

## **2 HISTORIA DE LA HOROLOGÍA**

Vamos a empezar el presente Proyecto realizando un desarrollo cronológico en la medida de lo posible, de la evolución de la horología a lo largo de la historia, y decimos en la medida de lo posible, porque en la antigüedad, cuando las comunicaciones eran deficientes y también por factores políticos y económicos, se llevaban desarrollos tecnológicos separados, incluso paralelos en algunos casos, sin compartir el conocimiento.

En los tiempos antiguos no se tenía otra medida de tiempo que la salida, el cenit y la caída del sol (mañana, mediodía y noche). Pronto se descubrió una medida de tiempo más exacta, se observó, en objetos en posición vertical, que sus sombras se alargaban constantemente o se acortaban y que al mediodía eran más cortas. Se midió la longitud de la sombra del objeto vertical, se la dividió en un número de partes iguales (por ejemplo, pies) y según la longitud de la sombra se midió la duración del día. Los griegos tomaron esta división de los babilonios.

Rápidamente se advirtió que la sombra de un árbol a diferentes horas del día no sólo varía su longitud sino que también su posición, y estas diferentes posiciones de la sombra (o su recorrido del amanecer al ocaso sobre una superficie) dió por resultado la invención de los **relojes de sol**, o en realidad, relojes de sombra, que se llamaba gnomon. Los obeliscos y pirámides fueron los primeros relojes de sol de los babilonios, egipcios, fenicios, etc. A las horas se las esculpía en piedra, la que era recorrida por la sombra del objeto vertical. Pronto a los relojes de sol se los construía más completamente, de tal manera que también podían indicar las estaciones del año, por disminución o aumento de las 12 horas del día.

Roma construyó a los 500 años de su fundación (753 a.C.) un reloj de sol propiamente dicho. Con el tiempo hubo varios en sus muros, y en las ciudades más pequeñas de Italia; después también en las casas de campo de los nobles. Desde el restablecimiento de las ciencias, los científicos e investigadores se dedicaron mucho a mejorar los relojes de sol, como es el caso de Alemania en el siglo X y XI o en el siglo XVI, Oronio Fineus, Peter Apianus, Albrecht Dürero, desarrollan relojes de sol complejos con muchos círculos concéntricos con las horas planetarias, el número de meses del año, el número de días del mes, los signos del zodiaco, etc.



El **Reloj de agua**. Los pueblos asiáticos ya los tenían en tiempos antiguos: Caldeos, egipcios, chinos. El agua escurría de una urna o cubeta por medio de gotas o en otra forma regular ( por esto el instrumento se llama clepsydra = ladrona de agua), el nivel del agua mostraba la hora del día en el recipiente; las horas se leían por un lado. Platón fue el primero que introdujo el reloj de agua en Grecia. Roma obtuvo el primero en el año 157 a. JC., gracias a P.C. Escipión Nasica. Julio César también lo encontró en Inglaterra cuando transportaba allá sus armadas. Se descubrió pronto que el agua que escurría no era proporcional con el tiempo, porque el agua se escurría más lentamente a medida que más bajaba su nivel.



Fig. Clepsydra más antigua que se conoce.1500 a.C.Egipto

Los **relojes de agua astronómicos** se inventaron poco después, en lo que en el cuadrante redondo no sólo se marcaban las horas, sino también los signos del zodiaco y la recta del eclipse. Aún después de la invención del reloj con engranajes se efectuaron muchas mejoras y juegos con los relojes de agua. Galileo, Varignon y Bernoulli estudiaron la forma que debía tener el recipiente para que el agua descendiera regularmente en un tiempo dado. En la primera mitad del siglo XVI, Martinelli (italiano) los mejoró mucho, les cambió de aspecto con adornos arquitectónicos, en especial en los relojes para torres o iglesias. Uno de éstos, por ejemplo, se encuentra en la gran plaza de Venecia: unos moros y los tres Reyes Magos tocaban las horas y saludaban a la Virgen María. En todas las ciudades chinas se encuentran torres, todavía hoy, en las que un reloj de agua da la hora.

J. Stabius inventó el **reloj lunar** en el siglo XVI, en el que las sombras de la luz de la luna dividían las horas nocturnas. Los **relojes de estrellas o astronómicos**

también se inventaron en aquella época, el padre Kircher al igual que Sarrazini los desarrollaron.

Los **relojes de arena** llevan un desarrollo paralelo a los de agua desde sus inicios, hasta el punto que en ellos fueron empleadas las mismas mejoras . En el siglo XVI los relojes de arena de Augsburgo, con soportes, indicaban los minutos. Se trató de instalar el reloj de arena de tal manera que fuese también usado para medidas astronómicas y para la navegación en el mar.

Con el invento de **los relojes con engranajes** disminuyó mucho el uso de los relojes de sol, a los que, de todas maneras, se les mejoró aún más hasta el siglo XVIII. El inventor de los primeros relojes de engranajes es desconocido, pero si se sabe que estaban asociados a la vida eclesial y monacal. Las primeras huellas de relojes de engranajes propiamente dichos, con pesos secos, se remontan al siglo XI. Antes, los relojes se los colocaba en iglesias y monasterios. Los religiosos los cuidaban, los ajustaban y regulaban de día y noche, y así tuvieron ocasión de investigarlos. Los relojes fueron usados por los monjes como despertadores; tocaban a horas determinadas, si antes habían sido programados para ello. Los relojes de campana se fabricaron posteriormente.

En el siglo XIII y XIV estos relojes fueron más conocidos. Algunas torres de iglesias en Italia ya tenían relojes con engranajes, además de campanario.. El arte de la relojería era un oficio libre: cerrajeros, armeros y artesanos tenían derecho de dedicarse a fabricar relojes grandes o pequeños.

Hasta el siglo XV los relojes eran muy costosos, de defectuosa técnica y poco numerosos, sí un reloj se descomponía no había nadie en las cercanías que pudiese arreglarlo y tampoco había tanto comercio o concurrencia como para que los productos hubieran podido ser enviados a lugares lejanos para ser reparados por un hábil artesano. En 1400 la catedral de Sevilla tuvo su primer reloj. En la segunda mitad del siglo XV algunas personas privadas también llegaron a poseer relojes: el famoso astrónomo Walther fue una de las primeras personas privadas que tuvo un reloj con engranaje en su casa, lo usó en 1484 para sus estudios astronómicos, así la astronomía se auxilió de estos medidores de tiempo (los relojes de engranajes de balancín) hasta la mitad del siglo XVIII, aunque sin embargo, dejaban mucho que



desear. Poco a poco fueron de uso público, y no sólo privilegio de monjes, príncipes y adinerados.

Hasta el siglo XVI preocupa poco conocer más exactitudes que las estrictamente fisiológicas; para ello basta y sobra con el instinto, la luz y la sombra. Los relojes mecánicos ostentan una sola aguja, y lo mismo da una hora más o menos. Sin embargo, aportan una serie de datos que actualmente nos parecen superfluos e ingenuos, pero que en el contexto de la época eran bastante más importantes que una seguridad temporal. Así, el mostrador zodiacal resultaba decisivo para elegir los momentos fastos o nefastos; el de fases lunares, para deambular en noches sin faroles; el calendario, para situarse, y un largo etcétera de informaciones útiles para la época.

Este idílico estado de cosas se turba con la absoluta necesidad de las naciones marítimas por calcular la exacta posición de sus naves en la mar oceánica, para lo que es indispensable contar con un reloj preciso e indiferente al oleaje. Es lo que se conoce como ***el problema de la longitud*** ,

Durante los siglos XVII y XVIII, este fue uno de los más grandes problemas planteados a los científicos, el de determinar la longitud en el mar. De la solución de este problema dependía la vida de los marineros y la economía de las naciones europeas, basada, en gran medida, en las relaciones económicas con regiones muy alejadas. La importancia de este problema era tal que se convirtió en objeto de investigación de marinos, astrónomos, matemáticos y sabios en general, y para su solución se organizaron juntas oficiales e incluso las monarquías europeas convocaron concursos dotados con extraordinarios premios en los que participaron los más grandes científicos del momento. La resolución tarda en lograrse y por su importancia le dedicaremos un subapartado más adelante. Es con este panorama cuando se produce el definitivo desarrollo y expansión de **los relojes de engranaje**.

Hasta el siglo XVI, el mecanismo de estos relojes era inexplicable para la mayoría de los sabios. Solamente en el siglo XVII varios de ellos tuvieron la idea de estudiar su mecanismo y formular los principios del mismo. Las más pequeñas fallas del engrane (un engrane equivocado de los dientes con el huso), la falta o no de humedad, el calor o el frío, el aire con menor o mayor presión, etc., afectaban de tal manera al balancín, que las mediciones eran bastante irregulares. Todos los relojes

necesitaban en ese entonces mucho espacio y eran muy incómodos de ser tenidos en las habitaciones.

Los relojes con engranajes se movían con un peso seco. Varias ruedas dentadas, grandes o pequeñas, se articulaban con sus dientes de tal manera, que cuando una rueda giraba por el peso del impulso, todas las demás también giraban, unas más velozmente que otras, la primera rueda la más cercana al motor (en principio un peso, después un resorte y más tarde un motor) giraba con menor velocidad, mientras que la última rueda gira con gran rapidez. Por otra parte, el impulso de la pesa, y el movimiento que producía, terminaban demasiado pronto, si no existía una resistencia mayor que la sola fricción de las ruedas, a fin de que se regulase la velocidad. El funcionamiento regular y acompasado del artificio estará impuesto por un mecanismo de distribución (escape, prensa de huso, échappement en francés o scapement en inglés) y un regulador (foliot, volante, balancín o péndulo), la tarea más difícil para el inventor ya que no podía inspirarse en ningún instrumento existente, era algo completamente nuevo, por lo que a lo largo de los años fueron surgiendo y evolucionando diversos tipos de escape.

Los **Relojes de balancín** son un caso particular de los anteriores: la última rueda, la que gira con más velocidad, debía tener un freno para que no suspendiera totalmente el movimiento, para que no se *escapara* continuamente y en poco tiempo la energía potencial aportada por las pesas o el resorte más adelante. Estos frenos o resistencias tenían que encontrarse en el regulador o en el antes llamado balancín. Constaba de un tubo de hierro al que se le unía un eje o un cilindro delgado, en el que se fijaba una sustancia elástica con un ángulo determinado, sobre el cual se articulaban los dientes de la última rueda, rueda de avance o de escape. El eje estaba colocado de tal manera con respecto a esta rueda, que el balancín se movía en una posición horizontal y la rueda giraba por el impulso alternamente sobre la sustancia elástica del eje. Éste es posiblemente el primer mecanismo de escape, conocido como *Verge scapement* o *escape tipo Verge (verge = borde) con balancín*, de inventor desconocido. Con un freno como éste, que impulsaba y regresaba nuevamente a su posición de origen, el engranaje se movía con poca velocidad; la pesa sólo cedía siguiendo un tiempo rítmico, y tenía al final que ser elevada de nuevo. El engranaje estaba instalado de tal manera, que la rueda daba una revolución cada 12 ó 24 horas.



En la prolongación del perno había un indicador que también giraba cada 12 ó 24 horas una vuelta y así indicaba las horas del día.

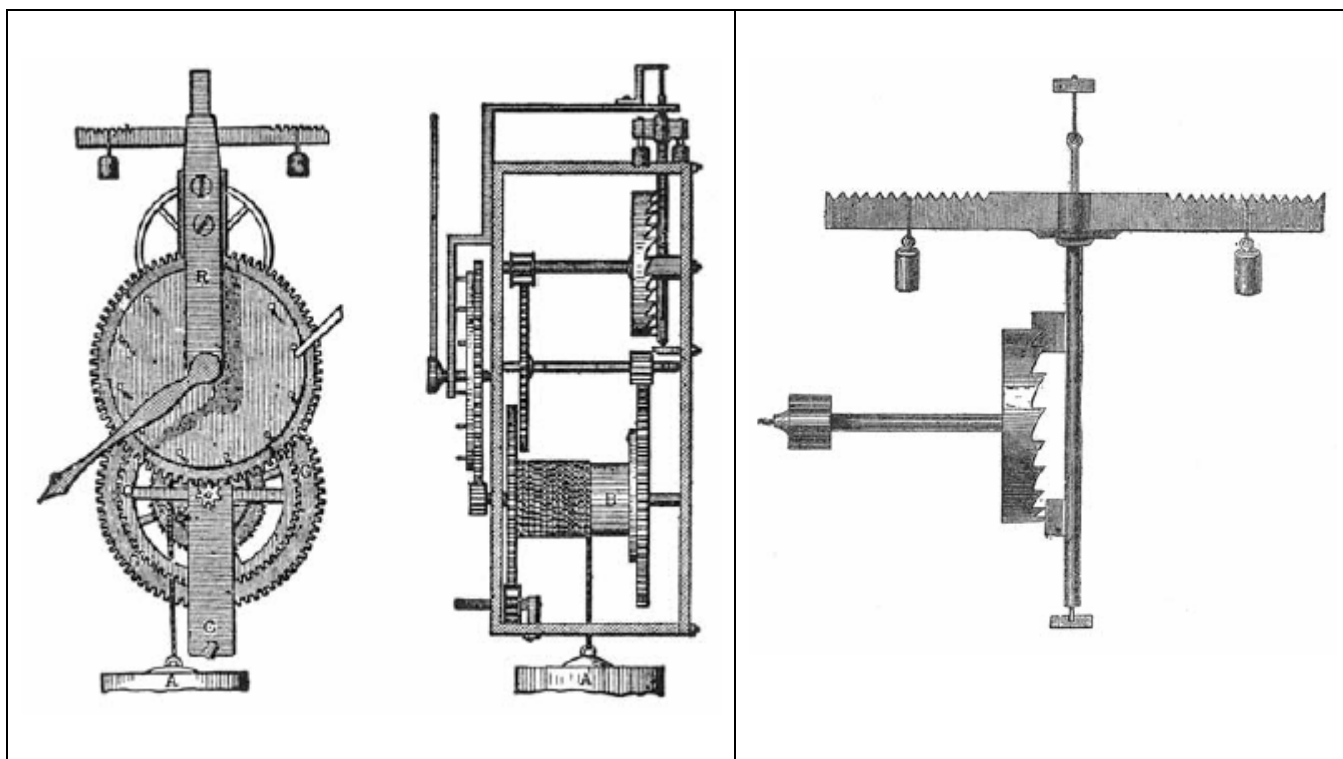


Fig. Reloj de engranajes con Escape Verge y balancín (a la derecha).

**Reloj de bolsillo o de saco.** Para hacer funcionar estas pequeñas ruedas no se podía utilizar una pesa. El mecanismo dependía de un **resorte** de acero enrollado de forma espiral, que estaba unido con el engranaje por un barrilete, y lo impulsaba. Los primeros relojes de bolsillo sólo indicaban las horas; todavía no indicaban segundos y minutos; y la mayoría sólo funcionaba durante 12 horas, debiéndoseles dar cuerda; los que indicaron segundos y minutos aparecieron más tarde con C. Huygens. El nuremburgués Peter Hole posiblemente construyó el primer reloj de bolsillo en 1500, llamados Huevos de Nuremberg . El primer reloj de bolsillo se llevó a Inglaterra en 1577.

Los relojes de bolsillo eran en aquella época muy raros y muy valiosos. En Inglaterra el valor de un reloj de bolsillo era de más de 54 libras esterlinas. Poco

después del invento de esta máquina se apreció mucho poseer relojes muy pequeños por ejemplo en botones, cadenas, etc. Esta preferencia duró hasta el siglo XVII.

Entonces los **grandes relojes con balancines** funcionaban irregularmente y en los **relojes a resortes**, la fuerza del resorte disminuía cuando el reloj se iba a parar: la marcha del reloj también disminuía por esto considerablemente; la irregularidad en la marcha de estos relojes era mucho más notoria que en el caso de los de pesas. Para los relojes de bolsillo se inventó el *caracol*, que se unía al resorte, para que corrigiera el impulso irregular del mismo.

Mientras el problema de la longitud tarda en resolverse y los relojes aún no alcanzan la precisión que se iba requiriendo, Galileo intuye el isocronismo del péndulo y Huygens aplica sus beneficios al regulador, como veremos más detalladamente.

En estos momentos de incesante investigación por motivos políticos y económicos la emigración de uno de estos sabios artesanos podía desequilibrar la delicada balanza tecnológica de un país, es por ello que la mayoría trabajaban para las monarquías u otras instituciones regentes. La guerra de los Treinta Años fue en éste aspecto, así como en otros muchos, la causa de un profundo desequilibrio europeo en la primera mitad del siglo XVII así como lo fue, al final, la revocación del Edicto de Nantes, Huygens por ejemplo, no pudo volver a Francia tras este hecho.

**Christian Huyghens** fue, como se acaba de comentar, el primero en usar el péndulo como regulador para grandes relojes, en 1657, en vez del balancín o foliot (vendría a ser también una escape del tipo Verge), lo que los dotaba de gran precisión. Los relojes empezaban a ser fiables medidores del tiempo. Algunos años más tarde “descubrió” los cronómetros de bolsillo con resorte espiral para regular la marcha.

La idea la tuvo realmente **Galileo**, a finales del siglo XVI, al observar a simple vista el balanceo de una lámpara en la catedral de Pisa, y parecerle el periodo aproximadamente constante. Además descubrió que al alargar el péndulo sus movimientos eran más lentos, y al acortarlo más veloces. Más tarde lo usó como medida de tiempo para los estudios astronómicos que realizaba, pero, como los movimientos del péndulo colgado libremente sin ningún impulso terminaban por pararse con el tiempo, sólo servía para medir cortos espacios de tiempo. Lo usaron de



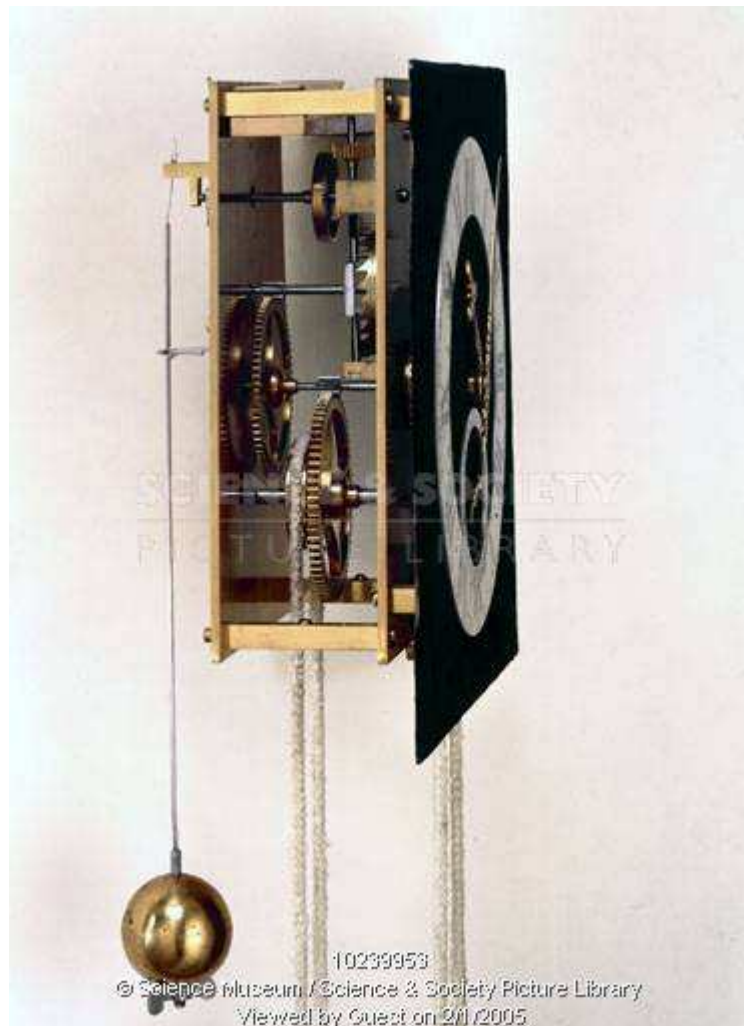
todos modos diversos matemáticos y astrónomos. Murió antes de concluir lo que pudo ser el primer intento de reloj de engranajes regulado por un péndulo, aunque no se está completamente seguro, lo que si es seguro es que fue el primer medidor de tiempo regulado por un péndulo. Posteriormente se hicieron relojes de péndulo a partir del mecanismo que construyó Galileo, como se aprecia en la figura.



***Fig. Legado de Galileo y posterior conversión en reloj de péndulo***

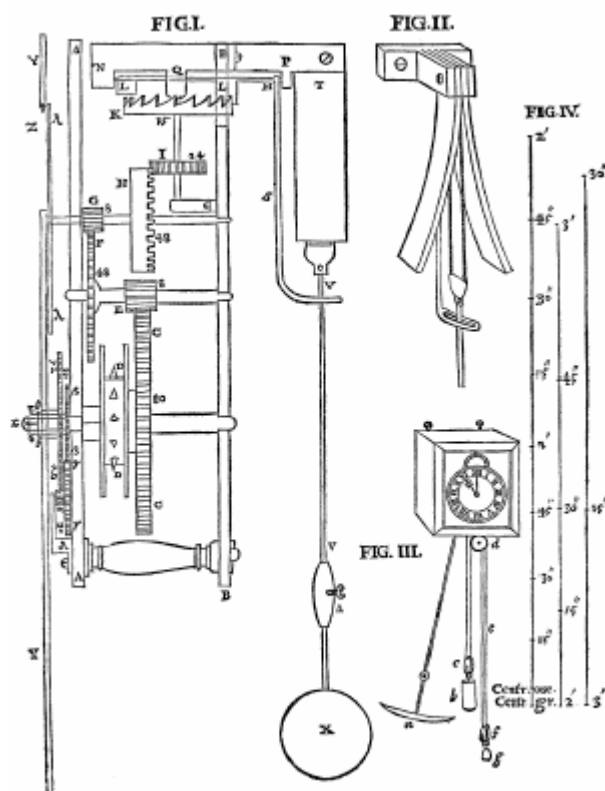
**Huygens** lo consiguió, adjuntó un engranaje, articulándolo con el huso de un reloj de pesas normal, de tal manera que cuando la rueda de avance engranaba con las sustancias elásticas del huso, el péndulo era impulsado hacia un lado, y, después, hacia el contrario, y a consecuencia de la inercia obtenía en cada movimiento nuevo impulso.





**Fig. Reloj de péndulo de Christiaan Huygens**

El primer reloj de péndulo lo diseñó Huygens en Holanda, el 16 de junio de 1657. Lo describió posteriormente con algunas correcciones en su obra **Horologium Oscillatorium** (París, 1673), donde Huygens demuestra algunas y enuncia otras tantas propiedades de la cicloide, entre ellas la tautocronía de dicha curva, propiedad que utilizó para conseguir la isocronía del movimiento del péndulo; también dió una longitud determinada al péndulo para producir un determinado número de movimientos. Así por ejemplo, observó que el péndulo que marcara segundos debía medir 3 pies parisinos y 8 1/2 líneas (aproximadamente 99.42 cm). Cada movimiento era cumplido entonces con ayuda del engranaje en un segundo; en el horario se indicaban las horas, los minutos y segundos. Todo esto se explica con más detalle más adelante.



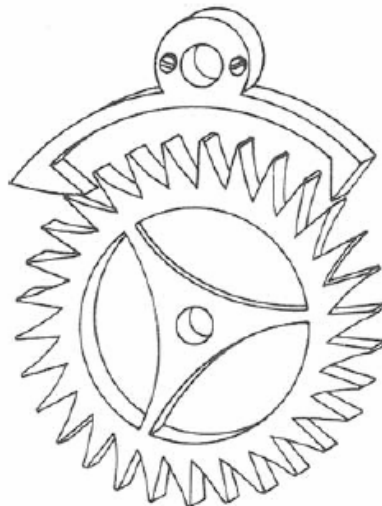
**Fig. Reloj de péndulo de Christiaan Huygens isócrono**

El Reloj de Péndulo de Huygens fue materializado por el relojero, también de la Haya, Salomón Coster, quien patentó el diseño con el consentimiento de su inventor.

Al adjuntar Huygens 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, a diferencia de los movimientos sobre chapas cicloides, además el balancín no impulsaba del todo correctamente, lo que le llevo a idear el modelo con chapas cicloidales.. Poco después del invento de Huygens se descubrió que péndulos de una longitud determinada no producían los mismos movimientos curvos en diferentes lugares. Y que, por la forma esferoide de la tierra, se movían más lentamente en el ecuador y en los polos con más velocidad. Era necesaria una cierta corrección en cada lugar y Bernoulli fue quien lo consiguió. Huygens enseñó a encontrar el centro del movimiento del péndulo por medio de ecuaciones. Los artesanos fijaron su atención especialmente en el perfeccionamiento del mecanismo del trinquete, lo que es la rueda de avance de trinquete (rueda

corona,K) y el cilindro de trinquete (eje LM). F. Berthoud tuvo el mérito de enseñar a construir matemáticamente, en la segunda mitad del siglo XVIII, los dientes de las ruedas del trinquete, y gracias a ésto alcanzaron gran exactitud.

Los relojes posteriores usaron el *escape de Áncora* o *Anchor escapement*, como se muestra en la figura. Este escape introduce una importante mejora, y es que permite que el ángulo de oscilación sea mucho menor que con el escape Verge, lo cual aumenta la precisión. Se cree que lo inventó Hooke, en 1657, aunque es una fecha poco contrastada, sí se sabe que fue inventado poco después que el reloj de péndulo, posiblemente en el mismo año.



**Fig. Escape de Áncora**

Para los movimientos del **reloj de bolsillo**, se tuvo que encontrar un regulador que pudiese corregir los impulsos irregulares; a mediados del siglo XVII se trabajó mucho para encontrarlo. En 1660 Robert Hooke descubrió su ley de la elasticidad y aplicó un resorte a la rueda balance o de escape de un reloj con escape del tipo Verge, aunque, realmente ya se habían empleado resortes en relojes, dicho resorte sustituía a las pesas en su función impulsora y con muy escasa precisión (Nuremberg). Esta idea, la de aplicar un resorte al escape, fue desarrollada por Huygens y a él se atribuye el invento del primer cronómetro de bolsillo (cronómetro por la precisión que alcanza, llegando a marcar segundos).



Huyghens mandó confeccionar en 1674, su primer reloj de bolsillo con resorte espiral, con el famoso relojero Turet de París.

Los relojeros trabajaron denodadamente en relojes de gran tamaño. El relojero inglés Mudge inventó el trinquete libre., etc. En el último tercio del siglo XVIII se fabricó el trinquete a partir de mediciones teóricas, gracias a Lagrange y Callet. Varios matemáticos conocidos a fines del siglo XVII se ocuparon de otras piezas del reloj, y pudieron definir las teóricamente. Tomando en cuenta la profundidad, largo y la redondez de los dientes el danés Römer descubrió que la forma epicicloide es la mejor para las ruedas. Más tarde Euler y Camus lo estudiaron y corroboraron.

Se había observado que la fricción del aire afectaba a las piezas en movimiento, especialmente el péndulo y el balancín, y podía modificar la marcha del reloj. Huygens trató de disminuir dicha fricción, reduciendo lo más posible la superficie sobre la que accionaba. También se observó que los cambios de temperatura influían mucho en el péndulo y en el resorte espiral, ya que el calor expandía las piezas más sensibles y las detenía, mientras que el frío disminuía su tamaño y las aceleraba. Picard fue el primero que observó en 1669 que los relojes de péndulos funcionaban más lentamente en verano que en el invierno, y que esto provenía de los cambios de temperatura. Estas inexactitudes tenían importancia en los cálculos astronómicos.

**George Graham** fue el primero que trató de mejorar el péndulo de tal manera, que los cambios de temperatura no produjeran efecto alguno. Lo trató primero utilizando madera. Después llegó, con suerte, a la idea de suprimir el efecto del calor y el frío en los péndulos aleando diferentes metales de distinto grado de expansión o contracción, neutralizarlos entre sí, logrando que se compensen para dejar inalterado el movimiento. El primer péndulo de compensación de este tipo constaba de un tubo de hierro que contenía una cierta cantidad de mercurio. En 1740 hizo otro péndulo de 5 barras de hierro y cuatro de mercurio. Fue llamado péndulo de parrilla. (Pendule à baquette). Antes de 1738 Graham, Cassini, Short y Ellicot habían tenido ideas de dichos tipos de péndulos. Más tarde se mejoraron en gran medida.

### **El problema de la longitud.**

Durante el siglo XVI se desarrolla y perfecciona la denominada "navegación astronómica". La dependencia comercial que iba adquiriendo Europa de sus colonias

en Asia y América hacían de la navegación oceánica no sólo un bello arte, sino una tecnología imprescindible para las grandes potencias marítimas. Cuando se navegaba por el Mediterráneo, en el que es difícil pasar mucho tiempo sin avistar puntos reconocibles de la costa, cualquier marino experimentado no encontraba problema alguno en arribar su nave a buen puerto. Pero las cosas cambiaban al surcar el océano, donde son muy escasas las señales fijas, y la mayoría de ellas sólo pueden ser percibidas por el observador experimentado que ya ha estado allí anteriormente. El vacío y la homogeneidad del mar, la abrumadora monotonía de la superficie de los océanos, hizo que los marineros buscasen instintivamente orientación en el cielo, en el sol, la luna y las estrellas es por ello que la astronomía se convirtiese en auxiliar del marino, y que la era de los grandes descubrimientos geográficos (Enrique el Navegante, Colón, Elcano) anunciara la era de una nueva astronomía (Copérnico, Kepler, Galileo).

De entre los cuatro elementos clásicos necesarios para el pilotaje de un barco (latitud, longitud, rumbo y distancia), sólo la primera, sin embargo, podía determinarse recurriendo a los astros. Ya en el primer tercio del quinientos se habían propuesto dos procedimientos para obtener la longitud, uno de ellos el empleo de relojes, el otro dependiente de la posición de la Luna. Pero la relojería de la época estaba lejos de poder suministrar máquinas suficientemente exactas y la predicción del complejo movimiento lunar con la puntualidad requerida era algo que por entonces se hallaba fuera del alcance de los astrónomos. De modo que, en el siglo XVI, la cuestión quedó en suspenso, pero no olvidada.

Veamos brevemente, como usar un reloj preciso para medir la longitud, en un fragmento de texto extraído del “Atlas de astronomía”, de Joachim Herrmann:

*“Todos los lugares de la Tierra experimentan, a causa de la rotación del planeta, un día de veinticuatro horas por cada vuelta completa de 360°. La Tierra, a medida que gira, hace que sea mediodía en diferentes lugares sucesivamente. Cuando en Estambul es mediodía, en Londres, hacia el oeste, aun faltan dos horas para que el sol alcance la culminación. Podemos afirmar entonces, que Londres se encuentra a treinta grados de longitud, o a dos horas al oeste de Estambul, lo que hace que estos grados de longitud sean a la vez una medida de tiempo y de espacio. Si se pone en hora un reloj lo suficientemente preciso en Londres y se lleva a Estambul, se podrá saber cuán*



*lejos se ha viajado hacia el este comparando la hora del reloj que se ha llevado con la hora local de Estambul, y también se podrá saber a qué distancia, hacia el éste, está Estambul con respecto a Londres”.*

Hasta el siglo XVIII, pues, se mantiene el problema, sigue sin existir un reloj que se pudiese llevar en un barco y que fuese lo suficientemente preciso, luego el marinero que deseara orientarse entonces tenía que ser un excelente matemático y astrónomo. El modo aceptado de calcular la longitud en el mar era mediante observaciones de la Luna, que requerían instrumentos afinados y cálculos sutiles. Una pequeña equivocación de sólo cinco minutos de arco al observar la Luna se traducían en un error de unos dos grados y medio de longitud, que en el océano podían ser unos 250 kilómetros, más que suficiente para que un barco naufragara en unos traicioneros bancos de arena. Los fatales errores de cálculo podían ser producidos por un instrumento rudimentario, por un error en las tablas náuticas o por el mismo balanceo del barco.

#### Las soluciones fallidas más conocidas:

##### **- Galileo y los satélites de Júpiter.**

Galileo recibió información de un premio de cien mil florines que los Estados Generales de las Provincias Unidas de los Países Bajos habían convocado con objeto de resolver el urgente problema de la longitud. El sabio italiano indicó en 1610 a los Estados Generales que la longitud podía ser determinada en el mar mediante la observación de los cuatro satélites de Júpiter que él había descubierto aquel mismo año.

Este método demostró con el tiempo su utilidad para la topografía, pero nunca fue eficaz para el mar. Galileo recomendó finalmente la creación de un reloj exacto para el mar. Después de descubrir que el péndulo era un sencillo mecanismo natural para medir el tiempo, Galileo pensó que tal vez podría proporcionar un reloj marino exacto. Sólo cuando se encontraba en el retiro forzoso de sus diez últimos años de vida, Galileo exploró esta posibilidad, y la ceguera le impidió entonces acabar el reloj que estaba diseñando.

### **- El reloj marino de Huygens**

Los holandeses, que para aquella época tenían avanzadas hacia el Este, en las costas de Asia, sentían más que nunca la necesidad de definir mejor la longitud y de contar con un reloj marino. Christiaan Huygens lo intentó una y otra vez desde los veintisiete años, cuando concibió su primer reloj de péndulo, pero pronto se dio cuenta, orientado por Hooke, que un péndulo no podía medir el tiempo con precisión en un barco que se balanceaba en las olas y que el mecanismo que habría de regir el funcionamiento de un reloj marino tenía que ser independiente de la fuerza de la gravedad. Nunca lo logró del todo.

---- 0 ----

Ansiosos de una solución por la humillación sufrida por la marina británica en el hundimiento de una flota de barcos en 1707, en unas rocas de las islas Scilly, en la costa sudoeste de Inglaterra, en 1714, el Parlamento de Inglaterra aprobó una ley para proporcionar una pública recompensa a aquella persona o personas que solucionaran *el Problema de la Longitud en el Mar*. Crearon un consejo de la Longitud, que incluía navegantes y sabios, y otorgaba sumas de hasta dos mil libras para apoyar experimentos prometedores y estableció un premio que estipulaba que en un viaje de ida y vuelta a un puerto americano se concederían 10.000 libras al que obtuviese una precisión de un grado, 15.000 si lo era de sólo dos tercios y 20.000 si se conseguía de sólo medio grado.

Era, sin duda, una invitación a los excéntricos. Una de las propuestas fue la de situar por todo el mundo barcos hundidos en emplazamientos conocidos, y enviar señales desde ellos. Se propuso también que se publicara una tabla de mareas universal, para que luego un marinero pudiese, utilizando un barómetro portátil, determinar su posición según el esperado crecimiento y descenso de la marea en aquel lugar. Otro sugirió que se usaran faros para transmitir las necesarias señales de tiempo sobre las nubes. Muchos afirmaron que tenían técnicas que no se atrevían a revelar públicamente por temor a que otro obtuviese el premio. Los manicomios se vieron invadidos de internos que trataban de resolver el problema de la Longitud.



### La solución del problema de la longitud.

Parece ser que el arquitecto italiano Brunelleschi fabricó un reloj impulsado por un resorte alrededor del año 1410. Sin embargo, fue Robert Hook (1635-1703) quien conjeturó en 1658, cuando sólo tenía veintitrés años, que el regulador de un reloj marino podía basarse en el uso de resortes en lugar de la gravedad, para conseguir que un cuerpo vibre en cualquier postura. Esta intuición crucial haría posible la creación de un reloj marino.

Los honores de crear un reloj marino lo suficientemente preciso para ganar el premio convocado por el Consejo de la Longitud inglés, correspondieron a John Harrison (1693-1776), hijo de un carpintero de Yorkshire. En 1728, Harrison presentó los planos de un cronómetro marino controlado por un resorte al famoso fabricante de instrumentos londinense George Graham, consiguiendo ayuda económica de éste para emprender su construcción.

El reloj fue probado en un viaje a Lisboa, en 1736, con resultados bastante aceptables. El premio inglés, sin embargo, estipulaba que las pruebas debían efectuarse en el trayecto de ida y vuelta a las indias occidentales. Harrison construye sus cronómetros números dos y tres, el último de los cuales fue ensayado en un viaje de Portsmouth a Jamaica, a bordo del Deptford, a finales de 1761. Los resultados son buenos, pues el error cometido tras los 81 días de prueba es menor de un tercio de grado. No obstante, el Consejo de la Longitud se resiste a concederle el premio, exigiendo un nuevo viaje de prueba y la exposición, ante un comité de expertos, de los principios de su reloj. El viaje se efectuaría en 1764, a la isla de Barbados, a bordo del Tartar, también con buenos resultados y al año siguiente, Harrison explicó la construcción de su reloj. Pero todavía se le exigió una nueva prueba de su marcha en el Observatorio de Greenwich, a cargo del astrónomo Nevil Maskelyne. Las discrepancias entre el relojero y el astrónomo sobre el procedimiento a seguir para controlar la marcha del reloj retrasarán la entrega del premio hasta 1773.

Estos sólo fueron los primeros pasos de la cronometría de longitudes; era todavía preciso dar el salto desde la construcción de estos primeros y costosos relojes a una producción más masiva, algo que se produciría con rapidez, sobre todo en Inglaterra, aunque los marineros siguieron empleando durante unos cuantos años más el método lunar, lleno de engorrosos cálculos matemáticos, que había mejorado su



precisión, en parte por la disposición de mejores tablas, y en parte por la mejora de los instrumentos de medida.

### **La horología en España**

En la historia de la horología en España a partir del siglo XVI, que es cuando los relojes empiezan a tener rigor científico, destaca el Lombardo Juanelo Turriano, relojero, matemático e ingeniero, que vino a España a instancias de Carlos I. Destacó entre otras muchas cosas por los relojes planetarios, que permitían conocer el lugar de los cuerpos celestes, instrumento que para su fabricación y diseño precisaban a la vez, de mucha sabiduría y gran ingenio.

El obrador de Turriano en Yuste, durante el retiro del Emperador, puede considerarse como el primero de los Talleres Reales.

Felipe II, con ese su bendito afán de orden y constancia, encarga a Juanelo escribir varios libros sobre ingenios y máquinas, pues éste pasó a su servicio como parte importante de la herencia Imperial. Dedicó la última parte de su vida a construir los famosos artificios de Toledo que elevaban el agua del Tajo al Alcázar. Allí murió en 1585.

Es Felipe III quien primero se lanza en la «carrera tecnológica», ofreciendo un cuantioso premio de 6.000 ducados de renta perpetua, 2.000 más de renta vitalicia y otros 1.000 de ayuda de costa para quien fuese capaz de fabricar el reloj que sirviera para determinar la longitud en la mar, vital para una nación oceánica como la nuestra.

En el reinado de Felipe IV son varios los nombramiento de relojero de Cámara, junto con su esposa, Mariana de Austria, fueron grandes coleccionistas, en especial ella, que no se separaba de sus queridos relojes ni en los lienzos de los retratos oficiales.

En el siglo XVII la colección Real se acrecentó con la adquisición de piezas de gran interés que la testamentaría de Carlos II nos describe, algunas de ellas importadas de París, Inglaterra, Alemania y Nápoles.



El advenimiento de la nueva dinastía coincide con el siglo de las luces, tras el minuto, conquistado por el péndulo, se persigue afanosamente el segundo a través de escapes cada vez más libres, la reducción de roces y compensaciones térmicas. Es la gran era de la ciencia relojera, de la técnica arropada por las artes llamadas aplicadas. Del esplendor, la opulencia, calidad y belleza. El buen gusto aliado al «saber vivir», al disfrute de la elegancia en los interiores, finalmente a medida del hombre. Pero el factor básico se debe al sistema gremial, que supedita hasta la Revolución Francesa toda actividad artesana.

Es tal su severidad de criterio y exigencia, que garantiza un nivel de calidad realmente incomprensible hoy en día. Por ejemplo, «La Compañía Inglesa de Relojeros», fundada en 1631 por el Rey Carlos I, se reservaba el derecho a perseguir y destruir por la fuerza aquellas piezas de nivel insuficiente, para proteger al público de personas «que construyan, vendan, compren, transporten o importen, cualquier reloj, cuadrante solar, despertador, caja o estuche de mala o insuficiente calidad...».

Al reloj se le exige ya que sea bueno, bonito y divertido; que el repiqueteo de las horas sea una armonía; las grandes sonerías, un recital; los organillos, una orquesta, y que los autómatas se agiten, bailen, trinen o actúen.

En España, el siglo XVIII comienza con la llegada a la Corte de Felipe V, nieto del Rey de Francia Luís XIV y primer Monarca de la dinastía de Borbón. Con su llegada se produce un florecimiento de las artes decorativas e industriales, así se crea la Real Fábrica de Tapices, perdurable hasta nuestros días, y la Escuela-Fábrica de Relojería de San Bernardino, bajo la dirección del relojero francés Bourgois. Ambas escuelas fueron lugar de aprendizaje de los más renombrados relojeros de la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX.

Por voluntad Real vinieron grandes artífices extranjeros, que, junto a los españoles, prestaron su servicio en la Corte. Destacamos entre ellos: Thomas Hatton, que vino de Londres al servicio de Felipe V, Fernando van Ceulen, de procedencia holandesa y de una familia de gran tradición relojera (Jannes van Ceulen ya estuvo asociado con el famoso Huygens, en La Haya, en 1660), fue Relojero de Cámara en 1740.

Durante el reinado de Fernando VI, y debido a su preocupación e interés por el fomento de la Relojería en España, así como por la manutención de la colección Real, se envían a Suiza, Francia e Inglaterra a varios artifices españoles para que estudien con los mejores maestros.

En 1759 comienza el reinado de Carlos III, el Monarca que impulsó al reformismo nacido del espíritu de la Ilustración e introdujo las ciencias aplicadas y experimentales en nuestro país.

En 1788, Carlos III aprueba la creación de la Real Fábrica de Relojería, dirigida por el presbítero Vicente Sion y con Abrabam Matthey como maestro principal.

Carlos IV fue un gran coleccionista de relojes, con una afición poco corriente. Cuando dejó España en 1808, se ocupó personalmente de su traslado. Poseía millares de pequeño tamaño y centenares de sobremesa. No es de extrañar que François Louis Godon, que estaba a su servicio, fuera comisionado en París con objeto de adquirir las mejores piezas del mercado francés.

Al iniciar su reinado Fernando VII en 1814, aceptó la usual plantilla de cuatro Relojeros de Cámara: Félix Bausac, Camilo Fernández Perea, Francisco Ribera y Manuel de Rivas.

Recorrido el siglo XIX, por lo menos hasta su ecuador, la tecnología relojera alcanza su más alta cúspide a costa de cierta frialdad, que será en adelante irreversible algidez. Al fugaz segundo se le arrancan fracciones inimaginables y las tolerancias se reducen a límites insospechados. Cada rueda es una joya; cada piñón, cada tornillo, una filigrana. Nunca tantos debieron tanto a tan poco, pues a la vuelta de la esquina se halla el reloj al alcance de todos.

La historia del reloj es anacrónica del ingenio humano. El reloj mecánico es el mecanismo puro, la máquina excelsa. Todos los ingenios y artilugios que hicieron realidad la automatización, derivan de este primitivo mecanismo.



## 2.1 Cuadro Resumen de la evolución histórica de la horología

	Hitos a destacar
Tiempos antiguos	<p>Se usa para medir el tiempo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amanecer, cenit y caída del sol</li> <li>• Relojes de Sol o Gnomons</li> <li>• Relojes de arena.</li> <li>• Caldeos, egipcios y chinos ya usan relojes de agua, también se inventan los relojes de agua astronómicos.</li> </ul>
s. X y XI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se mejoran los relojes de sol, sobretodo en Alemania</li> <li>• Primeras relojes de engranajes (monasterios)</li> </ul>
s. XII, XIII y XIV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• s. XIII y XIV, la relojería se convierte en oficio libre y los relojes de engranajes salen de los monasterios.</li> <li>• s. XIV, los monjes ya usan los relojes de engranajes como despertadores.</li> <li>• 1410, Brunelleschi fabrica el primer reloj impulsado por un resorte, aunque con escaso éxito.</li> </ul>
s. XVI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1500, Meter Hole (Nuremberg) construye el primer reloj de bolsillo (impulsado por resorte). Solo marca horas.</li> <li>• Se siguen desarrollando los relojes de sol, de agua y de arena, llegando a ser muy complejos .</li> <li>• Comienza el interés por la exactitud en la medida del tiempo, motivado por avances estratégicos → se plantea <i>El Problema de la Longitud</i></li> <li>• Como consecuencia de lo anterior: Se inventa el reloj lunar y los de estrellas o astronómicos.</li> <li>• A finales de siglo, Galileo intuye el isocronismo del péndulo.</li> </ul>
s. XVII	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los sabios se dedican a estudiar los relojes de engranajes.</li> <li>• en 1657 Huygens aplica el péndulo como regulador al reloj de engranajes.</li> <li>• 1657 aprox., Hooke inventa el Escape de Áncora.</li> <li>• 1660, Hooke descubre la Ley de la Elasticidad.</li> <li>• 1674, Hooke-Huygens, primer cronómetro de bolsillo con resorte en el escape.</li> <li>• Múltiples intentos por resolver <i>El problema de la Longitud</i></li> </ul>

Hitos a destacar	
s. XVIII	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque en desuso, se mejoró aún más el reloj de sol.</li> <li>• Relojeros y matemáticos se dedican al perfeccionamiento de los grandes relojes: perfiles de dientes, péndulo de compensación de Graham.</li> <li>• 1773, John Harrison resuelve oficialmente <i>el Problema de la Longitud</i></li> </ul>
s. XIX	La tecnología relojera llega a lo más alto a costa de cierta frialdad. Se alcanza una precisión inimaginable años atrás

Se ha resaltado el siglo XVII en el cuadro, porque es en él cuando se produce el punto de inflexión hacia la horología de precisión, aunque sea el próximo siglo cuando se resuelva el problema de la longitud.