

# Máquina de precisión y celebración

## Precision and celebration machine

Aliex Trujillo García<sup>1</sup>

### Resumen

El reloj atribuido a Christiaan Huygens es una de las máquinas más importantes en la historia de la ingeniería mecánica. Este reloj influyó en el desarrollo de la navegación y en el ascenso de la precisión. En la historia del reloj y la medición del tiempo podemos encontrar pistas para mejorar nuestras posibilidades del futuro. Por otro lado, la biblioteca es la institución de la cultura que preserva la historia. En ella encontramos las máquinas que enriquecen la formación de los futuros ingenieros.

**Palabras clave:** historia de las máquinas, educación en ingeniería.

### Abstract

The clock attributed to Christiaan Huygens is one of the most important machines in the history of mechanical engineering. This clock influenced the development of navigation and advancement of precision. In the history of the watch and timekeeping we can find clues to improve our possibilities for the future. The library is the institution of culture that preserves the history. We find in the library machines that enrich the education of future engineers.

**Keywords:** machine history, Engineering Education

## 1. Preámbulo

Estuvimos en la biblioteca de la Universidad Central celebrando el Día del Ingeniero. Como ya saben, la biblioteca es el espacio en donde circula el acumulado de información de las tradiciones que hemos sabido resguardar como cultura humana.

Nuestra biblioteca me invitó a celebrar este día con una conferencia y decidí hacer una pequeña revisión de una pequeñísima parte del acumulado que reposa en la Institución.

Para hacer esa revisión me enfoco en una máquina, dado que la máquina es uno de los objetos de estudio preferido de los ingenieros. La máquina es el reloj en sus épocas y un reloj en particular: el reloj que se le atribuye al holandés Christiaan Huygens. Lo hago porque creo que es una máquina fundacional de la ingeniería.

## 2. Breve recorrido temporal

En principio, un reloj es una máquina con la convención de una escala de duración asociada. Los relojes de sol, 1500 años antes de nuestra era, marcaban las horas aproximadas,

<sup>1</sup> Ingeniero mecánico, Dr. (c) en Educación. Profesor de la Universidad Central, atrujillo@ucentral.edu.co.

por cuanto el sol tiene una variación angular anual que depende de la latitud. Han existido relojes de sol de geometría compleja que llegan a corregir estos comportamientos regulares y aparentes, como el antiquísimo *Sechat* egipcio o, en la actualidad, el reloj de precisión de Bütgenbach (Bélgica).

Desde el siglo XIV a. C., el reloj de agua consistió en un orificio lateral y adyacente al fondo de una vasija de barro. Ahora sabemos que los intervalos se alargan porque, al vaciarse el recipiente, disminuye la presión hidrostática y, por lo tanto, disminuye la velocidad del chorro de agua por el agujero —el caudal o la “cantidad de agua”— y tiene mayor duración un mismo intervalo de división en una escala regular de vaciado.

Si medimos con un reloj de áncora o de pulsos el tiempo de vaciado del recipiente del reloj de agua podemos darnos cuenta del error. Lo detectamos porque sabemos que, a intervalos iguales del reloj de referencia, el reloj de agua se demora más hacia el final. La precisión es un efecto de la teoría del instrumento, de un acumulado del pensar al erigir un mundo.

Los griegos usaron los relojes de agua para medir la duración de la palabra en la asamblea de hombres libres, inventores de la democracia. Una de las reglas de aquellas asambleas, en la época de Pericles, siglo V a. C., era el balance en la duración del uso de la palabra en el ágora de la polis ateniense. Para ese uso no se necesitaba nada más. En cada intervención, el recipiente se llenaba. Y cuando se vaciaba y concluía el orador, se volvía a llenar.

La precisión en la duración para estos usos del instrumento es irrelevante en un margen. Lo que ordena la diferencia de tiempos de vaciado es irrelevante para la temporalidad de los procesos en la asamblea de hombres libres de hace veinticinco siglos. La clepsidra, un reloj de agua usado ya por los egipcios y posterior-

mente por los griegos, era incapaz de medir todas las horas del día o de la noche porque no estaba sincronizada con la duración de los movimientos astronómicos, sino con la gravedad.

En el siglo III a. C., el famoso Ctesibio inventó el *horologium ex aqua*, el primer reloj de agua calibrado y numerado (Mumford, 2006).

El reloj de arena presentaba el mismo problema. Los líquidos se deforman con una cierta proporcionalidad y el agua se destaca por hacerlo con una proporcionalidad lineal. Las partículas sólidas abrasivas, como las de la arena, tienen características de más complejidad, como la irregularidad en el tamaño y la forma del grano y la humedad de adherencia (aunque ya podemos hacer un tamizado de orden milimétrico para el grano y deshidratarlos).

En general, al disminuir la presión de la cantidad de arena, disminuye el tiempo de vaciado. Ahora sabemos eso porque tenemos disponible una teoría con una precisión de orden superior a una opinión desprevenida o interesada al respecto.

### 3. Otro reloj

En el periodo histórico posterior al Imperio romano y anterior al Renacimiento del siglo XV, la artesanía se desarrolló más que la ciencia. Los fundamentos de la ciencia estaban circunscritos a parte de la filosofía griega, al misticismo y tuvo resistencia ideológica por parte de una poderosa institución, la Iglesia católica.

Es común en los colegios divulgar la idea de que es un periodo oscuro en el que la Inquisición, que era un aparato de la Iglesia, condenaba el libre pensamiento necesario para hacer avanzar la ciencia. La baja Edad Media instauró la escolástica, que fue condición de posibilidad de las artes liberales, de la ciencia

moderna. Por entonces se separaban las artes liberales de las artes mecánicas.

*Grosso modo*, en el siglo XVII, que es el más importante para la ingeniería, la artesanía de los maestros mecánicos se encontró con la ciencia y produjo la ingeniería (Mumford, 2010). Un hito interesante de ese encuentro es cuando, gracias a un encumbrado grupo multinacional de científicos, se consolidó la más moderna de las máquinas: el reloj.

Hasta el siglo XVII, los relojes eran marca de posición social encumbrada. Los relojes eran objetos estéticos y del divertimento, monumentos a la exquisitez de los oficios. La ciencia demandaba, para sus algoritmos, de experimentación a escalas de duración más regulares, estables y pequeñas. La isocronía apareció como concepto de esa ciencia y echó mano de un lugar geométrico ya trabajado desde los griegos: la cicloide.

Ya existían los relojes de péndulo. Sobre la importancia del péndulo en los relojes y la función que realizan le pueden preguntar a uno de nuestros bibliotecarios, Reinaldo (amigo e inventor), que es un aficionado a estos relojes y un restaurador consumado de estos. Los relojes de péndulo eran bella e ingeniosamente engalanados para la adquisición de reyes y campanarios de grandes burgos.

Christiaan Huygens, que era uno de esos burgueses, se relacionaba con los principales científicos europeos del siglo XVII. Se unió a la investigación de la isocronía y encontró en la cicloide la manera de producirla (Koyré, 1994). En 1673, Huygens escribió el libro *Horologium Oscillatorium: sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae* (*The pendulum clock: or geometrical demonstrations concerning the motion of pendulas as applied to clocks*), donde hace su propuesta de reloj. Allí dice:

El péndulo simple no puede ser considerado como una medida del tiempo segura y uniforme, porque las oscilaciones amplias tardan más tiempo que las de menor amplitud; con ayuda de la geometría he encontrado un método, hasta ahora desconocido, para suspender el péndulo; pues he investigado la curvatura de una determinada curva que se presta admirablemente para lograr la deseada uniformidad. Una vez que hube aplicado esta forma de suspensión a los relojes, su marcha se hizo tan pareja y segura que, después de numerosas experiencias sobre la tierra y sobre el agua, es indudable que estos relojes ofrecen la mayor seguridad a la astronomía y a la navegación. La línea mencionada es la misma que describe en el aire un clavo sujeto a una rueda cuando esta avanza girando; los matemáticos la denominan cicloide, y ha sido cuidadosamente estudiada porque posee muchas otras propiedades; pero yo la he estudiado por su aplicación a la medida del tiempo ya mencionada, que descubrí mientras la estudiaba con interés puramente científico, sin sospechar el resultado.

Queda claro que el científico holandés tenía su corazón en la ciencia, a pesar de que su origen familiar y de ciudad estaba en el comercio.

#### 4. El reloj cicloide

De forma paralela había una necesidad de navegar para expandir a una Europa agotada de recursos. La discusión en la historia de la técnica es entre aquellos que defienden que una necesidad de recursos presionó a la ciencia para que produjera el reloj cicloide y, por lo tanto, una estabilidad cualitativamente su-

perior, por un lado, y aquellos que defienden que la precisión de los algoritmos de la ciencia produjo un instrumento que encontró, por estar disponible, aplicación en la navegación para la búsqueda de recursos. Me detendré en la primera posición de la discusión.

Los largos viajes transatlánticos fueron motivados por la escasez que en Europa trajeron las guerras y por la extracción casi total de la biomasa arbórea, lo que demandó una precisión en la localización de las trayectorias (Rossi, 1966). Desde miles de años la latitud se media por la estrella polar en el hemisferio norte y por la cruz del sur en el hemisferio sur. Para esto, se llegó a contar con el astrolabio y, posteriormente, con el sextante (sexta parte de un círculo completo).

Para la proyección de un sistema cartesiano, la localización se efectúa con dos datos; uno de esos es la latitud, qué tanto al norte o al sur se está, y el otro es la longitud, qué tanto al oeste o al este se está.

Para esto, el método era calcular el desplazamiento, pues ya se sabía de qué manera dependía el desplazamiento de la velocidad y que la velocidad dependía del tiempo. Y el tiempo podía medirse con un reloj en el barco. Si el reloj que se usaba era de péndulo, había la dificultad de que, con los vaivenes de la embarcación, la oscilación del péndulo dejaba de ser regular.

La isocronía en una oscilación circular es aproximada para muy pequeñas amplitudes, nunca para las amplias oscilaciones de altamar. El problema que resolvió la ciencia se tradujo, en la navegación, en una solución tecnológica tan importante que le dio inicio a una disciplina: la de la ingeniería.

Resulta que Huygens encontró una oscilación del péndulo del reloj para que, independientemente de la amplitud de la oscilación, el tiempo de oscilación no cambiara. El científico burgués hizo oscilar el péndulo entre guías

(platinas) en forma de curvas cicloides. La curva cicloide tiene dos propiedades: la propiedad *braquistócrona* y la propiedad *tautócrona*.

La primera se verifica porque es la forma de la curva por donde un punto recorre más rápido, bajo efecto gravitatorio, un descenso entre dos alturas cualesquiera. Esta propiedad la demostró Bernoulli, un científico con el que se trabaja muchas veces en la carrera y en la vida profesional de ingeniero.

La segunda propiedad se verifica porque, independientemente de la altura desde donde un punto descienda, siempre pasará por una misma referencia al mismo tiempo. Esta última propiedad la demostró Huygens.

La oscilación del péndulo entre la forma de la curva cicloide produce una oscilación que no depende de la amplitud. Es una oscilación isocrónica y, con ella, un salto de precisión a la que se acogió, a partir del siglo XVII, toda la medición en ingeniería.

Siendo el tiempo más regular, independientemente del mar que se navegara, y midiendo la cantidad de nudos a los que se desplazaba el barco, nudos que se hacían a distancia regular en una cuerda que se iba soltando con lastre, se podía establecer la velocidad y la posición geográfica o la localización.

## 5. Posfacio

En la actualidad, la precisión necesaria para la labor humana de la tecnociencia ha agotado las posibilidades planetarias como referencia de la duración. El reloj atómico convierte en patrón de tiempo la longitud de onda de la radiación de vapores de Cesio, patrón más independiente de las fluctuaciones del movimiento de la masa terrestre.

El reloj de péndulo cicloide influyó poderosamente, como máquina, en la actitud cien-

tífica que dio paso a la disciplina de la ingeniería, la profesión que celebra Colombia el día el 17 de agosto de cada año.

## **Bibliografía**

Mumford, L. (2006). *Técnica y civilización*, Madrid: Alianza Editorial.

Mumford, L. (2010). *El mito de la máquina: técnica y evolución humana*. La Rioja: Pepitas de Calabaza.

Koyré, A. (1994). *Pensar la ciencia*. Barcelona: Paidós.

Rossi, P. (1966). *Los filósofos y las máquinas, 1400-1700*. Barcelona: Editorial Labor.