

Cuando el tic-tac se convirtió en zumbido, la medición del tiempo revolucionó



Dr. Achim M. Loske

*Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada
Universidad Nacional Autónoma de México*

Resumen

A principios de los años sesenta surgió un desarrollo tecnológico que revolucionó la medición del tiempo, aumentando la precisión de los relojes de manera radical. Aunque fue famoso por su uso en relojes de pulsera, llegó en un momento en el que la industria espacial, e incluso el funcionamiento de los satélites y aviones relacionados con el espionaje y la Guerra Fría, se beneficiaron de él. En los relojes de pulsera de la época, el órgano regulador, es decir, el sistema que divide el tiempo en intervalos lo más constantes posible, era el volante con espiral; ese aro pequeño que se mueve sin parar en los relojes mecánicos, incluso actualmente. El sistema que se describe aquí es totalmente diferente: se basa en las vibraciones de un diapasón, como los usados en música, pero diminuto y que vibra con una frecuencia sorprendente, de manera que el segundero del reloj da ¡360 saltos cada segundo!, un “tic-tac” demasiado rápido para distinguirlo.

Palabras clave: reloj de pulso; precisión; órgano regulador; diapasón

Abstract

In the early 1960s, a technological development emerged that revolutionized time measurement, radically increasing the accuracy of watches. Although it became famous for its use in wristwatches, it appeared at an epoch when the space industry, and even the operation of espionage and Cold War-related satellites and aircraft, benefited from it. In wristwatches, the timekeeping element, that is, the system that divides time into intervals as constant as possible, was the balance wheel with hairspring; that small ring that even today moves endlessly in mechanical wat-

ches. The system described here is totally different: it is based on the vibrations of a tuning fork, like those used in music, but tiny and vibrating with a surprisingly high frequency, so that the second hand on the watch jumps 360 times per second; a “tick-tock” too fast to tell apart.

Keywords: wristwatch; accuracy; time-keeping element; tuning fork

1. Introducción

¿Qué hace que un reloj sea bueno? Si por “bueno” entendemos que no se atrase o adelante, entonces un elemento crucial es su base de tiempo, es decir, el mecanismo del reloj que genera intervalos con una variación mínima entre ellos, regulando el movimiento de sus manecillas o la indicación de sus dígitos.

Los latidos del corazón llegaron a usarse como base de tiempo para medir intervalos relativamente cortos. Obviamente era un método poco preciso, justamente porque la frecuencia cardiaca es variable. En la Antigüedad frecuentemente se recurrió al gasto controlado de alguna sustancia como, por ejemplo, el paso de arena o agua a través de orificios pequeños. Los relojes de vela o de fuego también son ejemplos de este principio de funcionamiento (Kaplan, 2022; Landes, 2007; Loske, 1979).

Los relojes solares se ubican en una categoría aparte (Loske, 1979; Miranda y Pereira, 2018). Son sumamente precisos, ya que su órgano regulador es la rotación de la Tierra en torno a su eje, es decir, se basan en el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste; sin embargo, para marcar minutos y, ni se diga segundos, sus carátulas deben ser muy grandes. Como los relojes mecánicos inicialmente eran

poco fiables, para ajustarlos siguieron usándose relojes solares hasta finales del siglo XIX. Independientemente de esto, cabe mencionar un aspecto interesante. Los relojes solares tienen una ventaja fundamental con respecto a cualquier reloj, incluso el más moderno. Poseen la propiedad de determinar la hora sin necesidad de ser ajustados o de consultar un reloj patrón. Todos los demás relojes son “guardatiempos”, es decir, conservan la hora con mayor o menor precisión. Justamente ese es el tema de este artículo: un reloj que “conserva” el tiempo de manera formidable.

2. El fiel péndulo y el volante neurótico

Una base de tiempo muy fiable es el péndulo. Fue el científico holandés Christiaan Huygens quien, en 1656, lo usó por primera vez como órgano regulador, revolucionando el funcionamiento de los relojes. Relojes de péndulo pueden encontrarse en las torres de muchas iglesias y edificios públicos, así como en péndolas de mesa y relojes de pared o de pie. Generalmente son impulsados por pesas o por la fuerza de una cinta de acero enrollada, a la que se le “da cuerda”. Un mecanismo, denominado “escape”, impide que el tren de engranes acoplado a las manecillas se mueva sin control. Transforma lo que sería un movimiento continuo, como, por ejemplo, la caída rápida de las pesas, en uno discontinuo, con lapsos de duración controlada. La figura 1 muestra cómo el áncora (1) está diseñado de tal manera que siempre detiene a uno de los dientes de la rueda de escape (2), impulsada por la pesa (3) a través del rodillo (4). El movimiento alterno del áncora produce el clásico “tic-tac” de un reloj mecánico (Kaplan, 2022). La duración de estos intervalos es regulada por

el movimiento del péndulo y transmitido al engranaje del reloj (no mostrado) vía el eje (5). Las oscilaciones de un péndulo son muy constantes. Dependen de su longitud, forma y distribución de peso, pero no de la amplitud de la oscilación; de manera que si se reduce la fuerza del elemento que le otorga el movimiento, disminuye su amplitud, pero el período de oscilación no cambia. Gracias a ello pueden hacerse ajustes finos, sobre todo si el péndulo tiene en su extremo una pieza relativamente pesada, como un disco metálico (6), cuya posición puede variarse girando un tornillo (7). El diseño de mecanismos de escape cada vez más precisos y eficientes es complejo y tiene una historia larga (Kaplan, 2022; Loske, 1979).

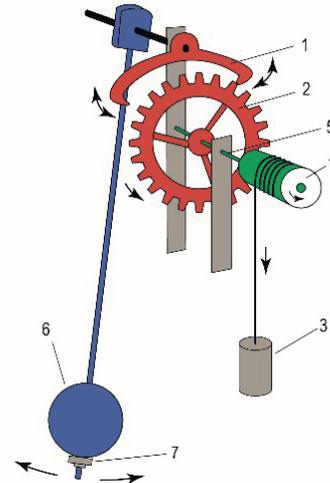


Figura 1. Esquema de una parte de un reloj de péndulo, que muestra el áncora (1), la rueda de escape (2), una pesa (3), el rodillo (4), el eje del tren de engranajes (5), el péndulo (6) y un tornillo de ajuste (7).

Aunque los relojes de péndulo pueden ser muy precisos, tienen una desventaja: deben permanecer nivelados y en reposo. Por ese motivo se buscaron otros sistemas para dividir el tiempo en intervalos

constantes, dando lugar a un mecanismo de regulación ingenioso, basado en el giro de un elemento con forma de volante. Sus ventajas principales son que puede miniaturizarse y que su funcionamiento prácticamente no es alterado al moverlo. La mayoría de los relojes de pulso mecánicos poseen este sistema (ver figura 2). El eje (1) de la rueda de escape (2) gira por la fuerza que le transmite la cuerda (no mostrada) a través de una serie de engranes. El movimiento de la rueda de escape es regulado por las paletas (3) del áncora (4), acoplado al volante (5) vía una espiral metálica sumamente fina (6). La espiral tiene la función de regresar el volante a su punto de partida al final de cada ciclo. Dependiendo del modelo cambia su sentido de dos a cinco veces por segundo. La precisión de su giro depende de la forma y calidad de la espiral, así como del ajuste de los tornillos (7).

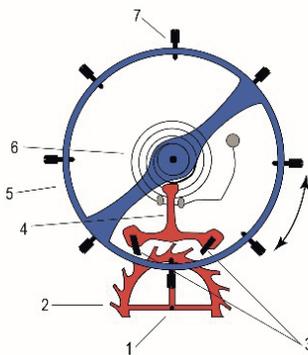


Figura 2. Esquema de un conjunto volante-espiral del tipo usado en relojes de pulsera, que muestra el eje de la rueda de escape (1), parte de la rueda de escape (2), las paletas del áncora (3), el áncora (4), el volante (5), la espiral (6) y los tornillos (7) para balancear el volante.

3. Un descubrimiento fascinante

El primer reloj eléctrico salió a la venta en 1952, pero el hecho de ser eléctrico no mejoraba su precisión; simplemente no era necesario darle cuerda. Hablando de

precisión, uno de los avances más sorprendentes fue el desarrollo del Accutron de Bulova (Bruton, 1979; Loske, 1979). Fue el primer reloj controlado por un transistor y un diapasón. Su nombre se compone de las palabras “accuracy” y “electronics”. El modelo más famoso del Accutron fue el *Spaceview*, que no tenía carátula, dejando su mecanismo al descubierto (ver figura 3). Su principio de funcionamiento, basado en las vibraciones de un diapasón de aproximadamente 2.5 cm de largo (que vibraba 360 veces por segundo), le permitía conservar la hora con un error menor a un minuto por mes, superando por mucho a los mejores relojes de su época. ¡Un “tic-tac” producido con esa frecuencia se escucha como el zumbido de una abeja!



Figura 3. Fotografía de un Accutron Spaceview 214 fabricado en 1965. Puede apreciarse el diapasón con sus dos copas y bobinas en la parte superior, así como parte del engranaje en la zona central. Incluso las manecillas fueron diseñadas para no tapar el mecanismo. Del lado derecho se distingue parte del circuito electrónico; una resistencia con franjas de colores y el transistor arriba de ella.

Otra característica del Accutron es que no

tenía una corona para ajustarlo, dando la idea de que era tan preciso que no requería ajuste. El Accutron *Astronaut* fue el segundo modelo con este mecanismo ingenioso. Mostraba la hora en dos zonas horarias, gracias a una manecilla adicional y un bisel giratorio con graduación de 24 horas.

La idea de cambiar el sistema volante-espiral por un diapasón regulado por un circuito electrónico fue concebida por el ingeniero suizo Max Hetzel (Donzé, 2022; Kahlert, 2004). Como los fabricantes de relojes en Suiza no se interesaron en su propuesta, migró a los Estados Unidos, donde la empresa “Bulova Watch Company” tenía un contrato con la NASA para el desarrollo de una base de tiempo confiable que pudiera operar bajo condiciones extremas; y se interesó en el proyecto de Hetzel. No sólo usó el principio de funcionamiento novedoso para cumplir con los requisitos de la NASA, sino que diseñó uno de los relojes de pulsera más exitosos de la historia. Crear el prototipo final requirió de varios años de investigación y desarrollo. Años más tarde, algunas empresas suizas compraron los derechos para poder producir sus propios relojes con diapasón.

La comercialización del Accutron fue retrasada por la Agencia Central de Inteligencia (CIA) de los Estados Unidos, debido a su aplicación en satélites de espionaje y en el *X-15*, un avión cohete experimental desarrollado por la NASA y la Fuerza Aérea de ese país. Además, fue instalado en el avión presidencial *Air Force One*. Bulova, con sede en Nueva York, finalmente inició la venta del Accutron en 1960. Por su precisión, este reloj revolucionario también jugó un papel fundamental durante el proyecto Apolo. Todos los mó-

dulos que llegaron a la Luna se basaron en el Accutron como base de tiempo. Su slogan publicitario era: “Porte una pieza de satélite, no un reloj”.

4. Funcionamiento

Las clases de laboratorio de física de la preparatoria generalmente incluyen un experimento en el que un clavo enrollado con un alambre de cobre para embobinar se convierte en un imán (electroimán) en el instante de conectarle una pila. También se da el efecto inverso: al mover un imán dentro de una bobina, se genera corriente eléctrica en la bobina. El funcionamiento del Accutron se basa en ese fenómeno. Como se muestra en la figura 4, posee dos bobinas (1) y un diapasón (2), cuyos brazos terminan en forma de copa, cada una con un imán. Al pasar corriente eléctrica por las bobinas, se produce un campo magnético que atrae o repele a estos elementos. La bobina izquierda está dividida en dos secciones. Una de ellas recibe los pulsos eléctricos de un circuito oscilador transistorizado, energizado por una pequeña pila, cuyos impulsos hacen vibrar al diapasón, como si se le diera un pequeño golpe. El sistema detecta la amplitud de oscilación del diapasón, retroalimentando al circuito, para que emita pulsos eléctricos en intervalos determinados, es decir, se autorregula. Un gatillo (3), fijo al brazo izquierdo del diapasón, transmite los pulsos a la rueda de escape (4). Cada oscilación del diapasón la hace avanzar un diente. Un gatillo similar (5) sostiene la rueda de escape en su posición, mientras el gatillo impulsor (3) retrocede. Los detalles técnicos pueden consultarse en la literatura citada (De Vecchi y Uglietti 2005; Landes 2007; Loske 1979), pero no es necesario comprenderlos para que este reloj nos maraville.

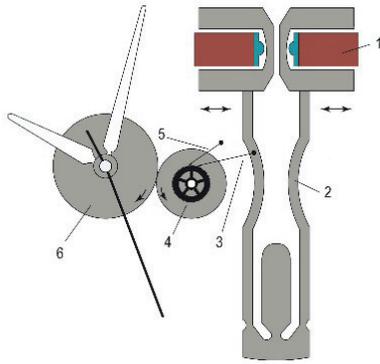


Figura 4. Esquema de una parte del mecanismo de un reloj Accutron, que muestra las dos bobinas de alambre de cobre (1), el diapasón (2), el muelle impulsor (3), la rueda de escape (4), la barra de bloqueo (5) y una representación del tren de engranajes que transmite el movimiento a las manecillas (6).

El movimiento del segundero parece ser continuo. ¡Imposible ver que avanza por brincos, dando 360 saltos por segundo! El diámetro del reloj, de solo 35 mm, estaba acorde con la moda, complicando su manufactura. Contenía únicamente 12 piezas móviles, ¡pero qué piezas! La fabricación de la rueda de escape fue un gran reto. ¡Posee 300 dientes de una centésima de milímetro de altura, separados una distancia de 0.025 mm, su espesor equivale a la mitad del grueso de un cabello humano y su diámetro es de sólo 2.5 mm! Independientemente de su tamaño, es una pieza sumamente resistente. ¡En un año gira casi 38 millones de veces! Su eje tiene un piñón que mueve las manecillas a través de un tren de engranes (6). En el extremo que hace contacto con la rueda de escape (4), el gatillo (3) y la barra de bloqueo (5) poseen una pieza diminuta de rubí sintético cuadrado de 0.25 mm de lado y 0.05 mm de grosor. ¡Las bobinas están formadas por 8,100 vueltas de alambre para embobinar - unos 80 metros de longitud - con un diámetro de una tercera

parte de un cabello humano! Para reparar un Accutron no es suficiente una lupa de relojero. Por las dimensiones de sus piezas, se requiere de un microscopio.

5. Misión espacial en peligro

El Accutron jugó un papel crucial en un incidente que sucedió durante la última misión espacial del proyecto Mercury, en 1963. El astronauta Gordon Cooper fue lanzado al espacio dentro de una cápsula pequeña, con la finalidad de dar varias vueltas alrededor de la Tierra, realizar pruebas diversas e ingresar nuevamente a la atmósfera terrestre para amarizar con la ayuda de paracaídas, tal y como lo hicieran, años más tarde, los astronautas de la misión Apolo. Después de haber dado 21 vueltas alrededor de la Tierra, fallaron los sistemas de estabilización y control automáticos, incluyendo el reloj del tablero de instrumentos, de manera que Cooper tuvo que orientarse observando la posición de la Tierra y las estrellas a través de la mirilla de la cápsula y operar la nave manualmente. Usó el reloj Accutron sujeto a su brazo para determinar el instante de activar los propulsores que impulsarían la nave para su reingreso a la atmósfera. Un error mínimo podría haber desviado la cápsula miles de kilómetros, generando un desenlace fatal. Afortunadamente, Cooper amarizó en el Océano Pacífico a sólo unas cuantas millas de la posición del buque destinado a su rescate.

La producción del Accutron se suspendió en 1977, debido al surgimiento de los relojes de cuarzo. En 2008 el fabricante japonés Citizen compró Bulova y en su 60 aniversario, en 2020, Accutron nació como marca propia, distinguiéndose nuevamente por su carácter innovador al comercializar un reloj con un mecanismo

único, basado en la generación de energía con el uso de turbinas electrostáticas.

6. Discusión y conclusiones

A pesar de que la venta de los relojes de pulsera Accutron fue sumamente exitosa, el diapasón fue sustituido relativamente rápido por cristales cuarzo, cuya frecuencia de vibración es mucho mayor, dando lugar a relojes más precisos y sencillos de fabricar. Esto no le resta mérito al logro tecnológico que, para su época, significó llevar a la práctica la idea ingeniosa de usar un diapasón acoplado a un circuito electrónico como órgano regulador. Por ello, el Accutron es parte de la historia aeroespacial y de la relojería. Llegó en el momento justo, cuando la guía de cohetes, satélites y módulos lunares requería de relojes más precisos. Cabe mencionar que la navegación, incluyendo la marítima, siempre ha dependido de la medición del tiempo (Sobel y Andrewes, 1998). Actualmente, el sistema de posicionamiento global (GPS), sería impensable sin la existencia de relojes atómicos (Jespersen y Fitz-Randolph, 1999).

Agradecimiento

El autor desea agradecer al M. en C. Francisco Fernández Escobar, por sus valiosas sugerencias y la minuciosa revisión del manuscrito.

Referencias

Bruton, E., *The History of Clocks and Watches*, Orbis Publishing Ltd., Londres, Reino Unido, 1979. ISBN 0-517-377446

De Vecchi, P. y Uglietti, A., *Uhren: Ein Handbuch für Uhrenliebhaber und Sammler*, Kaiser, Klagenfurt, Alemania, 2005. ISBN 3704313033

Donzé, P.-Y., *The Business of Time: A Global History of the Watch Industry*, Manchester University Press, Manchester, Reino Unido, 2022. ISBN 1526162571. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv2vm3b5m>

Jespersen, J. y Fitz-Randolph, J., *From Sundials to Atomic Clocks: Understanding Time and Frequency*, National Institute of Standards and Technology, monography 155, Washington, DC, EUA, 1999. ISBN 9780486242651

Kahlert, H., *Wristwatches: A History of a Century's Development*, Schiffer Publishing, Pennsylvania, EUA, 2004. ISBN 978-0887403620

Kaplan, B., *Horology*, Schiffer Publishing Ltd., Pennsylvania, EUA, 2022. ISBN 9780764363924. <https://schifferbooks.com/products/horology-1>

Landes, D.S., *Revolución del Tiempo: El Reloj y la Formación del Mundo Moderno*, Crítica S.L., Barcelona, España, 2007. ISBN 978-84-8432-745-5

Loske, L.M., *Cronometría: Del Obelisco al Reloj de Cuarzo y Atómico*, Impulso, México D.F., México, 1979. ISBN 968-17-0003-1

Miranda, A.L. y Pereira, J.E., *Diseño de Relojes de Sol*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Ciudad de México, México, 2018. ISBN 978-84-267-2220-1

Sobel, D. y Andrewes, W.J.H., *The Illustrated Longitude*, Walker Books, New York, EUA, 1998. ISBN 3-8270-0364-4