



3 CHRISTIAAN HUYGENS



Christiaan Huygens es uno de los personajes centrales de la Revolución Científica del siglo XVII, junto a Francis Bacon, René Descartes, Galileo Galilei e Isaac Newton. Físico, matemático y astrónomo holandés, nació en La Haya el 14 de Abril de 1629, en el seno de una familia del más alto rango político en la naciente república de la Holanda Unida: su abuelo, secretario de Guillermo de Orange, y su padre, Constantijn, delicado poeta y encumbrado diplomático. René Descartes, amigo personal de su padre, vaticinó desde muy temprano la excelencia del joven Christiaan en matemática, y el Mínimo Marin Mersenne anunció que habría de sobrepasar al mismo Arquímedes, figura tutelar de las ciencias exactas en la época.

Su padre educó personalmente a Christiaan para la carrera diplomática al servicio de la Casa de Orange. Sin embargo, a la muerte de Guillermo II de Orange se inició un período de 22 años sin “Stadhouder” (estatúder, jefe o magistrado superior de la antigua república de los Países Bajos) en el que la influencia política de la familia Huygens declinó. Christiaan abandonó así de antemano la carrera diplomática para la que había sido entrenado. De manera simultánea —tal vez por influencia de Descartes y Mersenne— su padre hizo que su “joven Arquímedes” estudiara matemática con Stampioen y con Frans Van Shooten, el traductor latino de La Géométrie de Descartes. Christiaan se dedicó entonces de lleno a estudiar óptica, mecánica y matemática.

Su visita a París en 1655 marcó un cambio radical en su vida, como en la de muchos otros científicos de su tiempo. Dos años después inventa el primer reloj de péndulo, observa por vez primera las fases del anillo de Saturno y descubre el primero de sus satélites. Entonces su fama crece y, tras dos viajes a París en 1660 y 1663, es nombrado Fellow of the Royal Society of London. Francia lo invita entonces a organizar la Académie Royale des Sciences de Paris, para pasar a formar parte del

proyecto ambicioso que Colbert lleva a cabo con decisión e inteligencia a partir de 1666. Huygens pasa a integrarse así en la vida francesa. Reside en la Bibliothèqu Royale en el palacio del Louvre, y recibe el sueldo más elevado que Luís XIV otorgó a sus científicos.

Inspirado en Francis Bacon, Huygens desarrolla un programa de investigación en el que la matemática, la mecánica y la técnica se combinan con cuestiones más generales y filosóficas acerca de la naturaleza y la materia, así proyecta por un lado, el estudio del vacío en la bomba neumática, perfeccionando la creada por Von Guericke, la determinación del peso del aire, las propiedades de la “fuerza” de la pólvora y del vapor condensado y, por el otro, escribe sobre la causa de la gravedad y plantea la primera teoría ondulatoria moderna de la luz.

Las contribuciones de Huygens a la Astronomía son muchas y muy importantes tanto a nivel técnico como de investigación. A los 25 años empieza a pulir lentes, ayudado por su hermano y acabó perfeccionando el ocular del telescopio de Kepler .

En la primavera de 1655 Huygens descubre Titán, el mayor y más brillante satélite de Saturno, un satélite muy especial pues es el segundo más grande del Sistema Solar y el único satélite que posee atmósfera como fuera descubierto en 1944. Saturno posee un gran número de satélites que hoy totalizan 30 y Huygens con su telescopio pudo fácilmente haber descubierto varios satélites más, pero una idea preconcebida se lo impidió: pensó que el número de satélites en el sistema solar no podía superar al número de planetas. Así, con Titán, el sexto satélite, se completaba el número.

Sin embargo, sus estudios sobre Saturno sí le permitieron desentrañar la verdadera naturaleza del cuerpo triple del planeta. Observaciones de Saturno hechas por Huygens en el invierno de 1655/1656 le permitieron explicarlo como un planeta rodeado por un anillo que lo circunda en su plano ecuatorial, de gran extensión radial pero muy delgado y que no toca al planeta en ninguna parte.

En el año de 1656, descubrió la nebulosa de Orión, una de las nebulosas gaseosas más brillantes que se pueden contemplar en el cielo. Este fue un descubrimiento muy importante pues sólo se conocía otra nebulosa, la nebulosa de Andrómeda.



Con su refractor Huygens también estudió el planeta Marte, descubriendo manchas oscuras sobre el disco del planeta, que le permitieron comprobar que el período de rotación no se aparta demasiado de 24 horas. También detectó los casquetes polares marcianos.

En 1656 inventó, patentado en 1657 por Salomón Coster, el reloj de péndulo, tras agregar un péndulo a un reloj impulsado por pesas, de modo que el reloj mantiene en movimiento al péndulo y éste regula la marcha de aquel. En 1673 publicó su obra “Horologium Oscillatorium”, en la que presenta importantes aspectos de la teoría del péndulo. Presenta la fórmula del péndulo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

la cual constituye un método práctico para medir la aceleración de la gravedad y sus variaciones con la altura y la latitud. Construyó luego un cronómetro portátil, basado en la doble suspensión del péndulo entre chapas cicloidales, destinado a facilitar a los marinos la determinación de la longitud geográfica en el mar, pero no tuvo éxito.

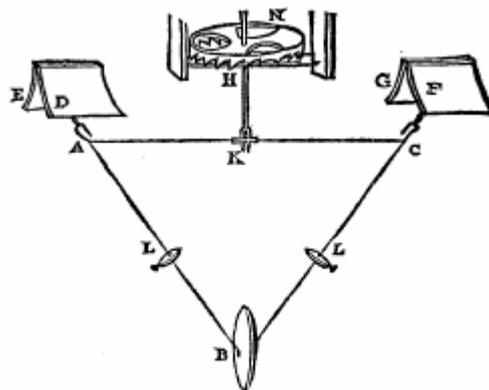


Fig. Péndulo del cronómetro marino de Huygens

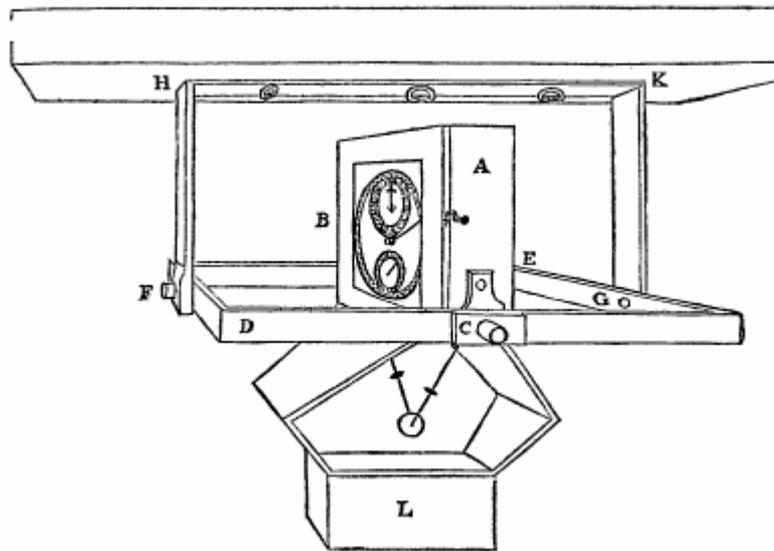


Fig. Cronómetro marino de Huygens

Es considerado por muchos el inventor del escape con resorte espiral, en 1674, en seria competencia con Hooke, creando el primer reloj-cronómetro de bolsillo en esta fecha.

A pesar del estallido de la guerra entre Holanda y Francia en 1672, y a despecho de su condición religiosa —Huygens era un calvinista en medio de la Francia del *Mars Christianissimus*—, permanece en París y en 1673 le dedica a Luís XIV su obra principal, *Horologium Oscillatorium*, en la que se plantean los principios de la mecánica racional.

En 1681 regresa a Holanda debido a su frágil salud y en 1683 muere su protector en Francia, Colbert, con lo que la Académie entró en un período de estancamiento. La revocación del Edicto de Nantes en 1685 lo hace desistir de regresar a París, pues se desata una persecución religiosa en contra de los protestantes.

Vive sus últimos años en su patria con ingresos de su familia y muere en su ciudad natal el 5 de Junio de 1695. Se ignora la naturaleza del padecimiento que acompañó a Huygens toda su vida, pero se sabe que se manifestaba en forma de una profunda depresión y angustia.



Los manuscritos de sus obras y cartas están en las bibliotecas de las universidades de Leiden y Amsterdam. En vida publicó “Horologium” (La Haya, 1659); “Systema Saturnium, sive de Causis mirandorum Saturni phaenomenon” (La Haya, 1659); el mencionado “Horologium oscillatorium” (París, 1673); “Astroscopia compendiaria” (La Haya, 1684) y el famoso libro de óptica “Traité de la Lumière” (escrito en Francia y publicado en La Haya, 1690).

Muchos de sus manuscritos fueron dados a conocer con la edición de Burchard de Volder de sus “Opuscula postuma” (Leiden, 1703). La Société Hollandaise des Sciences inició la edición de las “Oeuvres Complètes” de Christiaan Huygens en 1888 pero, por avatares de las dos guerras europeas, sólo pudo completarse en 1950. En ella participaron los mejores especialistas en historia de la ciencia europea.

3.1 *Horologium Oscillatorium:*

El reloj de péndulo de Christiaan Huygens

El “Horologium Oscillatorium” o “The Pendulum Clock” en su traducción al inglés, como se ha comentado ya varias veces, es la obra cumbre de Christiaan Huygens, en la que describe el primer reloj de péndulo isócrono y estudia las propiedades de la cicloide y las curvas en general. Está compuesto de 5 partes:

- I. Una descripción del Reloj de Péndulo
- II. La caída libre de cuerpos y su movimiento sobre la cicloide.
- III. La Evolvente y dimensiones de líneas curvas.
- IV. El Centro de Oscilación.
- V. Otra construcción del reloj en la cual el movimiento del péndulo es circular y también enuncia algunos Teoremas sobre la Fuerza Centrifuga.

Veamos de que tratan las tres primeras partes, que son las que al presente Proyecto conciernen.

En la 1ª Parte, describe el funcionamiento de el Reloj de Péndulo Isócrono. En resumen, el péndulo está unido a un mecanismo de escape, el cual , con su

movimiento alternativo, bloquea y libera la rueda de escape o rueda corona (crown wheel), con este mecanismo se regula el movimiento que el tren de engranajes transmiten a las agujas del reloj y se frena el escape de la energía potencial que transmiten las pesas al tren y a su vez, en este proceso de regulación interna, la rueda de escape transmite en su alternativo golpeo, cierta cantidad de energía al péndulo para compensar las pérdidas debidas a la fricción, así el péndulo continua oscilando continuamente hasta que las pesas cesen en su caída, con lo que bastaría volverlas a situar en su posición inicial para “darle cuerda” al reloj .

Me gustaría resaltar, que este primer capítulo en el que se trata sobre el reloj que se pretende diseñar en este proyecto, consta de 17 páginas, de las cuales, sólo menos de una y media están dedicadas expresamente al reloj en concreto, en las que se habla de las piezas en general que componen el reloj, del número de dientes que tiene cada engranaje, de la velocidad a la que se debe mover cada eje pero nada de la forma y dimensión de cada pieza, con esto quiero resaltar que el dimensionamiento de cada pieza es absolutamente personal y que el diseño ha tratado de ajustarse en la medida de lo posible a el único dibujo que aparece del conjunto en el libro, que es el que a continuación se presenta:

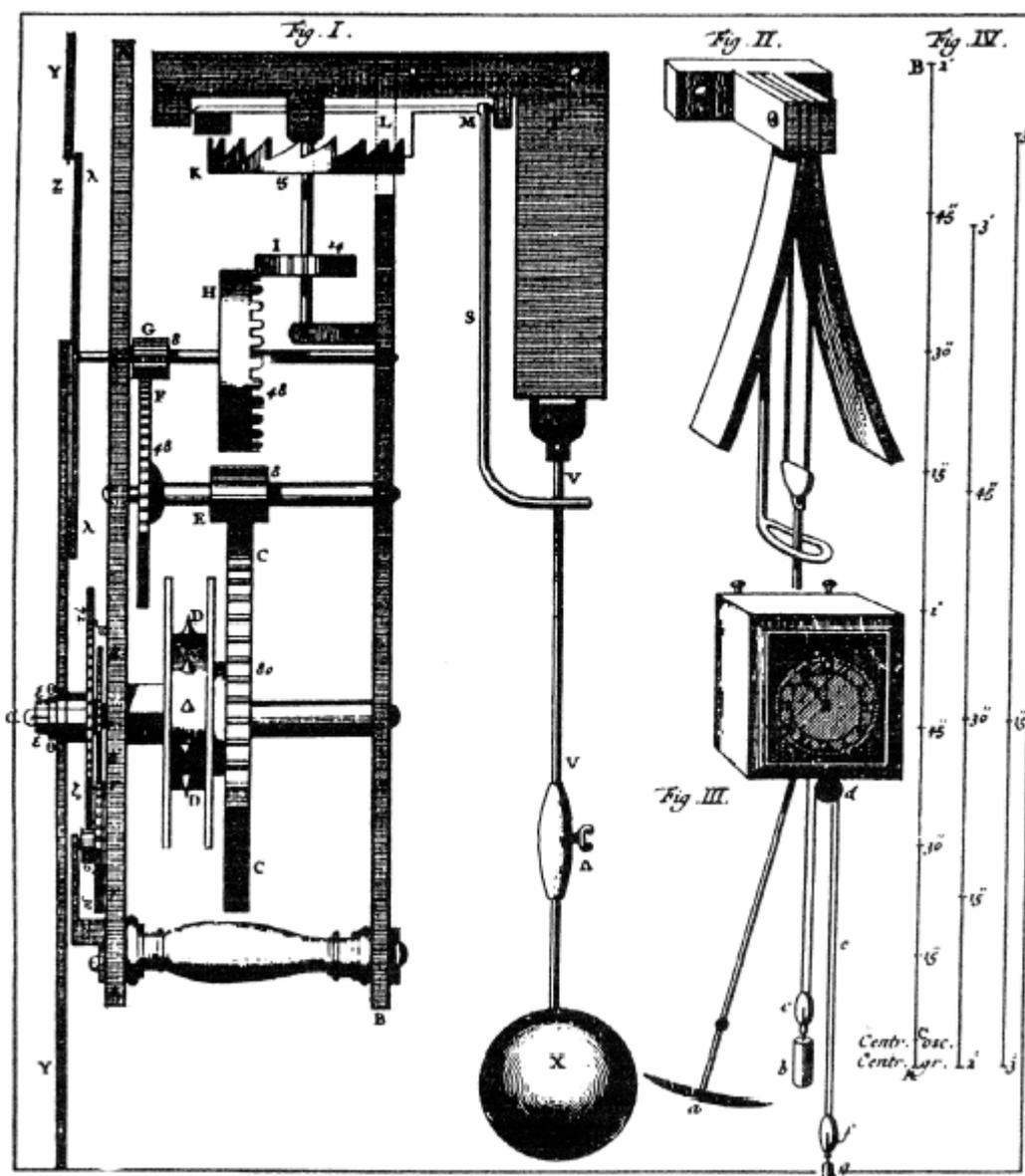


Fig. Reloj de Péndulo Isócrono de C. Huygens. Grabado extraído del Horologium Oscillatorium

También resaltar que el libro original se escribió en latín, y en el no aparece el esquema anterior exactamente, sino el que se presenta más adelante, que no tiene aspecto de grabado. Existe una traducción al inglés de la obra, pero escasea. En Sevilla no hay ejemplares de la traducción al inglés ni en la Biblioteca Municipal, ni en las Universitarias, y de la versión original en latín, sólo hay un ejemplar, en la biblioteca de la Facultad de Filosofía.

Vamos a traducir la parte del libro que explica el funcionamiento del reloj:

DESCRIPCIÓN DEL RELOJ DE PÉNDULO

“AA y BB son dos láminas cuyas esquinas se mantienen unidas por 4 pequeñas columnas. Los ejes de las ruedas principales están insertados en estas láminas, por ambas caras.

La primera rueda es la C, tiene 80 dientes y en su eje está también insertada una rueda más pequeña con picos de hierro para poder sostener una cuerda que está atada a las pesas. Así, la rueda C gira por la fuerza de las pesas, haciendo girar al piñón E, que tiene 8 dientes, junto con la rueda F que está fijada al mismo eje y tiene 48 dientes. Esta última mueve otro piñón, el G, y a la rueda H, cuyos números de dientes son los mismos que la anterior rueda y piñón. Los dientes de la rueda H mueven al piñón I junto con la rueda K, situados en un mismo eje perpendicular al anterior. El piñón tiene 24 dientes y la rueda 15, los cuales tienen forma de diente de sierra. Sobre el centro de la rueda K, está situado un eje horizontal, el LM, que tiene paletas y cuyos extremos están sostenidos por los gnomons NQ y P, los cuales están fijados a la lámina BB. Resaltar que en el gnomon NQ, la parte Q se extiende hacia abajo, tiene un agujero pasante a través del cual pasa el eje LM, y junto con el gnomon inferior R, sostiene el eje anteriormente mencionado, común a la rueda K y al piñón I

En la lámina BB hay un gran agujero por el cual se extiende el eje LM con la paleta correspondiente, el cual es insertado en el gnomon P en un punto, así el movimiento es mucho más libre que si fuera sostenido primero en BB y otra vez al atravesarla. Debe ser extendido lo suficiente para que la varilla S se pueda fijar a él y ésta pueda girar. Este movimiento es recíproco, primero en una dirección y luego en la otra, porque los dientes de la rueda K alternativamente golpean las paletas LL, como se puede apreciar.

La varilla S, cuya parte inferior está doblada, tiene un agujero pasante que rodea a la vara de acero del péndulo, a la cual el cuerpo conductor X está fijado. Esta vara está suspendida desde arriba por una doble cuerda entre 2 finas láminas, de las cuales solo T es visible en el dibujo. Se ha dibujado una figura adyacente [Fig. 1.II] en la cual se muestra la forma y curvatura de cada lámina y la forma de suspender el péndulo”

En el resto de las 17 páginas se habla, entre otras cosas, de las dimensiones que debe tener el péndulo para que marque segundos, para lo que Huygens se



inventó lo que la llamó “hour foot”. Así el péndulo debía tener 3 “pies horarios”, que teniendo en cuenta que estaban en una relación de 881/864 con los pies parisinos, y que un pie parisino era aproximadamente 32.5 cm., se tiene que el péndulo debía medir unos 99,42 cm., como se dijo anteriormente. También se habla del sistema de pesas que impulsan el reloj, de las chapas cicloidales, de cómo trazar una cicloide, de cómo ajustar el reloj en función de las condiciones atmosféricas y los meses incluso días del año, mostrando una tabla de lo que atrasaría el reloj cada día, y también plantea su propuesta de reloj marino para medir longitudes y solucionar el problema técnico que más inquietaba a los gobiernos de la época.

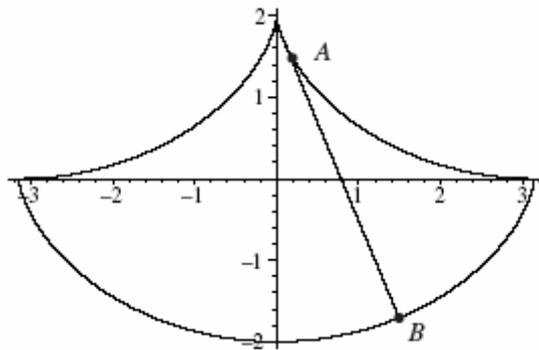
Los fundamentos teóricos para conseguir la isocronía del péndulo los enuncia y demuestra en la 2ª y 3ª parte, así que aprovechemos para recordar dos de estas propiedades:

- Tautocronía de la cicloide: si un punto se desplaza a lo largo de la curva invertida, en caída libre, llegará al punto mínimo de la cicloide en un tiempo que no depende del punto desde el que comenzó a caer.
- Isocronía: movimientos isócronos son aquellos que se producen en tiempos iguales

En la 2ª Parte, entre otras cosas, Huygens cuenta como descubrió el tautocronismo de la cicloide cuando buscaba la expresión para el periodo límite de un péndulo simple:

Al adjuntar el péndulo a los relojes grandes, en su primer modelo, observó que los movimientos curvos de gran extensión que recorría, no siempre tenían la misma duración, no eran isócronos, y comprobó que para oscilaciones muy pequeñas el péndulo simple estaba muy próximo al isocronismo, y en su búsqueda, halló que el valor para este ángulo límite era extremadamente pequeño. Encontró que movimientos curvos de corto recorrido constituyen momentos de una cicloide, y posteriormente demostró la tautocronía de la cicloide, lo que implicaba el movimiento isócrono del péndulo, por tanto, para pequeñas oscilaciones

En la 3ª Parte, se dedica a estudiar la evolvente de diferentes curvas, encontrando otra de las sorprendentes propiedades de la cicloide: la evoluta de una cicloide es la misma cicloide desplazada con respecto a la primera (ver figura):



Evoluta (curva base)

Evolvente

Fig. Evoluta de una cicloide

Además la suma de la longitud del segmento de normal desde la curva hasta el punto de tangencia con la evoluta mas el arco de evoluta que va desde dicho punto de tangencia hasta su vértice, es constante e igual a $4R$.

Huygens aprovechó todas estas propiedades para conseguir la isocronía del péndulo de la siguiente forma: obligó al péndulo a moverse tangente a dos chapas cicloidales, con lo que el extremo describe esa misma cicloide (véanse las dos figuras anteriores) y por tanto una trayectoria tautocrona, lo que se traduce en un movimiento isócrono del mismo, consiguiendo que el péndulo tenga un periodo constante e independiente de la amplitud.

Otra de las propiedades de la cicloide, no usadas en este ingenio, pero que merece ser la pena mencionada, aunque sea brevemente, es la de ser braquistócrona, es decir, la curva de descenso más rápido: si un punto se desplaza en caída libre desde un punto más alto, A, hasta otro más bajo, B, la curva por la que se llega antes al punto B, es la Cicloide.

Este descubrimiento lo planteó también en el siglo XVII Johann Bernouilli, pero la solución al problema la encontraron Newton y Huygens.