1900: W. Duddell, British patent, No. 21,629, of 1900, "Complete Specification," p. 4, lines 24-29.

Simon 1901: H. Th. Simon, E. T.Z., XXII., p. 513, 1901 ; also Simon and Reich, Phys. Zeitschr., XIII, p. 278, 1901, iv., p. 364, 1903 ; and Simon, Phys. Zeitschr., IV., p. 737, 1903.

Actos 1911: Actos Universitarios, UNLP, Buenos Aires, Publicación Oficial, pp. 10-11.

Ranea 1991: Alberto G. Ranea "Origin and (mis)fortune of the collection of scientific instruments of the Department of Physics, La Plata, Argentina", Proc. of the Eleventh International Scientific Instrument Symposium, Bologna, Italia, 9-14 Septiembre de 1991, Grafis Edizioni (eds. Giorgio Dragoni, Anite McConnell y Gerard L.E. Turner) pág. 117-123.

Davy 1800: Davy, Humphry (1800). Researches, Chemical and Philosophical. Bristol: Biggs and Cottle. ISBN 0-407-33150-6.

Ayrton1902: Hertha Marks Ayrton: The Electric Arc. El Pub, 1902. Review: W.W., ETZ 24 (1903): 14.

Hertz, H.R.: trabajos compilados en: "Electric waves: being researches on the propagation of electric action with finite velocity through space" (1893) (translated by David Evans Jones). Ithica, New York: Cornell University Library. 10-ISBN 1-4297-4036-1; 13-ISBN 978-1-4297-4036-4

Daniel Gethmann: "The Usefulness of Negative Resistance", <http://klangmaschinen.ima.or.at>, descargado el 22 /8/2012.

American Physical Society News, December 2010 (Volume 19, Number 11): December 20, 1900: Nature reports on William Duddell's "musical arcs".

Poulsen 1904: Valdemar Poulsen: "System for producing continuous electric oscillations". Transactions of the 1904 Saint Louis International Electrical Congress, Volume II, pages 963-971.

Oohashi, Nishina, Kawai, Fuwamoto and Imai: "High-Frequency Sound Above the Audible Range Affects Brain Electric Activity and Sound Perception" (AES preprint No. 3207).

T. Oohashi, E. Nishina, M. Honda, Y. Yonekura, Y. Fuwamoto, N. Kawai, T. Maekawa, S. Nakamura, H. Fukuyama y H. Shibasaki: "Inaudible High-Frequency Sounds Affect Brain Activity: Hypersonic Effect", Journal of Neurophysiology, Vol. 83, No. 6. (01 June 2000), pp. 3548-3558.