

## EL PRIMER RELOJ ATOMICO

Por Fray Juan ZARCO DE GEA, O. F. M.

El tiempo, hasta para los hombres más primitivos, se midió siempre por días y noches; después, por la sucesión de las estaciones y de los ciclos de éstas. El astrónomo no ha hecho más que precisar hasta el extremo la medida de esos ritmos. Pero simultáneamente ha notado que los "días" no son del todo iguales: el reloj Tierra, con el que se relaciona nuestro tiempo, divaga... Ahora bien: he aquí que llega un gran momento de la historia del tiempo: el hombre lo independiza de los movimientos de su planeta, lo relaciona con las vibraciones de lo más íntimo de la materia. En Neuchatel, capital científica de la relojería, hemos visto hacer el reloj atómico durante nuestra reciente estancia en Suiza.

Por mucho que Suiza se haya acantonado en sus tradiciones, aferrándose a sus técnicas, su cronometría va a liberarse de la Tierra, a rechazar toda rueda dentada, a recurrir a las más recientes técnicas de la espectroscopia, del radar, de los servomecanismos. Este antiguo arte relojero—del que provino toda la mecánica—encontró su más alto grado de expresión en los famosos autómatas "androides" del siglo XVIII. Las más célebres obras de arte que nos han llegado intactas se conservan—y es muy justo—en el Museo de Neuchatel. Como si la suerte hubiera querido reservarnos contrastes sobrecogedores, las vimos animarse para nosotros unos minutos antes de visitar el laboratorio del reloj atómico.

Alfredo Chapuis y Edmond Droz—los historiadores del automatismo y de la relojería—habían querido presentarnos las obras de los Jaquet-Droz (padre e hijo), de La Chaux-de-Fonds. Adeptos de la cibernética, no estábamos exentos de cierto desdén hacia tales juguetes, que regulados de una vez para siempre carecen en absoluto de libertad. Pero si el dibujante y el escritor no tienen soltura más que en la mano, la tocadora de clavecín posee una gracia asombrosa. No; la leva que empuja a una garra unida a una palanca no podrá nunca producir algo menos mecánico: tenemos ahí el *súmmum* de una técnica.

### EN EL LABORATORIO SUIZO DE RELOJERÍA.

Trescientos metros al borde del lago azul, bajo los árboles llenos de cantos de pájaros, por estas calzadas helvéticas parecidas a alfombras, nos vemos en un sitio muy distinto: hemos pasado del Museo de Bellas Artes al laboratorio suizo de estudios de relojería; de ayer a mañana. Si la relojería dio origen a la mecánica, ésta hoy no puede seguir ya las

exigencias de la cronometría. Por perfecto que sea, un volante de reloj está sujeto a la temperatura, a los roces, al sistema que le devolverá en cada ciclo un impulso capaz de vencer los roces. Por eso, desde hace unos años, los relojes más exactos no tienen ya volante ni rueda dentada. Son electrónicos.

—Este que ven ustedes—nos decía M. Quillet, ingeniero electrónico del laboratorio relojero—no varía más que una cienmilésima de segundo al día. Y como el día tiene cerca de cien mil segundos, esto significa que, respecto de un segundo, la precisión es del orden de la diezmilmillonésima. Hablando más matemáticamente, una potencia menos diez.

Nos hallamos en el subsuelo del laboratorio. El reloj no tenía nada de convencional: un armario metálico, alto y estrecho; abierto, mostraba en cuarto piso armazones electrónicos. Únicamente la esfera, en lo alto, era de tipo clásico.

El corazón está encerrado en una caja sellada. Es inútil aplicar el oído: ¡el cristal de cuarzo oscilante bate cien mil veces por segundo!...

¿Por qué un cuarzo reemplaza al volante? Todos hemos columpiado a un niño. Sabemos que si dejamos de empujarle los vaivenes no tardan en disminuir. Huelga decir que un columpio será tanto mejor cuanto menos de prisa disminuya la amplitud del vaivén, cuanto menos necesidad tengamos de imprimirle impulso para mantener la amplitud primitiva. Pues bien: un volante de reloj tiende a detenerse mucho antes que un cuarzo. Se dice que su "factor de calidad"— $Q$  para los físicos—es menor.

### FORMA DE DAR EL IMPULSO.

Por consiguiente, el cuarzo necesitará menores impulsos para mantenerlo. Ahora bien: como son los impulsos de mantenimiento los más difíciles de regular, será mucho más exacto que un volante. ¿Cómo se le da el impulso? Mediante corriente eléctrica de alta frecuencia. Pero ¿cómo se obtiene la regularidad perfecta de esa corriente? Ahí es donde se revela para el profano uno de los más hermosos hallazgos de la electrónica: ¡la vibración misma del cuarzo es lo que controla a la corriente encargada de mantenerlo! Esto parece muy abstracto, pero no lo es: basta pensar en el niño que está en el columpio.

Sabemos que la dificultad para el niño consiste en dar los impulsos precisamente en el instante en que el columpio empieza a volver a bajar por su peso muerto. La solución está en "coger" bien el ritmo

del columpio, en obedecerle ciegamente. El columpio tendrá mucha regularidad; si le damos un ligero impulso no será dado oportunamente más que si el columpio mismo lo pide. Esa serpiente que se muerde la cola es un "sistema autoestabilizado". Sus virtudes tienen mucha mayor importancia que la meramente técnica.

¿Cómo se va a transmitir al reloj ese ritmo de cien mil segundos? Se puede imaginar que esos impulsos los cuenta un mecanismo electrónico análogo al de una máquina calculadora. Pero se prefiere transformar los cien mil por segundo en diez mil, y luego en mil. Para ello otro oscilador da un ritmo de diez mil, el cual es un "subarmónico" de cien mil; si la concordancia de los ritmos no es perfecta, la corrección la ejecuta otra serpiente que se muerde la cola. Y así hasta obtener una corriente de cincuenta períodos, de ritmo sumamente riguroso, que hace marchar al más trivial de los relojes eléctricos.

¡Pero esta esfera no está ahí más que para cumplir la tradición!... No se puede apreciar en ella, en efecto, la precisión del mecanismo; precisión que tratándose de longitudes sería de una diezmillonésima de milímetro (una décima de angström) en un metro. Es preciso hacerla resaltar mediante comparadores. El principio consiste en oponer en fase las corrientes alternas que excitan a los dos relojes que se desea comparar. Si esas corrientes están en ligero desacuerdo se producirá cierto golpeo o latido.

—Vean este contador—nos dice el ingeniero Quillet—: totaliza los latidos entre este reloj de aquí y otro similar que se halla en el Observatorio vecino y que se nos ha unido eléctricamente.

¿No se podrían construir de modo que concordasen exactamente?... No; dos cuarzos no podrán nunca ser tallados de la misma manera exacta... Así, tocamos de modo concreto la distinción de dos nociones fundamentales: una medida puede ser precisa y no estar contrastada. Estos relojes de cuarzo son de precisión absoluta: no varían. Pero cada uno tiene su ritmo propio, adelantándose o atrasándose, por poco que sea, al cabo de un día, y no digamos al término de un mes o de un año.

#### UNA DIFÍCIL RELACIÓN.

—Adelantándose o atrasándose ¿con relación a "qué"?

El profesor Rossel acaba de atajarnos. Director del Instituto de Física de la Universidad de Neuchatel, y en el mismo edificio, del Departamento de Electrónica del Laboratorio de Investigaciones Relojeras, él es quien tiene el temible honor de dirigir las investigaciones referentes al nuevo reloj atómico en construcción.

¡Es verdad! ¿Con relación a qué? ¿A qué cosa sólida podemos vincular el tiempo? Para los poetas, siempre fue fugitivo; para los sabios de hoy, lo es mucho más aún. Hasta ahora el reloj padre era la Tierra. Pero las mareas vivas pueden retrasar el día

en algunas millonésimas de segundo; violentas erupciones volcánicas y la brusca fusión de los hielos polares pueden también afectar a nuestra base de tiempo. Se ha calculado, incluso, que la captación de la energía de las mareas en una fábrica como la del monte San Miguel influirá en la duración del día.

Pero más aún: la rotación de la Tierra disminuye lentamente; muy despacio, es verdad, pero de manera inexorable. Dentro de algunos miles de millones de años nuestros "días" serán de cincuenta o cien horas... Y entonces, ¿qué significará la palabra "hora"? En verdad, nuestro contraste del tiempo es de goma...

—Ya se ha querido independizar de todo convencionalismo la medida de longitud, vinculando el metro a la longitud de onda de una raya espectral. Del mismo modo, ¿no se puede tomar como base de tiempo el período de semejante onda de longitud bien precisada?...

Es sabido que cuando se despliega mediante un prisma el espectro de un rayo luminoso, se comprueban en él rayas oscuras o, por el contrario, vivas. Las rayas sombrías son las típicas de cuerpos que, puestos en el trayecto de los rayos, absorben preferentemente determinadas longitudes de onda bien precisa. Las rayas luminosas son reveladoras de los cuerpos que emiten esa luz. Menos sabido es que el mismo fenómeno se produce cuando las ondas electromagnéticas no son ya luz, sino ondas hertzianas.

—Visto que las frecuencias muy considerables de las ondas luminosas serían de muy difícil utilización, más valía recurrir, para contrastar el tiempo, a una raya de ondas hertzianas, de frecuencia mucho menos rápida. Se pensó, sobre todo, en una raya de absorción del amoniaco, descubierta en 1936 por los ingleses Cleeton y Williams. Esa raya tiene una longitud de onda de 1,25 centímetros. Por eso, prácticamente, la fabricación de un reloj atómico no es posible hoy más que gracias a los adelantos que la técnica del radar permitió hacer en el manejo de las ondas de dicho orden de longitud. Por lo demás, tales relojes han sido ensayados en los Estados Unidos.

—Puesto que se trata de una raya de amoniaco, esos relojes no debieran llamarse atómicos, sino moleculares.

—Exactamente. Pero ha cogido ya esa mala costumbre...

Estamos ahora en un laboratorio del sótano, donde en medio de una pulcritud asombrosa, de un orden muy helvético, se montan y ensayan ciertas piezas de reloj en preparación. Un listón de cortina metálica, de sección rectangular y varios metros de largo. Tal es el aspecto de la pieza esencial: el recipiente que contiene amoniaco a débil presión.

—Pero ¿por qué ha de ser amoniaco?

—Por ser un gas muy estable, muy fácil de obtener, y porque su raya "nu 3,3", de 1,25 centímetros, es muy intensa y muy precisa.

El profesor Rossel nos deja confiados al señor Bonanomí, físico del laboratorio de estudios de relojería. Bonanomí va a enseñarnos las piezas esparcidas del reloj.

## DESCRIPCIÓN DEL RELOJ.

—A este listón de cortina, esta emisora de radio envía ondas de 1,25 centímetros. El listón constituye un guía-ondas: la onda hertziana está prácticamente encerrada en él y atraviesa en un trecho de varios metros una atmósfera de amoníaco, siendo, pues, absorbida selectivamente en 1,25 centímetros.

En el otro extremo del tubo hay un detector muy sensible. Si la emisora funciona exactamente en 1,25 centímetros, la onda debe ser completamente absorbida por el amoníaco, y el detector no debe recibir nada. Si recibe algo, por poco que sea, es que la emisora no oscila rigurosamente en dicha longitud de onda. De ahí, como se ve, la posibilidad de una autorregulación del sistema: la recepción de una onda un poquito superior a 1,25 centímetros disminuirá la frecuencia de emisión; si se recibe una onda un poco inferior, aumentará la frecuencia. De este modo se estabiliza la emisora. También en este caso se trata de la culebra que se muerde la cola, símbolo caro a los filósofos griegos; o, hablando en términos cibernéticos, un *feedback*.

Ya tenemos a nuestra emisora oscilando a un determinado ritmo: el correspondiente a la raya oscura del amoníaco, a 23.870,1 megaciclos, es decir, a 23.870.100.000 ciclos por segundo. Uno de estos ciclos será pronto la base del tiempo para la Humanidad.

—Pero en este reloj, ¿será tan largo el guía-ondas?

—Mucho más! Para conseguir una buena absorción hace falta que la onda franquee diez metros de gas. Pero nosotros enrollamos el guía-ondas sobre sí mismo, o reflejaremos la onda en zigzag en un recinto de forma recogida. Todo esto parece bastante sencillo. En la realidad del laboratorio se plantean muchas cuestiones. Y es que se trata de obtener una precisión mayor que la de los relojes de cuarzo; conseguir la décima potencia de —12, acaso de —13, e intentar la de —14. Si se llegase a esta precisión, el hombre sería capaz de comprobar una de las consecuencias esenciales de las ecuaciones de Einstein; la velocidad de la luz ha de ser más débil en las cercanías de una gran masa. Se mediría esa velocidad cerca del suelo; después, sobre montañas, y quedaría aportada la prueba de la relatividad.

Pero las virtudes del nuevo contraste son, sobre todo, de orden sentimental. He aquí al tiempo independizado de la Tierra, de toda circunstancia astronómica. Sobre cualquier planeta, de cualquier galaxia, en el transcurso de todas las Edades, siempre en una molécula de amoníaco el salto del átomo de ázoe por efecto de túnel a través del triángulo formado por los átomos de hidrógeno dará una raya electromagnética de igual frecuencia. De este modo, el tiempo mismo no tardará en vincularlo a lo absoluto.

Con tal de que el vocablo "absoluto" tenga algún sentido en nuestro universo einsteniano, donde todo es relativo.

## ISOTOPOS RADIATIVOS

Por el Dr. PEREZ MODREGO

### DESCUBRIMIENTO DE LA RADIATIVIDAD Y DEL RADIO

El término científico "isótopo radiactivo" es hoy día frecuentemente usado por diarios y revistas, en informaciones relacionadas con materias como: la Agricultura, la Industria, la Biología, el Cáncer, los peligros de una explosión atómica..., etc.

Por esto es interesante que precisemos qué es lo que entendemos por radiactividad y qué es, en esencia, un isótopo, aun de la forma más sencilla y más breve, dado el carácter de divulgación de esta publicación.

\* \* \*

A fines del año 1895 un gran físico alemán, *Roentgen*, hizo el descubrimiento de los rayos X. Otro gran científico, el francés *Henri Becquerel*, basándose en los estudios de *Roentgen*, comenzó una serie de investigaciones en las que pretendía establecer la existencia de una relación entre el fenómeno de la producción de los

rayos X y el fenómeno de la fluorescencia, hecho que deducía de que, entre otras propiedades, los rayos X poseían la de excitar la fluorescencia de gran número de cuerpos.

Las experiencias de *Henri Becquerel* duraron hasta el año 1896 y ellas le llevaron a conclusiones extraordinariamente interesantes, aunque no eran las que inicialmente buscara en sus investigaciones.

*Becquerel* había empleado en sus experiencias sales de uranio. A medida que profundizando en su trabajo observó que el compuesto de uranio emitía una serie de rayos capaces de impresionar las placas fotográficas, aun a través de cuerpos perfectamente opacos, e incluso tanto si se había excitado previamente la fosforescencia del compuesto de uranio, por efecto de la luz, como si dicho compuesto había sido mantenido en la obscuridad. Es decir, que la emisión de esa serie de rayos, capaces de impresionar las placas fotográficas, no era consecuencia del fenómeno de fluorescencia. Posteriores experiencias determi-