

# ANALES

DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DE LA

UNIVERSIDAD DE CHILE

N.º 3

••

Año 1946



NUEVO MIEMBRO HONORARIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

**Dr. William D. Coolidge.**

El día viernes 2 de noviembre se efectuó en la Sala del Consejo Universitario una sesión común de las Facultades de Biología y Ciencias Médicas y de Ciencias Físicas y Matemáticas en la cual se nombró al Dr. William D. Coolidge, Miembro Honorario de las Facultades.

Presidió la sesión, en reemplazo del señor Rector, el Decano de la Facultad de Biología y Ciencias Médicas.

Asistieron el Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y numerosos Profesores y Miembros Académicos de ambas Facultades.

Recibió al Dr. Coolidge en nombre de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas el Profesor don Gustavo Lira con un discurso en el cual expuso sus méritos, refiriéndose especialmente a la labor desarrollada por él en el campo del alumbrado eléctrico por incandescencia, y al perfeccionamiento extraordinario de los tubos por medio de los cuales se generan los rayos X. Publicamos aparte el texto de este discurso.

En nombre de la Facultad de Biología y Ciencias Médicas habló a continuación el Profesor Dr. Leonardo Guzmán, quien hizo resaltar la enorme importancia que ha tenido para la Medicina el trabajo realizado por el Dr. Coolidge, en la técnica de la producción y empleo de los rayos X.

El Profesor Coolidge por su parte pronunció el discurso que también se publica en este mismo número traducido al castellano. Nos parece de especial importancia poder dar a conocer este trabajo porque incluye, fuera de una relación sumamente interesante de los últimos estudios hechos en los Laboratorios de la General Electric, consideraciones de orden general sobre el papel que la investigación debe desempeñar en la industria y la unión de esta con los institutos de investigación y las Universidades.

El Decano de la Facultad de Biología y Ciencias Médicas don Armando Larraiguibel entregó en nombre del Rector de la Universidad al Dr. Coolidge los Diplomas de Miembro Honorario de las dos Facultades, y en nombre del Supremo Gobierno la medalla de la Orden al Mérito que le había sido conferida.

### DISCURSO DE DON GUSTAVO LIRA

Señor Rector, Señor Coolidge, Señoras y Señores:

Una de las síntesis más comprensivas y, por lo tanto, más fecundas, que se haya desarrollado y cristalizado en los últimos 60 años en los dominios de la Filosofía natural es la de la energía radiante. Múltiples fenómenos que se habían descubierto y estudiado dentro de campos diversos de la Física, y al parecer muy distantes, encontraron en esa síntesis un nexo común, y una clasificación cuantitativa ordenada y armoniosa. Dos puntos de vista fundamentales dirigieron este trabajo de ordenación: el concepto de identidad de la energía, evidenciado por Joule, a partir de bases experimentales, y la hipótesis ondulatoria, propuesta para la explicación de los fenómenos luminosos, y trasplantada al campo electromagnético por la intuición genial de Maxwell.

Hoy día, no tenemos duda alguna de que los rayos cósmicos, los rayos gamma emitidos por las sustancias radioactivas, los rayos X, de tan gran variedad de calidades como los produce la técnica moderna para las necesidades de la Radiografía y la Radioterapia, los rayos ultravioletados, la luz visible, los rayos infrarrojos, y las ondas hertzianas de la telegrafía y la telefonía inalámbricas, son físicamente idénticos, y que sus modalidades exteriores diferentes no se deben en último análisis, sino a nuestros sentidos, con cuyas impresiones subjetivas estamos construyendo incesantemente el Universo exterior, objetivo de la Ciencia. Todas estas radiaciones contienen y son energía, energía radiante; bajo todas sus apariencias distintas, esa energía se propaga sin vehículo material necesario con la misma velocidad, la velocidad conocida de la luz; todas esas radiaciones se reflejan, se refractan, se polarizan, o interfieren siguiendo las mismas leyes; todas son absorbidas por los medios materiales, transformándose entonces en calor, todas ejercen contra las superficies una presión, la presión de radiación, etc. Es que todas están constituidas idénticamente por dos campos de fuerza, uno eléctrico y otro magnético, normales entre sí y normales al rayo de propagación, campos cuya intensidad varía con el tiempo según una ley sinusoidal de período  $T$ , cuyo valor caracteriza a cada radiación.

No hago hincapié en este momento en que esta imagen ondulatoria de los fenómenos de la energía radiante esté defendiendo hoy día su posición en el espíritu científico contra los avances de la teoría corpuscular, porque cualquiera que sea el resultado de esta controversia, la síntesis tendrá que prevalecer. Por lo demás, la lucha es antigua, como que es en rigor, la transposición al campo de la Física moderna de lo que discutieron los griegos, padres y maestros de la Filosofía, cuando meditaron sobre la continuidad o discontinuidad de la Materia, asiento u origen de los fenómenos físicos. Porque bien se entiende que la hipótesis ondulatoria es esencialmente una hipótesis de continuidad, como es de esencia discontinua la hipótesis corpuscular. Seguramente la Ciencia llegará a un compromiso entre ambas imágenes, compromiso

que ya tiene una traducción analítica en la ecuación de Planck, que expresa el valor del *quantum* o corpúsculo de energía, precisamente en función de la frecuencia de la ondulación correspondiente, y de una constante física universal, el elemento de acción, que allí sería el término representativo de la síntesis.

---

El campo de las radiaciones u ondulaciones que integran la energía radiante es inmenso. Cuando transcurre un lapso igual al período  $T$ , la ondulación se ha transportado a lo largo del rayo de una distancia que es el largo de onda  $\lambda$ , de modo que este largo caracteriza también a la radiación que se considere, puesto que entre él y el período existe la relación fundamental que expresa que el largo de onda es el producto del período y la velocidad de la luz. Y el campo de las radiaciones es inmenso porque el largo de onda puede variar desde el valor cero hasta el valor infinito. Para enumerar estas radiaciones, se acostumbra, no obstante su identidad intrínseca, clasificarlas en grupos afines o en zonas, ya sea tomando en cuenta sus propiedades principales, ya sea la forma de producción, esta última relacionada muchas veces con el modo como han sido conocidas por primera vez. La división, como era de preverlo, no resulta absoluta, porque no hay límite preciso entre cosas de la misma naturaleza, y es por eso que a menudo zonas contiguas se sobreponen. En cuanto al valor numérico mismo de los largos de onda, (que como se ha dicho puede variar entre los límites extremos de la cantidad positiva), ha sido por comodidad necesario expresarlo en unidades distintas de longitud, como son la *unidad X*, que vale la cien mil millonésima parte del centímetro (10-11 cms.), usada para definir los rayos gamma y los rayos X, la *unidad Angstrom*, mil veces mayor que la anterior, (10-8 cms.) pero siempre, extraordinariamente pequeña, con que se expresan los largos de onda de las radiaciones luminosas (que incluyen los rayos ultravioletados, la luz visible y los rayos infrarrojos); la *unidad u* o milésima de milímetro, también usada en reemplazo del Angstrom, y por fin los centímetros, metros y kilómetros, que se emplean para definir las ondas hertzianas.

De estas radiaciones, las primeras conocidas e investigadas, han sido las que constituyen la luz ordinaria, producida por la incandescencia de los cuerpos. La dispersión de esta luz por los prismas, con producción del llamado espectro, y la investigación de éste por medio de los radiómetros y por los procedimientos de medida de los largos de onda, condujeron a establecer que en estas radiaciones puramente térmicas como se las llama también, las hay visibles o sea sensibles para el ojo humano, correspondientes a largos de onda que van desde las 3,900 unidades Angstrom (color violeta) hasta las 7,900 unidades (color rojo sombrío), y radiaciones invisibles u oscuras, de largo de onda inferior al primer límite (radiaciones ultravioletadas) o de largo superior al segundo límite (radiaciones infrarrojos). Estas últimas contienen la mayor parte de la energía del espectro; en cambio las ultravioletadas, muy débilmente energéticas, producen principalmente efectos químicos. No son estas radiaciones ultravioletadas, como se ha dicho, visibles, pero las sustancias llamadas fosforógenas tienen la propiedad de absorberlas, y luego, por un fenómeno de resonancia óptica, cuyo mecanismo seguramente molecular no es bien conocido todavía, las devuelven en forma de

radiaciones visibles, proceso en que se funda el funcionamiento de las modernas lámparas fluorescentes, de uso tan esparcido hoy en día.

Ambas zonas de radiaciones térmicas contiguas al espectro visible han sido a su turno subdivididas, y así, en el espectro ultravioletado, en orden descendente de los largos de onda, se definen el ultravioletado ordinario, el ultravioletado lejano y los ultravioletados de Schumann, de Lyman y de Millikan, mientras en la zona del infrarrojo, en orden ascendente, están las sub-zonas del infrarrojo inicial, infrarrojo medio e infrarrojo extremo o de Rubens.

A partir de estas radiaciones puramente térmicas, que ocupan una posición que llamaremos arbitrariamente central en el espectro, los descubrimientos se han realizado en ambas direcciones. Así la predicción asombrosa de Maxwell, contenida en su teoría electromagnética de la luz, se cumplió 8 años después de su muerte (ocurrida en 1879), con el descubrimiento de las ondas hertzianas usadas en las telecomunicaciones inalámbricas, con lo que se completó, puede decirse, la gama de las radiaciones del lado de los grandes largos de onda. Del otro lado, un descubrimiento casual, pero que fué en realidad un adelantamiento fortuito en las investigaciones que proseguía Roentgen, constituyó el punto de partida en el conocimiento de las radiaciones más cortas, contiguas a los ultravioletados más refrangibles conocidos. Roentgen investigaba en esos momentos la descarga eléctrica en los gases enrarecidos, y la producción de rayos catódicos, descubiertos poco tiempo antes. Ahora bien, los electrones que constituyen estos rayos corpusculares, al chocar con la pared de vidrio del tubo, habían puesto a este material sólido en condiciones de ser el origen de nuevas radiaciones, que atravesando las paredes opacas de la caja en que Roentgen había encerrado el tubo, acusaron su presencia al poner luminosa una pantalla pintada con una substancia fluorescente, que había en la cercanía. Roentgen examinó acuciosamente estos nuevos rayos, puso de relieve con gran precisión sus propiedades y características más salientes, y no pudiendo establecer en el primer momento su naturaleza, los llamó rayos X, la letra que los matemáticos reservan para designar la incógnita, es decir, lo desconocido, en sus ecuaciones.

Más tarde ha sido posible evidenciar que estos rayos X son también ondas electromagnéticas, pero de un largo de onda extraordinariamente pequeño, de modo que su descubrimiento y los que le siguieron de los rayos gamma, de igual naturaleza, emitidos por las substancias radioactivas, han permitido integrar también la escala de la energía radiante en su extremo de los mínimos largos de onda. Pero el descubrimiento de los rayos X no tiene esta sola importancia formal, sino que él ha sido el origen de un conjunto extraordinariamente extenso de conocimientos del más alto valor científico puro y aplicado, en tal forma que no es exagerado decir, con las palabras de Richtmeyer, que ese descubrimiento «debe incluirse entre los más importantes progresos científicos de todos los tiempos».

En efecto, los rayos X tuvieron desde el primer momento aplicaciones que bien se calificaron de portentosas. Se sabe que 3 meses después de su descubrimiento, en el Hospital de Viena, era operado un herido a bala, después de haber localizado en su cuerpo el proyectil, gracias a la nueva luz, lo que ha sido punto de partida de las aplicaciones médicas de estos rayos que caen bajo el campo de la Radiografía, y que pronto se extendieron con la Radioterapia a la curación de ciertas dolencias. Análogamente, este poder de penetración de los rayos X en muchas substancias opacas a las

radiaciones visibles han permitido usarlos como medios de investigación de la estructura interna de substancias y productos, procedimientos industriales de prueba que hoy se aplican, por ejemplo, para investigar los aceros, la mica reconstituida y el carbón grafitado que se usan en la construcción de maquinaria eléctrica, el caucho, las piedras preciosas, etc. y que permiten definir con entera exactitud las calidades de estos materiales, prevenir los fraudes de fabricación, o señalar las impurezas e imperfecciones ocultas. Y si de esta aplicación se pasa al campo de las investigaciones puras, sin finalidad utilitaria, podemos decir que los rayos X, en manos de los físicos, han permitido estudiar la estructura cristalina y precisar así los arreglos moleculares que la determinan, y penetrando más profundamente, interpretando las reacciones mutuas entre la materia y estas ondulaciones, concebir la estructura del átomo y de su núcleo, o sea, iluminar la constitución de la materia, finalidad última de la Física. Basta recordar a este respecto que los espectros de alta frecuencia de los elementos se relacionan con su número atómico, que es la cifra más característica de dichos elementos, y en que debe residir la clave de su comportamiento en los fenómenos naturales.

---

Señores: he querido presentar este paporama del vasto horizonte científico que abarcan los fenómenos de la energía radiante, porque es en este campo en donde nuestro ilustre huésped de hoy día, el Profesor Dr. William D. Coolidge ha desarrollado su labor personal de más de 40 años, en un trabajo tenaz, ininterrumpido y excepcionalmente fecundo en aplicaciones que van en servicio eminente de la Humanidad. No me referiré a esta labor suya en toda su vasta amplitud, porque si lo hiciera, este discurso se transformaría en una memoria de considerable extensión. Pero señalaré dos de las cuestiones que él ha resuelto con los incalculables resultados que para las necesidades y el progreso de la colectividad esas soluciones han significado; estos dos trabajos se refieren el primero, al alumbrado eléctrico por incandescencia, y el segundo, al perfeccionamiento extraordinario que el tubo de su invención, el tubo Coolidge, ha traído en la técnica de la producción y uso de los rayos X, perfeccionamiento que según Dauvillier debe señalarse, en este campo, como el acontecimiento más importante ocurrido después del descubrimiento de Roentgen.

Sobre el primero de estos trabajos recordaré que se debe a Tomás Edison haber aprovechado el calor joule producido por la corriente eléctrica para poner incandescente un filamento, y producir con ello el alumbrado eléctrico. Edison usó para esto un filamento de carbón, colocado dentro de una ampolleta de vidrio, que era necesario vaciar, para impedir la combustión del hilo. Pero esta lamparilla tenía un rendimiento fotométrico específico muy bajo, pues consumía una potencia eléctrica de 4 watts por cada bujía de potencia luminosa. En estas condiciones, el alumbrado eléctrico por incandescencia era incapaz de competir económicamente con el alumbrado a gas, sobre todo cuando éste había experimentado un perfeccionamiento notable con el empleo de la camisa Auer.

Pero la Física había establecido tanto experimental como analíticamente, la distribución de la energía radiante en el espectro de las radiaciones puramente térmicas, y su relación con la temperatura, y había formulado la célebre ley de desplazamiento

de Wien. De estos conocimientos se había deducido por qué y en qué proporción todo aumento de la temperatura del filamento incandescente debía mejorar el rendimiento del alumbrado producido, y aún, se había previsto que el máximo a que se podía aspirar en este sentido correspondería a la temperatura del sol. El problema técnico del alumbrado consiste entonces en buscar substancias que soporten las más altas temperaturas posibles. A este respecto el carbón constituía un buen material, puesto que su temperatura probable de fusión puede estimarse en 3,500 grados; pero mucho antes de este límite, el carbón sublima en partículas que ennegrecen considerablemente el bulbo de vidrio, y el filamento mismo se desagrega. El platino, que también sublima y se desagrega a temperaturas muy inferiores a la de fusión, y el tantalio y el osmio, que tienen temperaturas elevadas de fusión, tampoco resolvieron el problema, hasta que la atención de los investigadores se fijó en el tungsteno, que resiste sin sublimar temperaturas más altas que todos los metales anteriores. Pero el tungsteno corriente se obtiene en forma de polvo, que no es posible transformar sino en barritas extraordinariamente frágiles, imposibles por lo tanto de trefilar hasta los diámetros muy pequeños que deben usarse en los filamentos de las lámparas. Esta dificultad, que en Europa se había tratado de salvar sin alcanzar una solución satisfactoria, es la que ha sido superada por el Dr. Coolidge, después de una serie de trabajos experimentales realizados en los Laboratorios de la General Electric, en que fué avanzando poco a poco hasta obtener un tungsteno dúctil capaz de ser estirado sin romperse hasta los diámetros más finos. Con él pudo fabricarse la lamparilla de filamento embobinado de tungsteno, a la cual se agregó el perfeccionamiento debido a Langmuir, que descubrió que este metal sublima menos en una atmósfera de gas inerte. Así se llegó a la lamparilla intensiva, cuyo rendimiento fotométrico específico llega hasta  $\frac{1}{2}$  watt por bujía. Desde entonces hasta hoy, durante 35 años, el hombre ha podido disponer con estos resultados, de un alumbrado eléctrico cuyo costo es la octava parte de lo que importaba el alumbrado producido por la lámpara primitiva de Edison.

El segundo de los notables trabajos que se deben a Mr. Coolidge es el perfeccionamiento, más que eso, la modificación substancial que introdujo en el tubo de Roentgen, al diseñar el tubo que lleva su nombre, y gracias al cual, se cuenta hoy con un dispositivo en que la producción de los rayos X se verifica con un control absoluto de todas sus características.

El primitivo tubo de Roentgen es del tipo que se designa con el nombre de tubos de gas o de aflujo catódico, porque para su funcionamiento, debe contener una pequeña cantidad de gas, y porque en él los electrones que salen del cátodo se producen por el choque del «aflujo» de iones positivos que provienen del espacio oscuro de Hittorf, originados allí probablemente por la ionización del gas producida por la descarga eléctrica. Seguidamente, los rayos X se producen por el impacto de esos electrones lanzados con muy fuerte velocidad contra el blanco anticatódico, que en el tubo con que Roentgen fué sorprendido por tan nuevo fenómeno, era simplemente la pared opuesta de vidrio, y que muy luego se reemplazó por una superficie metálica inclinada de 45° respecto de la trayectoria de los electrones.

Desde el primer momento se distinguieron rayos X de diferente poder de penetración, y se comprobó que los rayos muy penetrantes (que atraviesan láminas metálicas de algún espesor) se producían en los tubos llamados duros, en los cuales se

había hecho un vacío muy elevado, y que los rayos de pequeño poder de penetración, se obtenían con los tubos blandos, de vacío inferior. Los primeros necesitan para funcionar un voltaje muy elevado; los segundos, voltajes menores. Se ve entonces que el poder de penetración de los rayos obtenidos estaba en esos tubos ligado al grado de vacío y al voltaje de funcionamiento, y por intermedio de éste, a la potencia eléctrica puesta en juego. Y si se agrega que con la edad del tubo, o sea con su tiempo de funcionamiento, el gas en él va desapareciendo, tal vez por un fenómeno de oclusión, con lo cual se modifica el grado de vacío, se deduce que en el tubo de Roentgen no se podía variar una de sus características sin que variasen conjuntamente las otras, y todas se modificaban con el tiempo.

El Profesor Coolidge, para salvar esos graves inconvenientes, optó por hacer el vacío más perfecto posible en el tubo, y producir los electrones necesarios para el bombardeo del blanco anticatódico, por emisión termiónica de un filamento de tungsteno que sirve de cátodo, y que se calienta por medio de una corriente eléctrica separada. Constituyó además el anticátodo con un disco de tungsteno embutido en una masa de cobre, persiguiendo con ello el objetivo de que el anticátodo pueda soportar sin inconveniente (dada la muy alta temperatura que resiste el tungsteno) los impactos más violentos de los electrones, en los tubos de gran potencia. Esta velocidad de los electrones depende del voltaje aplicado al tubo; en cambio la corriente, si bien también está relacionada con ese voltaje, depende principalmente del número de electrones emitidos por la espiral de tungsteno, o sea, del calentamiento de este cátodo. Así, las características principales del tubo son prácticamente independientes entre sí, y regulables a voluntad: un tubo único de Coolidge puede entonces hacerse funcionar como tubo blando o como tubo duro. Por último, como en el interior se ha hecho el vacío más perfecto, vacío que no se modifica con el tiempo, ni varía durante el funcionamiento, pues la tensión del vapor de tungsteno aún a muy altas temperaturas es prácticamente nula, el tubo de Coolidge es un tubo que funciona con las características constantes que el operador necesite en cada caso para su trabajo.

Muchos otros detalles en la construcción de estos tubos han sido también perfeccionados en alto grado por el Dr. Coolidge, con lo que ha proporcionado una herramienta, con la cual, como he dicho antes, se realizan hoy día fecundas investigaciones científicas puras, o se hacen valiosas y variadas aplicaciones técnico-industriales.

\* \* \*

Señores: Cuando Isaac Newton culminó su obra de genio, estableciendo en los Principios Matemáticos de Filosofía natural, las bases de la Mecánica, que iban a constituir los fundamentos eternos de la Física, comparó esos resultados con los guijarros de una playa, ante la cual se extendía, infinito, el océano de la Verdad. No eran guijarros esos principios, sino piedras sillares del edificio eternamente en construcción que es la Ciencia, y en que los artífices se van sucediendo incesantemente, allegando cada cual su esfuerzo en pro del conocimiento de la Naturaleza, en una obra en que el sentimiento de solidaridad entre los hombres alcanza su impulso y su soplo más puro. La Facultad de Ciencias Físicas de esta Universidad, en cuyo nombre he

tenido el honor de hablar, y que sigue, con rigurosa atención, aún cuando sea de lejos, esa obra continua que se realiza en las Universidades, los Institutos Científicos y los Laboratorios Industriales de los grandes países, tributa su admiración hacia Mr. Coolidge, en quien reconoce a uno de esos artífices de mayor prestigio de nuestros días.

## DISCURSO PRONUNCIADO POR MR. W. D. COOLIDGE

### EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN INDUSTRIAL EN LOS EE. UU.

La investigación industrial organizada, existe en los Estados Unidos desde hace más o menos 45 años. Puedo hacer esta declaración tan perentoria porque sé que el Laboratorio de Investigación de la General Electric Comp., que fué fundado en 1900, fué el primero, o uno de los primeros, del gran número—más de 3,000—de tales laboratorios, existentes ahora en el país.

Para darles un cuadro completo de cómo son esos Laboratorios, permítanme contarles algo de la historia y desarrollo de nuestro propio Laboratorio. Es una historia con la cual estoy bien familiarizado, como que he pasado 40 años en ese laboratorio, y como que también estuve muy cerca de él durante los primeros cinco años de su existencia.

El Laboratorio debe su iniciación a la amplia visión de la Administración de la Compañía, la cual reconoció plenamente el hecho de que sus productos manufacturados estaban todos basados en los resultados de investigaciones fundamentales y en la labor de hombres como Michael Faraday y Joseph Henry. El reconocimiento de este hecho, dió origen al pensamiento de que la Compañía podría tener a su servicio un grupo propio de científicos, para investigar nuevos hechos y principios, algunos de los cuales podrían servir de base para nuevos dispositivos eléctricos.

El Dr. Willis R. Whitney, entonces un joven Profesor de Química en el Massachusetts Institute of Technology, fué escogido para organizar y dirigir el nuevo Laboratorio. La iniciación fué cautelosa y conservadora por parte de ambos: la Administración de la Compañía y el joven Director. No se hizo un nuevo edificio, ya que un viejo granero sirvió como Laboratorio y el Director, por un par de años, mantuvo su puesto en el Instituto y dedicó, solamente, la mitad de su tiempo a la nueva aventura. Además, por algún tiempo, él y un Ayudante constituyeron todo el personal. Este fué lentamente aumentando y, bajo la dirección hábil del Director, continuó trabajando como grupo, en mutua colaboración. Gradualmente se introdujo el método científico en los trabajos de la fábrica, que hasta ese entonces habían sido envueltos en secretos de práctica y transmitidos de padres a hijos. También se desarrolló la fabricación de valiosos productos nuevos. A pesar de lo que hoy día podría considerarse que fueron muy escasas facilidades, el Laboratorio, aún en sus primeros años, rindió muy importantes servicios y devolvió más de lo pagado por él.

Desde el granero, que pronto fué insuficiente, el Laboratorio se trasladó a un viejo edificio de fábrica. En 1914 quedó mejor instalado en un nuevo edificio, al que se le agregó un segundo cuerpo en 1922. Se cuenta así, hoy día, con un local bien equipado para trabajos de Física General, Electrónica, Mecánica, Metalurgia y Química.

Para darles una idea del trabajo hecho en el Laboratorio, permítanme describirles algunas de nuestra actividades durante la guerra pasada.

A pesar de que no son típicas, puesto que todas pueden ser clasificadas como investigaciones aplicadas, no corresponden a los trabajos fundamentales para los cuales fué creado el Laboratorio. Sin embargo, tienen la ventaja, para mí objetivo, de ser más recientes y, por esto, de mayor interés actual.

#### MÉTODO PARA PRODUCIR HUMOS PROTECTORES

En respuesta a una petición del Chemical Warfare Service (Servicio de Guerra Química), tomamos a nuestro cargo el trabajo de encontrar un método mejor de producción de humos. Este trabajo exigía un estudio fundamental del problema, como que necesitábamos saber qué clase de líquido usar, el mejor tamaño que debía darse a las gotitas individuales de ese material, y cómo producir gotitas de ese tamaño. Solamente en esta forma podríamos esperar lograr el máximum de economía de material y de mantenimiento de la protección. Generadores experimentales fueron proyectados de acuerdo con los principios descubiertos, y exitosas demostraciones se hicieron, en las cuales se pudo producir cien veces más humo que el hasta entonces obtenido, con la misma cantidad de materia prima y con los modelos standard del Ejército. Además el humo de los nuevos generadores era más estable. Como estábamos en buenas condiciones para producir tales dispositivos, nos acercamos a la Standard Oil Co. de New Jersey y la Sêrvel Co. y tipos comerciales de equipos, que aprovecharon los principios que nosotros habíamos descubierto, fueron proyectados y construidos por ellas.

Los nuevos generadores de humo jugaron un importante papel, tanto en las invasiones aliadas como en otras operaciones militares.

#### TRABAJO SOBRE RAYOS X

En este campo pudimos mejorar apreciablemente el método del examen fluoroscópico de piezas fundidas de metal. Esto redujo grandemente la cantidad de labor gastada al manufacturar piezas de fundiciones defectuosas, y ayudó a los fabricantes de tales piezas a mejorar sus productos.

Por la combinación de una pantalla fluorescente, de un tubo multiplicador electrónico y un amplificador, produjimos un dispositivo que podía ser utilizado para la inspección automática de artículos manufacturados, evitándose así los defectos en las partes vitales. Fué usado, por ejemplo, en la inspección de cientos de miles de seguros de granadas de mano, a fin de eliminar aquellas en que se hubiera omitido algún vital retardador de tiempo. Automáticamente se inspeccionaban así cuatro mil seguros por hora, se señalaron los defectuosos y se separaron de los que estaban en buenas condiciones. Esta misma combinación de equipo de Rayos X, pantalla fluorescente y circuito electrónico, fué desarrollada posteriormente hasta el punto de poder ser usada como un calibrador de espesores, con la ventaja de no requerir contacto mecánico con la parte sometida a medida y ser aplicable, además, aún a materiales en movimiento rápido, tales como las láminas de acero que, en frío o en caliente, salen de los rodillos de los equipos laminadores. Estábamos capacitados para extender ampliamente al campo industrial la aplicación de la radiografía gracias al

desarrollo de un equipo de Rayos X, de un millón de volts, y, más recientemente, por uno de dos millones.

El primero había encontrado amplio uso en el examen de piezas fundidas y soldadas y en la inspección de cartuchos, para evitar la aceptación de cualquiera que tuviera cavidades en el material de relleno y que pudiera, por tanto, causar explosiones prematuras en el ánima del cañón.

Las ventajas relacionadas con el uso de tan alto voltaje, son múltiples. Primero, permiten el examen de secciones más gruesas que las que podían ser prácticamente tratadas de otro modo. Segundo, resulta una gran reducción en el tiempo de exposición requerido (como una muestra de la influencia del voltaje, puedo decir que el tiempo de exposición requerido para penetrar 8 pulgadas de acero, con dos millones de volts, es sólo 1/80 del que se necesita con un millón de volts). Tercero, el uso de este voltaje produce menos entorpecimientos debidos a efectos secundarios; y, Cuarto, resultan menos contrastes, haciendo posible, con una sola radiografía, el examen completo de partes de espesor muy variable; por ejemplo, hasta la proporción de 25 por uno.

Con un nuevo tipo de generador de Rayos X, el acelerador de inducción, capaz de producir Rayos X de cualquier voltaje, desde uno hasta cien millones, hemos estudiado la posibilidad de la radiografía industrial con voltajes más altos que los que nunca habían sido usados antes. Estos estudios parecen mostrar que hay un campo en la radiografía industrial para voltajes que excedan considerablemente de los dos millones.

#### PRODUCTOS SILÍCICOS

Por muchos años hemos estado trabajando en el campo de la química, largamente abandonado, y que ha probado ser muy interesante y fructífero. Me refiero a nuestra obra en los compuestos orgánicos del silicio, en los cuales los elementos silicio y oxígeno alternan uno con otro, formando cadenas o anillos, tal como el carbono y el hidrógeno lo hacen en los componentes orgánicos típicos. Todos los compuestos a que deseo referirme, parten del metil cloruro de silicio, al cual hemos dado el nombre de Dri-Film.

El Dri-Film, es un líquido claro que, a la temperatura ambiente, posee una tensión de vapor considerable. Si un trozo de papel se expone a este vapor, por un segundo o dos, se convierte en un material que repele fuertemente al agua. Los poros son cerrados, pero una delgada película de resina, que repele al agua, se forma alrededor de cada fibra individual.

Tejidos tratados con este vapor, adquieren la misma propiedad, y la conservan aún después de ser limpiados en seco o de ser sometidos a sucesivos lavados.

Como una muy importante aplicación de guerra, todos los aisladores de esteatita para nuestros equipos de radio y radar, fueron tratados con este vapor. El agua aún se condensa sobre ellos, pero únicamente forma gotas separadas, las cuales no se juntan hasta producir la película líquida continua, que de otro modo podría haber causado pérdidas eléctricas.

El tratamiento es muy fácil de aplicar y consiste en colocar un gran número de aisladores en un recipiente cerrado, que contiene el vapor. Además, el resultado es mejor que el que se obtiene con cualquier barniz o cera.

El tratamiento de un parabrisas de un avión o de otro vehículo que se mueva rápidamente, aumenta grandemente la visibilidad, bajo ciertas condiciones de tiempo, ya que, por la falta de adhesión, las gotas separadas son fácilmente barridas por el viento.

El metil cloruro de silicio puede ser convertido en resina, que disuelta en un disolvente adecuado, se transforma en un barniz especialmente recomendable debido a su estabilidad térmica, capacitándolo para ser usado a temperaturas cercanas a cien grados centígrados, más altas que las que resisten nuestros mejores barnices aisladores actuales.

Barnices silícicos aplicados a géneros de fibra de vidrio, se han usado con marcado éxito para aislar motores y transformadores o bien para aumentar el margen de seguridad en el caso de sobre cargas pesadas o al operar continuamente a temperaturas elevadas, con la consiguiente reducción en tamaño y peso.

Un pequeño transformador, aislado de esta manera, fué calculado con capacidad de dos K. V. A., y pesó menos de 4 libras. Con la mejor aislación de antes, un transformador de esta capacidad pesaría cerca de 20 libras. Tal reducción en tamaño y peso es obviamente importante, especialmente para uso en el aire.

Tejidos de fibra de vidrio, tratados con barniz de silicón, pueden ser también laminados para usarlos ventajosamente como paneles de tableros de comando. Esta ventaja se basa en sus excelentes propiedades eléctricas, incluyendo la de no dejar rastros bajo la acción del arco voltaico; la capacidad de soportar altas temperaturas y su resistencia mecánica. Otra ventaja consiste en el hecho que, en caso de incendio, no emite gases venenosos. Parece especialmente apropiado para su uso a bordo de vapores.

Aceites de silicio pueden producirse con viscosidades que abarcan un amplio campo. Para propósitos de lubricación su principal ventaja está en que su viscosidad cambia muy poco la temperatura. Pueden ser usados a temperaturas tan bajas, a las cuales los aceites minerales se solidificarían; y a temperaturas tan altas que los aceites minerales no resistirían sin descomponerse.

También aprendimos cómo hacer caucho de silicón. Este material, a causa de sus propiedades elásticas y su facultad para soportar temperaturas apreciablemente más altas que otros productos similares, encontró aplicación en la guerra, como material de empaquetadura para proyectores de marina y compresores de aviones.

Otro producto de silicio tiene curiosas propiedades físicas. Aparece como masilla y se deforma muy fácilmente en el caso de que la fuerza sea aplicada lentamente. Si en cambio la fuerza es aplicada rápidamente, el material es altamente elástico y no sufre deformaciones permanentes.

Dejado solo, es incapaz de soportar su propio peso. Aun no hemos hecho aplicaciones de él, pero parece inverosímil que a un material tan especial le puedan faltar aplicaciones útiles.

Muchos de nuestros esfuerzos de guerra, en el campo del silicón, fueron dirigidos a problemas relacionados con la producción en gran escala, especialmente del metil cloruro de silicio, que sirvió como punto de partida a todos los productos a que me he referido.

Como tantas útiles aplicaciones han sido encontradas para los productos de metil

silicio y como los grupos metilos pueden ser reemplazados por muchos otros radicales orgánicos, para dar compuestos con otras propiedades físicas y químicas, el campo aparece como muy atractivo para nuestras posteriores explotaciones.

#### BARNICES SIN DISOLVENTES

Hemos desarrollado un grupo de nuevos materiales a los cuales hemos denominado Permafil.

En pocas palabras, un Permafil se distingue de los barnices aisladores por los siguientes hechos:

- a) No contiene solventes;
- b) No da productos volátiles al desecarlo; y
- c) Se solidifica sin necesidad de oxígeno.

Después de un tratamiento apropiado, el producto es una masa dura, insoluble, infusible, no porosa, y no afectable por temperaturas superiores a 150 grados centígrados y con estabilidad de forma a temperaturas superiores a ésta. Sus propiedades dieléctricas, son excelentes, aún con alta humedad. Mecánicamente, el Permafil solidificado es resistente. Químicamente, resiste ácidos, álcalis y disolventes.

Permafil parece destinado a un amplio campo de utilización. Actualmente ya se usa para bobinas de magnetos de diferentes tipos, para transformadores aéreos, para impregnación de electrodos de arco, para rellenar agujeros en piezas de aluminio fundido y en muchas otras formas.

En general Permafil ha comprobado ser un producto prácticamente mejor, en todos los campos en los cuales ha recibido adecuada consideración.

#### ESCOBILLAS PARA GENERADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS QUE FUNCIONAN A GRAN ALTURA

Creo que, en esta materia, nuestra contribución al esfuerzo de guerra fué especialmente grande. Nuestros primeros estudios acerca del poder lubricante del grafito, nos habían preparado para resolver el problema del muy corto tiempo de duración de las escobillas corrientes, cuando se las usaba a gran altura, porque habíamos encontrado que las escobillas de grafito delgado, en contacto con un disco de cobre giratorio, se consumían rápidamente en el vacío (alrededor de una pulgada en 10 minutos) pero no sufrían ningún desgaste en presencia de indicios de vapor de agua u oxígeno. Estos experimentos habían demostrado que el grafito limpio, esto es el grafito sin una película de óxido en su superficie, no es un lubricante.

A grandes alturas la presión del vapor de agua es muy baja y hay relativamente poco oxígeno. En vista de estos hechos no era extraño que escobillas capaces de servir satisfactoriamente durante miles de horas, al nivel del mar, mostraban una vida inferior a una hora a 25 ó 30 mil pies de altura (8 a 10 mil metros).

Fuimos los primeros en reconocer e informar a la industria del hecho de que una prueba de escobillas al nivel del mar, no era criterio para apreciar su comportamiento a gran altura.

A consecuencia de nuestros propios esfuerzos y con la cooperación de otros, las escobillas para uso a gran altura fueron grandemente mejoradas.

## TRAFAJOS SOBRE RADAR Y MEDIDAS EN CONTRA DEL RADAR

Durante los años de guerra este tema atrajo la atención de una considerable fracción de nuestro cuerpo de investigadores y fuimos capaces de aportar contribuciones substanciales en este campo.

## DESARROLLOS METALÚRGICOS

La importancia del compresor de turbina G. E. en la guerra aérea, suscitó repentinas y angustiosas exigencias, tanto en su construcción como en los materiales usados. Primeramente desarrollamos un diafragma, de aleación de fundición centrífuga, para reemplazar los anteriormente fabricados. Con ello se obtuvo la casi completa eliminación de las fallas en los diafragmas. Entonces, desarrollamos el arte de soldar paletas en las ruedas de turbina para reemplazar machi-hembrados, salvando así muchas «horas-hombre» en trabajos de alta precisión.

Exigencias de una mayor resistencia de las paletas a altas temperaturas, necesitadas para operar a gran altura, requirieron disponer de nuevas aleaciones, resistentes a altas temperaturas, que no podían ser fojadas. Aceptamos el antiguo procedimiento de la cera, usado en los laboratorios dentales, para la fundición de precisión, en gran escala, de las paletas. Esto eliminó todo forjado y las operaciones de manufacturas finales, haciendo posible el uso de aleaciones más resistentes, que desarrollamos. A través del Comité de Metalurgia de Guerra, este método se hizo llegar a los arsenales y fabricantes de fusiles, y nuestra planta base se utilizó para su instrucción.

El método es aplicable a la producción de muchas piezas de maquinarias que no podían obtenerse por dificultades de fabricación o por limitaciones de material. Estos importantes progresos son aplicables directamente a las turbinas de gas y abren el camino para mejoras apreciables en la construcción de turbinas vapor.

El desarrollo de más eficientes tipos de paletas de compresores centrífugos, ha requerido nuevos métodos de fabricación para obtener aleaciones livianas. Nuevos procesos de fundición a presión y métodos centrífugos de fundición se desarrollaron y las piezas fundidas de este modo resultaron iguales en resistencia a las paletas forjadas, anteriormente usadas, y su producción involucró mucho menos labor.

Aleaciones de gran permeabilidad, de gran resistencia, capaces de ser laminadas hasta muy pequeños espesores, se desarrollaron para los nuevos y especializados requerimientos del Radar, y un gran número de nuevas aleaciones magnéticas hicieron posible radicales mejoras en instrumentos de navegación, indicadores y de medida.

Hicimos trabajos anti submarinos y ayudamos en varias formas al desarrollo de la bomba atómica. Miembros de nuestro personal sirvieron en varios importantes comités de guerra.

Ahora, he aquí el presente estado de nuestro Laboratorio. Tenemos una Planta total de alrededor de 540 personas, de las cuales 200 son hombres entrenados en investigaciones, 53 de los cuales tienen el grado de doctores. El Laboratorio tiene un gran taller mecánico, bien equipado con máquinas y herramientas modernas, especiales dispositivos para trabajos de metales y un departamento para soplar objetos de vidrio. Redes de cañería llevan a cada sala aire comprimido, oxígeno, hidrógeno a baja y alta presión, vacío y agua que sirven para la eliminación de los desperdicios.

Cualquiera sala puede ser conectada con cualquiera de nuestras variadas fuentes de energía eléctrica, siendo posible una amplia variedad de voltajes y frecuencias.

Tenemos muchos equipos altamente especializados, tales como hornos eléctricos, equipo de difracción de Rayos X, equipos de difracción de Rayos Catódicos, microscópico electrónico y aparatos de absorción de rayos infra rojos. Además, un reflectoscopio supersónico, etc.

Ahora, con miras hacia el futuro, nuestra gerencia está convencida que para apoyar y asegurar la expansión de los negocios de la Compañía, debemos hacer más trabajo de investigación. Esto significa que debemos tener más hombres, más espacio y más facilidades.

Como el espacio necesario no es obtenible en la planta de Schenectady, hemos adquirido un terreno de 225 acres, a más o menos 5 millas de distancia y procederemos, tan rápidamente como sea posible, a construir ahí un nuevo Laboratorio por valor de 8.000,000 de dólares.

Os he hablado tanto acerca del crecimiento de nuestro propio Laboratorio, porque es típico del crecimiento de la investigación industrial en nuestras grandes compañías eléctricas, químicas, automovilísticas y metalúrgicas.

Así, por ejemplo, la General Motors Co. tiene planes definitivos para construir un nuevo centro de investigaciones y trabajos con un costo de 20 millones de dólares. Los laboratorios de la Bell Telephone están adquiriendo un nuevo edificio de un tamaño mayor del doble de su más grande y moderno Laboratorio, actual en Murray Hill. Entre otras, las grandes compañías de caucho han construido recientemente, o están construyendo, enormes y modernos laboratorios de investigación.

Ahora, en lo que respecta a nuestras compañías más pequeñas, ¿pueden o no pueden ellas realizar investigaciones? Ciertamente que sí; pero bien puede no convenirles tener laboratorios propios. Pueden hacerlo mejor recurriendo a laboratorios comerciales o a instituciones de investigación tales como nuestros Institutos en Mellon, Batelle y del sur. En otros casos, algunas de nuestras pequeñas compañías se han unido con otras pertenecientes a la misma industria, para establecer un Laboratorio común para la industria en cuestión. Nuestra industria maderera y textil es ejemplo de ello.

Hay por lo menos dos alternativas más a que se puede recurrir y son los laboratorios del Gobierno o los de las Universidades. El National Bureau of Standards, el Bureau de Minas y los laboratorios regionales dependientes del Ministerio de Agricultura, son ejemplos de la primera. Una cantidad de nuestras escuelas superiores, que se preocupan de problemas industriales, son ejemplo de la segunda. Mientras esto último es una solución de los problemas de investigaciones en negocios pequeños, aparece muy lejos del ideal, especialmente si el trabajo es de carácter confidencial, ya que el secreto tiende a levantar una barrera entre la escuela y la industria. Y ello es indeseable para ambas partes, que deben gozar y aprovechar mutuamente de una recíproca e íntima relación.

Los laboratorios de investigación industrial deben su existencia a las Universidades. Fué en éstas que la evolución de la investigación científica tuvo lugar, y es hacia ellas que la industria debe mirar en busca de hombres y mujeres entrenados en los fundamentos de la ciencia.

Así, la industria debe ser capaz de mirar hacia la Universidad como su principal fuente de nuevos hechos científicos y principios.

Por el otro lado, la Universidad debe mirar a la industria como su principal mercado para los hombres y mujeres entrenados que produce y bien puede dejar a la industria la aplicación de tales nuevos hechos y principios, especialmente porque el Laboratorio Industrial tiene la ventaja de un contacto más cercano con los grupos de ingenieros y fabricantes.

En los primeros días de nuestro Laboratorio nos pareció que era necesaria hacer propaganda que la investigación podía pagarse, pero que la idea tenía que ser divulgada. Estos tiempos han pasado desde hace mucho y si algo más se ha necesitado, el trabajo exigido por la guerra en la ciencia aplicada, que condujo al desarrollo del radar, de la goma sintética, de la propulsión a chorro y de la bomba atómica, habría puesto fin a todas las dudas.

Las organizaciones industriales han llegado a mirar las investigaciones no solamente como un medio de proporcionar nuevos dispositivos para ser manufacturados, sino también como una forma indispensable de seguridad, sin la cual sus negocios en productos ya existentes podrían ser puestos en peligro por mejoras obtenidas como resultados de investigaciones de sus competidores.

Aunque es verdad que el motivo que impulsa la investigación industrial es egoísta al extremo que los accionistas de una compañía no la mantendrían si no fuera un beneficio económico para ella, también es cierto que beneficia al público de muchas maneras. Nosotros publicamos todos los resultados que valen la pena y otros laboratorios están haciendo lo mismo. La investigación produce nuevos y mejores procesos y cosas. Es un factor primordial en el problema de la desocupación, ya que también produce trabajo.

Creemos que podemos con provecho cooperar con otras organizaciones de investigación industrial, aún con aquellas de nuestros competidores.

Hablando de cooperación, me es grato saber con cuánto entusiasmo e interés jóvenes de las repúblicas sudamericanas están yendo a mi país para aprender las bases de nuestra industria química. Ello ha sido fomentado por el programa de la Inter American Trade Scholarship, de la Oficina de Asuntos Inter Americanos en Estados Unidos. Mirando el porvenir, puedo ver hacia dónde necesitaremos enviar algunos de nuestros hombres jóvenes para aprender vuestros métodos de trabajo en varias operaciones manufactureras, y, lo que es mucho más importante, obtener un mejor entendimiento con Uds.

El futuro de la investigación industrial en Estados Unidos de Norte América, será ciertamente afectado provechosamente por la legislación actualmente pendiente en el Congreso, que tiende a dar soporte gubernamental al entrenamiento científico y a la investigación, tanto fundamental como aplicada. Esto promete dar como resultado un gran número de becas accesibles a los estudiantes en ciencias naturales y así, más tarde, incrementar el número de investigadores. Parece también que redundará en un incremento de investigación en nuestras escuelas superiores y en aumento de contratos con nuestros laboratorios industriales.

Y, para terminar, deseo expresar la esperanza compartida, estoy seguro, por todos los investigadores, que el esfuerzo científico, volviéndose ahora de los agentes destructivos a los designios constructivos, puede llegar a ser un potente factor en el

establecimiento de un nuevo orden mundial del cual depende el futuro de la humanidad. Este orden, si va a ser firmemente establecido, debe basarse en el bienestar material de todas las naciones y en la mutua comprensión entre ellas.

La ciencia, me parece, debe ser un agente efectivo para promover ambas cosas.

Ampliando nuestro control sobre la naturaleza, a través de mayores conocimientos de las leyes naturales, la ciencia es una poderosa palanca para levantar el standard de vida de todas las naciones. La ciencia también debe promover al entendimiento entre las naciones, ya que ella no conoce fronteras nacionales y su lenguaje es universal.

Y espero que, sirviendo a la causa de la paz mundial y del bienestar humano, la contribución de la ciencia será especialmente útil, promoviendo las ventajas materiales y la mutua comprensión y buena voluntad de las repúblicas hermanas del hemisferio occidental.