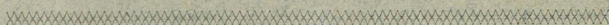


Facultad de Ciencias.—Sección de las Físico-Químicas



TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EMPLEADOS EN LA

PRODUCCIÓN DE RAYOS X

POR

ARTURO PEREZ MARTIN



SALAMANCA

IMP. Y LIB. DE FRANCISCO NÚÑEZ

1903

UVA. BHSC. LEG. 69-2 n4223

4223-leg 69 p. 20

Reg: no. 355.

Instituto de Ciencias - Sección de las Físico-Químicas

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EMPLEADOS EN LA

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EMPLEADOS EN LA

PRODUCCION DE RAYOS X

ARTURO PEREZ MARTIN



SALAMANCA

IMP. Y LIB. DE FRANCISCO NÚÑEZ

1983

UVA. BHSC. LEG.

U/BC LEG 69-2 nº4223

HTCA



1>0 0 0 0 2 2 9 1 3 2

Facultad de Ciencias - Sección de las Ciencias Químicas

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS
ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EMPLEADOS EN LA

PRODUCCION DE RAYOS X
PRODUCCION DE RAYOS X

Facultad de Ciencias.—Sección de las Físico-Químicas

TESIS DOCTORAL

*Esta Memoria fue aprobada el día 9 de
Junio de 1903, por el Excmo. Consejo
titulado en la siguiente forma:*

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EMPLEADOS EN LA

PRODUCCIÓN DE RAYOS X

Ilmo. Sr. Dr. D. Gonzalo Quintero.
POR

*Ilmo. Sr. Dr. D. Victorino García de la Cruz.
Ilmo. Sr. Dr. D. José Muñoz del Castillo.
Dr. D. Eugenio Páez.
Dr. D. Ignacio González.*

ARTURO PEREZ MARTIN



SALAMANCA

IMP. Y LIB. DE FRANCISCO NÚÑEZ

—
1903

UVA. BHSC. LEG.69-2 n4223

Facultad de Ciencias — Sección de las Físico-Químicas

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

EN LA

PRODUCCIÓN DE RAYOS X

POR

ARTURO PÉREZ MARTÍN



SALAMANCA

Imp. y Lit. de Francisco Nolasco

1903

VVA. BHSC. LEG.69-2 n4223

*Esta Memoria fué aprobada el día 9 de
Julio de 1900, por el Tribunal cons-
tituido en la siguiente forma:*

PRESIDENTE

Ilmo. Sr. Dr. D. Gonzalo Quintero.

VOCALES

Ilmo. Sr. Dr. D. Victorino García de la Cruz.

Ilmo. Sr. Dr. D. José Muñoz del Castillo.

Dr. D. Eugenio Piñerua.

Dr. D. Ignacio González Martí.

Esta Memoria fue aprobada el día 9 de
Julio de 1900, por el Tribunal cons-
tituido en la siguiente forma:

PRESIDENTE

Ilmo. Sr. Dr. D. Gonzalo Quintero.

VOCALES

Ilmo. Sr. Dr. D. Victorino García de la Cruz.

Ilmo. Sr. Dr. D. José Muñoz del Castillo.

Dr. D. Eugenio Pérez.

Dr. D. Ignacio González Martí.



Ilmo. Señor:



NINGÚN descubrimiento ni invención del portentoso siglo que concluye, se ha popularizado tanto y tan rápidamente como el de los rayos X ó de Röntgen. Nadie ha podido sustraerse al influjo de la prensa científica y profana que ofrecía, en gruesos caracteres, noticias del notable descubrimiento. ¡Qué de narraciones fantásticas en algunos periódicos! Pero la noticia volaba, y, quien más, quien menos, apenas hay persona que sepa leer que no conozca algo de los extraños rayos.

No queremos nosotros entonar un ditirambo en alabanza del descubrimiento modernísimo, ni figurar entre los detractores del mismo, que para ambas cosas carecemos de autoridad y mérito, y no pretendemos que nuestro trabajo se resuelva en pura retórica. Para lo primero basta repasar los periódicos diarios, y nada como leer á nuestro genial Letamendi para conocer la reacción que el

elogio sin tasa y sin conocimiento del asunto, despertó en muchos espíritus juiciosos. “*Arte de ejecutar sombras chinescas sin candil*”, en vez de *fotografía á través de los cuerpos opacos*, escribía el sabio enciclopedista, quitando importancia al nuevo arte, del que decía en *La Naturaleza* que, no consintiendo detalles de las formas por no reflejarse los rayos X, ni ampliaciones ni reducciones por no refractarse aquéllos, era de lo más *engorroso y frenético* que se conoce, por necesitar además el auxilio de la fotografía y de la fluorescencia.

La fiebre de investigación y el afán de noticias se extiende, sin embargo, por todo el mundo, y desde Diciembre de 1895, en que el profesor Röntgen anuncia su descubrimiento á la sociedad físico-médica de Würtzbourg, los experimentos se repiten por todas partes, y todas las revistas del mundo se ven obligadas el año de 1896 á dedicar gran espacio á la actualidad científica.

Sin embargo, el tema se hace pronto viejo. Hasta *La Naturaleza* deja de abordarle, al menos en la sección doctrinal, un año entero. ¿Quién pretenderá hoy escribir una edición más de la historia del descubrimiento, de sus perfeccionamientos y precedentes, si parece ya contemporánea de la guerra de Troya?

¿Quién hablará de si los rayos X no se reflejan, ni refractan, ni polarizan, ni interfieren, de las propiedades eléctricas de los mismos, cuando los meritísimos físicos que sobre ello experimentan más parecen merodeadores que colaboradores de la obra de Röntgen, á la que no aportan datos de transcendental importancia? ¡Es fresca la noticia!, se diría.

¿Quién ha de decidirse, sin aportar una prueba

decisiva, entre la teoría materialista de Tesla, la de vibraciones longitudinales de Röntgen, la de las vibraciones transversales de cortísima longitud de onda ó la de las impulsiones ó pulsaciones aisladas de M. Stokes, según el cual estos rayos serían á los ultraviolados lo que una sucesión irregular de ruidos secos y de cortísima duración á un sonido musical regular y prolongado?

No es para nosotros esa obra en que, sin duda, trabajan muchos sabios.

No obstante, en el estudio de los rayos X á que la corriente general nos ha conducido, hemos encontrado tema para este deshilvanado discurso. Tema modesto, modestísimo, que no nos atrevemos á llamar *nacional* por la importancia de la frase, pero sí de actual interés en nuestra patria.

Hoy que se generaliza en España el uso del material preciso para el estudio de los rayos X, y los gabinetes que no les poseen tienden á completarse con tan nuevo é interesante medio de experimentación, nos parece de utilidad un estudio comparativo, imparcial y desprovisto de todo interés bastardo, más detallado, mejor hecho, pero de la índole del que hemos tenido la suerte de realizar, estudiando los aparatos de gabinetes de Valladolid, Palencia y Salamanca.

El Instituto de esta capital, sólo hace meses que posee el carrete de Rhumkorff para la obtención de rayos X. Material análogo se emplea en el Seminario.

En la Academia de Caballería de Valladolid y en el Colegio de PP. Jesuitas, se usan máquinas de Wimshurst.

En Palencia, se emplea material de la casa Ducretet con carrete ya existente en aquel gabinete; y si en otras poblaciones, que conozco, preocupa

actualmente el problema de la obtención de rayos X, puede suponerse que lo mismo ocurrirá en alguna otra, y que, en breve tiempo, apenas habrá gabinete de Física, que no cuente con material para estas experiencias.

Tales circunstancias nos han inspirado este *estudio de los generadores eléctricos, empleados en la producción de rayos X.*

Al abordar el tema, que no pensamos, ni con mucho, haber agotado, hemos de encomendarnos á la benevolencia de nuestros ilustradísimos jueces, porque lo mismo en las dos partes en que dividimos primeramente este trabajo para estudiar los generadores eléctricos, como en la que seguirá para compararles, así como en la última en que recogeremos, á modo de conclusiones, los resultados de las anteriores, no omitiremos el relato de ensayos poco afortunados, porque no tratamos de decir la última palabra del tema, sino indicar lo que hemos hecho y lo que resta por hacer, si más afortunados y hábiles tratadistas, juzgan el tema digno de atención. No aspiramos á que este trabajo lleve otra originalidad que la estrictamente precisa, que es ley de vida para las obras de la inteligencia. El temor con que le emprendemos, acaso dependa de que la importancia y extensión de los conocimientos que comprende la carrera á que con él queremos dar remate, hace que se considere uno tanto más pequeño, cuanto más grados en ella se alcanzan.

II

El fenómeno objeto de nuestro estudio, es, en síntesis, el siguiente: si en un tubo cerrado se encarece el aire suficientemente y, en su interior, se

produce una descarga eléctrica, los rayos luminosos que emanan del catodo, producen, en el punto en que encuentran al tubo, rayos luminosos para los que son transparentes muchos cuerpos opacos á la luz ordinaria. Esta transparencia la patentiza la posibilidad de impresionar, á través de ellos, placas fotográficas ó substancias fluorescentes.

Pudiéramos, por tanto, clasificar el material operatorio en estos tres grupos:

- 1.º Generadores eléctricos.
- 2.º Tubos productores de rayos X.
- 3.º Analizadores.

La extensión que hubiera alcanzado este discurso, ha hecho que nos concretemos á estudiar el primer grupo, pues aunque los experimentos realizados permiten formar algún juicio respecto á los demás, sería preciso un estudio más detallado de los diversos tubos, de las pantallas fluorescentes, de las placas fotográficas, reveladores especiales, etcétera, etc., para juzgar con completo acierto y sentar conclusiones.

Pasemos breve revista á los manantiales de energía eléctrica para determinar los que son utilizables.

Siguiendo la clasificación del Sr. Rojas, podemos decir que los modos de producir energía eléctrica utilizable por el físico y el industrial, pueden reducirse á estos cuatro:

- 1.º El calor.
- 2.º La acción química.
- 3.º La inducción.
- 4.º El frotamiento.

En el primer grupo se estudian, como generadores, las pilas termo-eléctricas. Imposible es lograr con ellas la producción de rayos X, por el escaso potencial que con ellas puede obtenerse. La

pila de Clamond, de 130 elementos, suministra solamente una fuerza electro-motriz de ocho volts.

La acción química, aprovechada en las pilas hidro-eléctricas, no es de por sí bastante poderosa para producir la descarga en tubos que contengan aire tan enrarecido como los experimentos exigen. Dice Mr. Bretón que la batería colosal de Warren de la Rue y de Hugo Müller, quienes acoplaron en serie hasta 25.400 elementos, no basta para producir tensión suficiente para la obtención de rayos X. Aparte de lo peligroso que es el manejo de tales baterías, hay que convenir en que, aunque con ellas se lograse la obtención de rayos X, no resultaría práctico, cómodo y económico su empleo.

Análogos inconvenientes tiene el uso de acumuladores.

Los generadores de inducción son de dos clases: unos transforman el trabajo mecánico en eléctrico, basados en la inducción por imanes ó electroimanes, y otros transforman una energía eléctrica elevando el potencial á costa de la intensidad de la corriente primaria, ó aumentando la intensidad en perjuicio del potencial. Al primer grupo corresponden las máquinas magneto y dinamo-eléctricas, y al segundo los llamados transformadores, el carrete de Rhumkorff, el más importante, entre otros.

Hoy que el alumbrado eléctrico se aplica en las ciudades y hasta en las últimas villas, sería muy económica y fácil la producción de rayos X si la corriente suministrada por las fábricas de luz sirviese.

Si las dinamos productoras son de corriente continua, el potencial de 110 volts, disponible, es demasiado pequeño hasta para producir la iluminación de los tubos de Geissler.

Las dinamos de corrientes alternativas, mono ó polifásicas, no son tampoco utilizables para la producción directa de rayos X, pues lo peligroso del manejo de las corrientes de alta tensión que producen, no permite servir las á los abonados sin previa transformación; y aunque acaso con algunos alternadores construídos pueda obtenerse tensión suficiente para la producción de rayos X, siempre quedará el gravísimo inconveniente de la dificultad del manejo de tan gran potencial. En Peñaranda de Bracamonte, donde resido, la dinamo del alumbrado público es un alternador Oerlikon con frecuencia de 40 períodos por segundo, y tensión de 1.100 volts. Se obtiene con ella la iluminación de los tubos de gases enrarecidos, pero para la producción de rayos Röntgen, no bastaría este potencial.

No queda otro remedio que acudir á las máquinas electrostáticas ó á los transformadores que á costa de la intensidad eleven el potencial de cualquiera de los mencionados manantiales eléctricos. Y bueno sería que en los libros de vulgarización se hiciese resaltar que no se emplean otros medios porque no se puede, para que los que empiecen á trabajar no caigan en la tentación de encargar tubos *focus*, pensando que por 25 ó 30 pesetas merece la pena ensayar el procedimiento de obtención de rayos Röntgen, utilizando la corriente del alumbrado.

Nosotros hemos de hablar primero de las máquinas electrostáticas, sin otras razones que la de apenas mencionarse en los libros que de la materia conocemos, y la de haber operado antes con estos generadores.

De las máquinas electrostáticas, las llamadas de rozamiento, de las que es tipo la clásica de

Ramsden, no son bastante poderosas. En cambio, tengo por seguro que, con buenos modelos de cualquiera de las máquinas llamadas de influencia, pueden obtenerse notables resultados, y que son aplicables á estos trabajos la máquinas de Carré y de Holtz, así como la de Wimshurst.

Con una de éstas, precioso modelo del gabinete de Física de la Academia de Caballería de Valladolid, he practicado experiencias, gracias á la amabilidad de mi distinguido é ilustrado amigo el Capitán profesor D. Marcelino Asenjo, hábil experimentador y notable físico. Es la máquina de referencia, construída por la casa Ducretet, de París, de cuatro discos de vidrio, de 40 centímetros de radio, montados sobre el mismo eje, barnizados de goma laca, y movidos por una manivela por intermedio de correas sin fin, cruzadas para el movimiento de los discos pares y sin cruzar para el de los impares, á fin de que lleven dirección contraria. Cada platillo lleva 35 sectores de estaño. Cuando se quiere aumentar la capacidad de los conductores, se les pone en comunicación con dos ó cuatro condensadores cilíndricos que aumentan considerablemente el brillo y la energía de las chispas, pero que no son necesarios en máquina tan poderosa para reproducir con toda brillantez cuantos experimentos hacen relación á este importante y nuevo capítulo de la Física.

Para preservar el aparato del polvo, de la acción oxidante del aire húmedo y de las variaciones que el estado higrométrico de la atmósfera puede determinar en las descargas, está encerrado en elegante vitrina, de la que sólo salen, por un lado la manivela y por el contrario los conductores, terminados por los dos arcos metálicos, con mangos de ebonita, que llevan todos los modelos de

Wimshurst. Con el modelo que voy describiendo, se obtienen chispas de 18 centímetros de longitud, haciendo girar los platillos con una velocidad de 280 á 300 vueltas por minuto, correspondientes á 70 ó 75 de la manivela.

Para operar con la máquina de Wimshurst, es muy conveniente adicionar á ésta los detonadores Bonetti, que no son sino excitadores de descargas, consistentes en dos pequeñas esferas metálicas, unidas por un cilindrito que atraviesa un soporte de madera, de altura conveniente, para que el eje del cilindro y el del conductor de la máquina estén en el mismo plano horizontal.

A los detonadores se unen los dos reóforos, que son de alambre grueso, bien aislado al exterior, con cubierta protectora de goma. Por el cabo opuesto, van unidos los reóforos á los polos del tubo fluorescente.

De modo que la disposición operatoria es la siguiente: máquina electrostática, los detonadores á dos ó tres centímetros de los mangos excitadores de la máquina, á éstos unidos los conductores, que enlazan con los dos polos del tubo; separada de éste unos 20 centímetros, puede colocarse la pantalla fluorescente, y entre tubo y pantalla, el objeto que se somete á los rayos.

Como para la producción de rayos X, es necesario unir el polo negativo de la máquina del mismo nombre ó catodo al del tubo que ha de producirles, es del mayor interés el conocimiento de los polos de la máquina electrostática. La electricidad positiva parece escaparse de los peines en forma de penacho de chispas violadas, que van al encuentro del disco giratorio, ó, lo que es igual, que se escapan en sentido inverso del movimiento de rotación del disco; por el contrario, la electricidad negativa

parece fluir de los peines en el sentido de rotación del disco y toma el aspecto de pequeñas estrellas luminosas, también de color violado, aunque menos brillante.

Acompañamos fotografías, cuyos clichés pertenecen á la Academia referida y obtenidas con referida máquina.

En la primera, obtenida sin condensadores, colocando los detonadores á dos centímetros de la máquina, se nota menor intensidad en las tintas, lo que hace deducir que es favorable el uso de los condensadores.

En las restantes radiografías se emplearon ya los dos condensadores, y se varió el tiempo de exposición, que fué de *quinientas* chispas en la segunda, equivalentes á diez minutos. En ella se nota claramente la diferencia de intensidad de tintas entre el metal y el marfil de la bigotera, así como la presencia de una pequeña barra de lápiz, dentro del porta-lápices de aluminio, que se presenta transluciente; el grafito aparece, pues, impresionando la placa fotográfica á través del estuche de madera, del aluminio y del *chasis* que encerraba la placa sensible. Los detonadores fueron colocados á 2'5 centímetros.

La tercer radiografía, que acompaño, fué obtenida con los detonadores á dos centímetros, exposición de 12 minutos y dos condensadores; ella permite ver que el diamante de la sortija no es falso, pues que se presenta transparente, mientras que los diamantes americanos son opacos á los rayos X, circunstancia que da importancia á este procedimiento físico como método de análisis.

La última radiografía está obtenida en caja de cartón que contenía dos balas, ó, mejor, cartuchos cargados de fusil Maüsser, y las iniciales del cuello

de la guerrera de los cadetes de la Academia de Caballería. Los detonadores fueron colocados á 2'5 centímetros, con exposición de 15 minutos.

La comparación de diferentes pruebas y experiencias, con esta máquina, hace deducir que el mayor efecto de intensidad se obtiene en la máquina de referencia con dos condensadores y colocando los detonadores á dos centímetros. Pasando de tres centímetros la distancia de éstos, el flujo de chispas es bastante intermitente, y á menor distancia de dos centímetros, aquél es tan contínuo, que parecen los detonadores formar cuerpo con los conductores de la máquina, y es menos brillante la iluminación del tubo.

Siendo la función de los detonadores formar con el conductor de la máquina y la capa de aire aisladora, un condensador de menor capacidad que los de botella que tiene el aparato de Wimshurst, sirviendo, al mismo tiempo, de excitadores de descargas, se comprende que su uso no es indispensable, si al construirse la máquina se tiene en cuenta su nueva aplicación ó se aumenta el número de discos de la máquina.

La del Colegio de PP. Jesuitas, de Valladolid, tiene seis discos sobre el mismo eje, y es de construcción española. Para la facultad de Medicina de la misma población, se estaba terminando el pasado verano la construcción de una hermosa máquina de Wismhurst, de diez discos, cuyo coste ascendería á unas 1.000 pesetas. La construcción se realizaba bajo la dirección del P. Eleuterio Martínez, en los talleres de Allen é hijos, y á la hora en que leo estas líneas, debe estar ya entregada á la Universidad.

III

Otro medio de producir los altos potenciales que son precisos para la producción de rayos X, es acudir á los transformadores que, á cambio de una corriente de gran intensidad y pequeño potencial, devuelven la energía eléctrica con poca intensidad y gran potencial.

La bobina ó carrete de Rhumkorff, y los aparatos destinados á producir las corrientes oscilatorias de alta frecuencia, son de este grupo.

No vamos á describir el carrete de Rhumkorff, pues sería poco propio de este lugar detenernos en cosas tan elementales. Diremos solo algunas circunstancias peculiares de los empleados para las experiencias de esta índole y las especiales del recientemente adquirido en Salamanca por el celoso, inteligente catedrático y distinguido profesor de Física, D. Mariano Reymundo, fabricado por la casa Max Kohl, de Alemania.

Para la excitación y consumo del carrete, pueden emplearse las pilas hidro-eléctricas, los acumuladores y la corriente suministrada por las fábricas.

Se emplean pilas Bensen ó de bicromato de Grenet ó Trouvé (estas últimas en el aparato con que hemos trabajado), por ser su fuerza electromotriz 1'7 y 2 volts respectivamente, es decir, más elevado que el de las de Daniell, Leclanché y demás de uso generalizado.

También pueden usarse los acumuladores Planté, Suben, Faure, y los de igual tipo que dan una fuerza electro-motriz variable entre 2'5 y 1'8 volts.

Unas y otros han de emplearse en serie, y conviene rectificar la razón científica del hecho, ale-

gada por algunos tratadistas que, sin duda, lo han tomado del Hébert, notable libro de práctica. He aquí las palabras de este distinguido autor: "Le couplage en tension est le plus avantageux, car on demontre, eu Electricité dynamique, que, dans ce cas, l'intensité du courant fourni est sensiblement proportionnelle au nombre des éléments qui constituent la pile, tandis que dans le couplage en quantité, l'intensité est independante du nombre des elements (ces afirmations ne sont vraies que quand la résistance extérieure est très grande par rapport à la résistance intérieure de la source d'électricité, ce qui n'est pas complètement exact pour le cas que nous considerons). Or, comme nous l'avons dit, c'est surtout l'intensité du courant produit qu'il y a lieu de rechercher comme qualité primordiale des piles pour l'emploi que nous en voulons faire." (1).

Se confunde, en nuestra opinión, el papel de las pilas: es cierto que la resistencia exterior que ha de vencer la corriente secundaria es enorme, pero no es la corriente de la pila la que ha de vencerla; el papel de ésta es hacer que circule una corriente por el circuito primario, puesto que realmente la bobina de Rhumkorff consiste en una corriente primaria que, por sus rápidas interrupciones, hace nacer corrientes inducidas de menor intensidad y de gran potencial. Así, pues, el circuito primario apenas ofrece resistencia, por ser de hilo de cobre de 2 á 2,5 milímetros de diámetro, y de 40 á 50 metros de longitud.

Supongamos, para aclarar nuestra idea por medio de un ejemplo, que el circuito primario de la

(1) A. Hébert. La technique des rayons X. Biblioteque de la Revue générale des sciences. París. 1897. Págs. 15 y 16.

bobina sea de 48 metros de longitud; si el hilo tuviese un milímetro de diámetro, su resistencia sería un ohm; si suponemos, caso menos favorable para nuestro argumento, que tiene dos milímetros de diámetro, la sección será cuatro veces menor, y la resistencia $R = \frac{1}{4} = 0.25$ ohms.

Supongamos también el caso corriente en estos experimentos, de trabajar con cinco elementos Trouvé, cuyas constantes son $e = 2$ volts y $r = 0.30$ ohms. Sustituyendo en las fórmulas generales

$$I = \frac{ne}{nr + R}$$

del montaje en tensión

$$I' = \frac{ne}{r + nR}$$

del montaje en cantidad, tendríamos

$$I = \frac{10}{1.50 + 0.25} = \frac{10}{1.75} = 5.71 \text{ amperes}$$

$$I' = \frac{10}{0.30 \times 1.25} = \frac{10}{1.55} = 6.45 \text{ amperes}$$

lo que indica que, si se hubiese de buscar la intensidad de las pilas como cualidad primordial, se agruparían mejor en cantidad que en tensión.

Tan no es así, que en cuanto la corriente tiene intensidad considerable, peligra la bobina, y todos estos aparatos llevan la indicación del fabricante respecto al número de amperes admisible sin peligro; para procurar este requisito, todos los aparatos destinados á la producción de rayos X, llevan entre el carrete y los botones de entrada de corriente un reostáto y un amporómetro; el primero para rebajar la intensidad de la corriente, y el segundo para medirla antes de su entrada en la bobina.

Si se persiguiese, como erróneamente dice Heber, un efecto de cantidad, en vez de emplear el reostato, de uso imprescindible cuando se emplea la corriente de las fábricas de alumbrado, á fin de reducir la intensidad de la corriente que pasa á la bobina á tres, cuatro ó cinco amperes, dejándola, sin embargo, con el voltaje de ciento diez, se emplearía á la entrada un transformador Zypesnows-ki ó análogos (un carrete de Rhumkorff *al revés*, ó sea de inductor, largo y delgado, é inducido, corto y grueso), á fin de reducir el potencial á once volts, por ejemplo, haciendo diez veces mayor la intensidad. Precisamente porque la resistencia exterior es muy grande y se precisa enorme potencial para hacer saltar la chispa dentro del gas tan enrarecido de los tubos crookes, es conveniente, para igual cantidad de energía eléctrica excitadora de la bobina, la menor intensidad posible.

En efecto, supongamos (y es aproximadamente el caso de nuestra experiencia) que disponemos de una energía de 60 wats, descomponible en esta forma:

$$6 \text{ amperes} \times 10 \text{ volts} = 60 \text{ wats.}$$

Y que el carrete, que es propiamente un transformador de energía, lo haga sin pérdida, reduciendo á $\frac{1}{1000}$ la intensidad; en el circuito secundario recogeríamos una corriente de esta clase:

$$0,006 \text{ amperes} \times 10.000 \text{ volts} = 60 \text{ wats,}$$

ó sea una corriente de gran voltaje, capaz de vencer una gran resistencia exterior.

Supongamos que los 60 wats de energía inicial se obtengan de este modo:

$$20 \text{ amperes} \times 3 \text{ volts} = 60 \text{ wats.}$$

La corriente recogida sería de 0,020 amperes,

pero solo de 3.000 volts, es decir, de escaso potencial, comparada con la anterior.

La pila ideal para estas experiencias, sería una de gran energía que diese corriente de pequeñísima intensidad, y que tuviese gran fuerza electromotriz, en cambio.

Entre las pilas, los acumuladores y la energía industrial, nosotros encontramos preferible el primer medio, por disponerse de corriente cuando el operador lo desee, de noche ó de día, cosa no muy fácil, de otro modo, en poblaciones pequeñas, y por no estar supeditadas las experiencias á la posible avería de la red industrial. El empleo de acumuladores es muy aceptable, por no existir este inconveniente; pero la dificultad de su carga en poblaciones pequeñas, hace que tengamos por mejor medio el de las pilas, porque, sobre no ser tan costosas como los acumuladores, en cualquier momento se dispone del aparato completo, sin auxilio de empresas ni de convenios, y puede instalarse donde se quiera.

Con el devanado ordinario del carrete, dos capas del hilo inducido están separadas por toda la longitud del hilo de una capa, y puede existir entre dos de ellas tal diferencia de potencial, que peligre el aislamiento; por eso las bobinas para rayos X son realmente, y por decirlo así, pilas de bobinas estrechas, acopladas en serie y separadas por aisladores.

El carrete de nuestras experiencias, tiene 80 centímetros de longitud, y da chispas de 30 centímetros, siendo de notar que en los catálogos de la casa constructora figura solo con 25, lo que hace honor á la fabricación alemana. Las experiencias se realizan con éxito, con carretes de ocho centímetros de chispa en adelante.

Las interrupciones en la corriente inductora de la bobina, necesarias para el desarrollo de la corriente inducida, se obtienen por diversos sistemas, de los que los principales son el empleo del interruptor de martillo y el del interruptor de mercurio, ambos descritos en todos los libros de Física elemental. Encontramos preferibles los modelos de mercurio, pues ni la adición de una lámina de platino á la pieza que sostiene el martillo es suficiente para que la chispa de ruptura que salta entre ésta y el contacto de tornillo, no destruya rápidamente el interruptor. La modificación de Gaiffe, para hacer girar la placa de contacto por medio de una pequeña dinamo movida por una derivación de la corriente primaria, complica el aparato y no evita, aunque sí aleje, el peligro apuntado.

En el carrito del Instituto de Salamanca, el interruptor es de mercurio: sobre este líquido, cuando se trabaja, se pone bencina; pero, así y todo, la interrupción es tan rápida, y tan intensas las chispas que dentro del vaso de mercurio saltan, que sus chasquidos producen un ruido ensordecedor, y constantemente se vé iluminado el interior del vaso.

Lleva el aparato, en la peana, un condensador Fizeau, cuya armadura positiva recibe la corriente á su salida de la bobina y cuya armadura negativa comunica con la pila; su efecto es aumentar la fuerza electromotriz del inducido, suprimiendo la extra-corriente de ruptura, que prolongaría la corriente inductora, haciendo que ésta no cesara rápidamente. Sin el condensador, al cesar la corriente inductora, se produciría la extra-corriente de igual sentido, que tendería á imanar el núcleo de hierro dulce; pero, si aquél existe, la extra-corriente le carga, y al descargarse él, en seguida

produce una corriente de *sentido contrario* al de la corriente inductora que acaba de terminar, y el núcleo de hierro dulce se desmanta rápidamente. La corriente inducida aprovechable es, pues, de más corta duración y más intensa, por lo tanto.

Para medir la longitud de la chispa, llevan estos aparatos unos *deflagadores*, *experinterómetros*, *excitadores de chispas*, que todos estos nombres reciben, y que consisten, simplemente, en dos conductores, uno en punta y otro plano, que se separan á voluntad, resbalando sus piés sobre una escala de centímetros, y que se unen, en derivación, á los dos polos del carrete.

Es necesario advertir que la corriente suministrada por el carrete no es alternativa, ó, mejor, que no se utiliza la corriente alternativa que producen los carretes; en efecto, al cerrar y al romper la corriente primaria, se producen corrientes de sentido contrario en el inducido, y si el circuito exterior es de poca resistencia, por fuerza le atravesará una corriente alternativa; pero si la resistencia es grande, como necesariamente lo es en estas experiencias, las corrientes directas, es decir, las provocadas por la ruptura, son las únicas que pasan, por responder á mayor potencial, y consiste esta diferencia, en que la imantación del núcleo de hierro dulce exige más tiempo para producirse que para desaparecer. Ya hemos dicho que el condensador provoca esta brusca desaparición al destruir la extra-corriente originada en la ruptura. En cambio, al cerrar el circuito primario, se produce la *contra-corriente*, que tiende á hacer más tardía la imantación del núcleo.

El aparato de producción de rayos X por la bobina, suele tener distintas disposiciones. En alguna de ellas, el carrete es vertical y de interruptor.

separado. La casa Siemens les construye de esta clase.

La disposición de Max Kohl me parece la más cómoda. Sobre una gran mesa de pino, van todos los aparatos, y las pilas se colocan bajo la mesa misma. La corriente de las pilas ó la del generador eléctrico, si otro se emplea, pasan por un reostato colocado en la parte anterior, á la derecha; un amperómetro y un voltmetro colocados detrás y al mismo lado, miden la corriente primaria que va al carrete. Este y su interruptor ocupan la mitad izquierda de la mesa. Esta lleva dos cajones para guardar material de trabajo y dos plataformas ó pupitres para, sobre ellos, obtener radiografías. Lleva, aparte, elegante soporte para el tubo de Crookes.

Trabajando con corriente primaria á cinco amperes y 9'8 volts, procedente de cinco pilas Trouvé, se han obtenido las radiografías que acompaño. El tubo empleado ha sido el bianódico de Segui, que ha permitido reducir muchísimo el tiempo de exposición exigido por el antiguo tubo de Crookes.

Uno á este discurso una radiografía de mi mano izquierda. Parecerá, á primera vista, que se trata de la mano derecha; pero ha de tenerse en cuenta que al obtenerse la radiografía, ha de ponerse la mano del lado de la gelatina de la placa sensible, por ser el cristal opaco á los rayos X; y como al obtenerse la positiva, el papel sensible ha de ponerse también del lado de la gelatina, para que no salgan borrosos los contornos, la mano izquierda parecerá la derecha y al contrario. Esta radiografía ofrece particular interés y da idea de las aplicaciones médicas de los rayos X. Cuando tenía yo tres ó cuatro años, padecí una úlcera escrofulosa que hizo temer fuera necesaria la amputación de la

mano; yo he oído referir muchas veces á mi familia que, durante la supuración, se me desprendieron trocitos de hueso que acaso me faltaran. La radiografía deja ver que, ó no existió tal cosa, ó que el sistema óseo ha reparado los efectos de la escrófula, mejor que el sistema muscular, que presenta profunda cicatriz, como deja ver la fotografía que también entrego con este discurso y que es retrato directo de la misma mano. Aunque manejo la mano perfectamente, hasta que en la pantalla fluorescente no vi los huesos de la misma, no quedé convencido del perfecto estado de los mismos.

También en el grupo de los transformadores de energía eléctrica deben incluirse las disposiciones estudiadas para utilizar las corrientes oscilatorias de alta frecuencia y enorme potencial.

Indicaremos sumariamente la disposición de los aparatos de Mrs. d' Arsonval y Tesla.

Un carrete de Rhumkorff alimentado por pilas ó acumuladores, carga una batería de botellas de Leyden, cuya descarga oscilante se efectúa á través de otra bobina y del excitador de chispas del aparato. Esta descarga induce entonces una corriente oscilatoria de corto período en un hilo largo y fino rodeado en un manguito de vidrio que forma realmente otro carrete; éste va sumergido en aceite, para su mejor aislamiento, y la corriente secundaria que proporciona, es la que se utiliza en los tubos de Crookes para la obtención de rayos X.

Una de las particularidades más interesantes de estas descargas oscilantes de muy corto período, es que producen acciones fisiológicas casi nulas, y esta particularidad puede hacer ventajoso el procedimiento; pero la mayor complicación del mismo, comparada con el empleo de una sola bobina y el mayor coste del material operatorio, hace

que, si le consideramos muy digno de emplearse en experiencias de investigación, no le creamos con condiciones de práctico empleo en las cátedras y en aplicaciones radiográficas.

III

Para comparar efectos físicos, químicos ó fisiológicos de las máquinas electrostáticas y del carrete de Rhumkorff, lo mejor sería operar con máquinas que suministrasen la misma cantidad de electricidad en un tiempo dado, si se trataba de lograr algún efecto de intensidad eléctrica; que tuviesen igual potencial si se habían de lograr efectos de tensión; ó que el trabajo eléctrico de ambas fuese el mismo, si se trataba de comparaciones respecto á la calidad de un trabajo realizado por uno ú otro aparato.

Tratándose de producir rayos X, al potencial ha de atenderse. Y cuando el que ha de experimentar acude á los libros en busca de indicaciones respecto al potencial del carrete de Rhumkorff y de las máquinas electrostáticas, no puede menos de sorprenderse, al ver que todos hablan de la longitud de la chispa, pero ninguno habla del número de volts que con unos ú otros aparatos se obtienen. El potencial será, en efecto, *sensiblemente* proporcional á la longitud de la chispa, pero en libros científicos parécenos que hace poco menos daño callar una dificultad que beneficio reporta la lectura de lo bien estudiado y resuelto.

Hemos de enumerar los procedimientos comunes de medida de potenciales y la causa de su ineficacia aplicados á las máquinas electrostáticas.

1.º Los voltmetros industriales ofrecen indicaciones muy bajas.

2.º Se mide la intensidad y la resistencia, para medir por su producto el voltaje. Primera dificultad: la intensidad es tan pequeña, que el galvanómetro no da indicaciones sensibles. Conocido el experimento de Hugo Müller y Warren de la Rue empleando 25.400 pilas en tensión, lo que supone otros tantos volts, sin lograr éxito, se comprende el fenómeno. En efecto, en la producción de rayos X por el carrito de Rhumkorff, basta emplear cinco pilas de hicromato, en serie, lo que da, según el cálculo hecho por nosotros páginas atrás, una intensidad media de seis amperes y potencial de diez volts, ó sea un trabajo de 60 wats. Y si se han de tener más de 25.400 volts, llamando I la intensidad de la corriente de la bobina, aun suponiendo que ésta no absorbe, en pura pérdida, trabajo alguno, tendremos:

$$60 > 25.400 \times I$$

de donde:

$$I < \frac{60 \text{ wats}}{25.400 \text{ volts}}$$

ó sea,

$$I < 0,0023 \text{ amperes.}$$

Segunda dificultad: medida de la resistencia R . Si la máquina electrostática está parada, no se mide su resistencia, sino el aislamiento de sus polos; y si está funcionando, sería preciso otro generador de enorme fuerza electro-motriz, bien conocida y difícil de procurar. De los experimentos de Müller y la Rue se deduce que, siendo $R = \frac{E}{I}$, la resistencia valdrá más de once millones de ohms.

3.º El ingenioso procedimiento de Wheaststone puede parecer de perlas para el objeto, toda vez que basta variar la intensidad I del generador, para

convertirla en I' ; su resistencia R para cambiarla en R' y determinar luego el potencial E , sin necesidad de conocer R ni R' , ni I , ni I' .

Si el cálculo no convenciera de ello, parecería imposible. Formemos circuito con el generador, un galvanómetro, que hasta puede ser de grados, y una caja de resistencias, de la cual destaparemos una resistencia cualquiera. Sea R la resistencia total, *que no se precisa conocer*. Siendo I la intensidad de la corriente

$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

Aumentemos la resistencia en una cantidad r ; la corriente valdrá

$$I' = \frac{E}{R+r} \quad (2)$$

Quitemos del circuito el generador y pongamos otro de fuerza electro-motriz conocida, por ejemplo, n elementos Daniell (n volts). Por medio de la caja de resistencias lograremos que el galvanómetro se desvíe como en el caso de la fórmula (1). Tendremos, llamando R' la resistencia total

$$I = \frac{n}{R'} \quad (3)$$

Aumentemos la resistencia del circuito hasta que la corriente valga I' . Sea r' la nueva resistencia añadida y tendremos:

$$I' = \frac{n}{R'+r'} \quad (4)$$

Las ecuaciones (1) y (3) dan

$$\frac{E}{R} = \frac{n}{R'} \quad (a)$$

y las (2) y (4)

$$\frac{E}{R+r} = \frac{n}{R'+r'} \quad (b)$$

Quitando denominadores en las (a) y (b) y restándolas se tiene

$$Er' = nr$$

y

$$E = n \frac{r}{r'} \text{ volts}$$

Tomando una sola pila de Daniell se tendrá

$$E = \frac{r}{r'}$$

Pero, si se dispone la experiencia, el galvanómetro, aun con todas las clavijas de la caja de resistencias, no acusa la menor desviación.

Estos fracasos, de los que por primera vez trabajan en determinado orden de fenómenos, tienen por base el no tener los libros explicadas las dificultades que se ocultan, á veces, cuidadosamente.

Después de estos intentos desgraciados, dime á buscar datos del potencial de una máquina de Wimshurst. Entonces encontré los datos de las experiencias, también sin éxito, de Müller y La Rue, en *La Nature*, y en la última edición francesa del Gantot, que el potencial medio de las buenas máquinas electrostáticas pasa de 80.000 volts, después de lo cual comprendí que el potencial solo podía hallarse por los electrómetros absolutos de Lord Kelvin, Lipman y análogos. En ninguno de los gabinetes que he trabajado existían, sino los de Brandly y análogos, que no sirven, como los de Thomson, capilar de Liptman y otros, sino para pequeñas diferencias de potencial.

En el segundo suplemento á la Física de Jamin, hecho por Bouty, se detallan nuevos procedimien-

tos operatorios (1) que precisan el empleo de electrodinamómetros ó electrómetros, y que, por la razón indicada, no me ha sido posible ensayar.

Sabido es el fundamento de los electrómetros y el del de lord Kelvin.

Un condensador, uno de cuyos platillos, que lo es, á la vez, de una balanza, comunica con el generador, mientras el otro comunica con tierra. La fuerza atractiva entre los platillos, fuerza que se pesa en la balanza, es en dinas.

$$f = \frac{V^2 s}{8 \pi K d^2}$$

siendo V el potencial, s la superficie del platillo, d la distancia entre los platillos colector y condensador y K un coeficiente que vale $3^2 \times 10^{20}$.

De ésta se deduce:

$$V = \sqrt{\frac{8 \pi K f d^2}{s}}$$

Para establecer leyes exactas y concretas respecto á la comparación entre las máquinas electrostáticas, nos parece necesario el conocimiento del potencial. Sin embargo, sólo por nuestros estudios y lo que hemos visto, creemos poder sentar algunas observaciones.

Es menor el coste de las máquinas Wimshurst que el de los carretes, á igualdad de longitud de la chispa.

Ya decimos que en Valladolid se fabrican máquinas de diez discos por unas 1.000 pesetas. Los carretes de 50 centímetros de chispa cuestan 1.800 francos que, con gastos de cambio y portes, suben á más de 2.500 pesetas.

No es difícil en el carrete la destrucción de una

(1) Progrès de l'electricité. Paris, 1899.

capa aisladora, y el uso de pilas ó de una corriente industrial primaria, es de empleo menos cómodo que el manejo de la máquina Wimshurst.

A igualdad de chispa, no es fácil encontrar diferencia en los resultados, y en la exposición de la cátedra nos parece más breve el empleo de la máquina electrostática. Las propiedades todas de los rayos X, su propagación rectilínea, la imposibilidad ó dificultad, al menos, de reflejarles, refractarles, hacerles interferir ó polarizar, la de descargar rápidamente los electros copios, excitar la fosforescencia de muchas substancias, se ponen en evidencia, igualmente, con ambas clases de aparatos.

Para trabajos de investigación, nos parece más adecuado el uso del carrete, aunque, en realidad, siendo nuevo el tema, no conviene abandonar ninguno de ellos, pues algún genial experimentador puede encontrar nuevos fenómenos en cada modo de producción. Sin embargo, el regular mejor y el poder medir la energía inicial, da al carrete ventajas de valía.

*
**

Aunque fuera ya de nuestro trabajo, que no queremos que á tanto alcance, hemos de decir que los tubos que hemos ensayado son el de Crookes, que produce fosforescencia en el *anticatodo* (ó pared opuesta al *catodo*), puesto que el *anodo* es lateral, y el *bianódico* de Segui.

Las clases de tubos de anticatodo de vidrio, tienen el inconveniente de que el sitio en que golpean, por decirlo así, los rayos catódicos que engendran los rayos X, se hace poroso y aumenta la presión del gas en el interior del tubo.

El tubo de Segui, presentando un anticatodo

de platino, evita este inconveniente, y la disposición de los reflectores hace que la intensidad de los rayos X producidos sea más considerable y mucho menor el tiempo de exposición.

Si en cualquiera de los tubos se uniese su polo positivo con el negativo del generador, el trayecto de los rayos catódicos no sería el mismo, y los rayos Röntgen no nacerían en el sitio conveniente; en este caso, la fluorescencia *verdosa* que debe advertirse en el anticatado, se transforma en vivos resplandores *amarillo-verdosos*, surcados por ráfagas blanquísimas que alumbran con bastante intensidad la habitación en que se hace el experimento. Sin embargo, la regla aludida *no es requisito indispensable* para la experimentación, según hemos tenido ocasión de comprobar, aunque el fenómeno resulta con mayor brillantez y perfección ateniéndose á ella.

*
* *

Podrían llamarse *analizadores* los procedimientos fotográfico y fluorescente, pues por ellos notamos la transformación en rayos X de los catódicos.

La dificultad de encontrar en el comercio los reveladores especiales, han hecho que empleemos los comunes en fotografía.

Respecto á la pantalla fluorescente, diremos que, pareciéndonos caro el precio de los catálogos, que pasa de 100 francos para el tamaño 30×40 centímetros de superficie, procuramos el platino-cianuro en Madrid en las casas de Ulzurrum y Saiz, Villasante, Viuda de Aramburu, Salvi Lohr, Morejón y Laboratorio de la calle de Carretas, con el fin de construir una pantalla pequeña; y

como en parte ninguna le encontramos y queríamos muy pequeña cantidad, no acudimos al extranjero; si el precio que marca Héber de 8,50 francos gramo, es exacto y se obtienen 60 centímetros cuadrados de superficie, el platinocianuro de la pantalla solo vale 50 francos.

No sabemos si será por defecto de preparación con la pantalla de tungstato de calcio, que hemos construido, tratando el tungstato de sosa por el cloruro cálcico, y de la que acompañamos un trozo; pero aunque hemos obtenido buen resultado, estimamos mejores las de platinocianuro, á pesar de lo que dicen algunos autores (1). Lo cierto es que, á pesar de su precio, muchísimo mayor, los catálogos siguen anunciando las pantallas de platinocianuro y no las de tungstato.

IV

Pero es hora de acabar ya este incorrecto discurso, con el que habré molestado grandemente, recogiendo su doctrina en las siguientes conclusiones, que le resumen:

1.^a En la producción de rayos X no pueden emplearse más generadores eléctricos que las máquinas electrostáticas de influencia y los transformadores que elevan el potencial de los otros orígenes eléctricos.

2.^a Para operar con la máquina de Wimshurst, es conveniente el uso de los detonadores y condensadores, si la chispa, sin ellos, no llega á 20 centímetros de longitud.

3.^a En el grupo de los transformadores, se dis-

(1) Guillaume. — Les rayons X. Paris 1887.

tinguen, como adecuados, el carrete de Rhumkorff y las disposiciones de Tesla.

4.^a Para corriente primaria del carrete, es preferible la corriente de las pilas; después la de corriente continúa de las fábricas de luz y los acumuladores.

5.^a Las pilas y acumuladores han de acoplarse en série, porque se trata de lograr efectos de tensión.

6.^a Es preferible el interruptor de mercurio al de platino.

7.^a Es preferible el empleo del carrete á las disposiciones de Tesla.

8.^a Para un estudio perfecto, precisa medir el potencial de las máquinas electrostáticas por electrómetros especiales.

9.^a Para las experiencias de cátedra, es preferible la máquina Wimshurst al carrete de Rhumkorff; al contrario ocurre para estudios delicados de gabinete, aunque no conviene aún abandonar ningún medio de estudio.



ningun como abocados el carrete de Rhumkott
 y las disposiciones de Tala.
 4.º Para construir primario del carrete, es pre-
 ferible la corriente de las pilas; después la de co-
 rriente continua de las fabricas de lux y los acu-
 muladores.
 5.º Las pilas y acumuladores han de acoplarse
 en serie; porque se trata de lograr efectos de
 tensión.
 6.º Es preferible el interruptor de mercurio al
 de platino.
 7.º Es preferible el empleo del carrete A las
 disposiciones de Tala.
 8.º Para un estudio perfecto, precisa medir el
 potencial de las máquinas eléctricas por elec-
 trómetros especiales.
 9.º Para las experiencias de catoda, es prefe-
 rible la máquina Wimshurst al carrete de Rhum-
 kott; al contrario ocurre para estudios delicados
 de gabinete, aunque no conviene aun abandonar
 ningún medio de estudio.



UVA. BHSC. LEG. 69-2 n4223

