

hasta los segundos. Dicen que Walther de Nuremberg al concluir el siglo XV, fué el primero que usó el reloj en una observación astronómica: ochenta años despues Tycho-Brahe tenia varios destinados á este objeto.

¿Cómo podian servir exactamente siendo tan grandes, y sufriendo enormes frotaciones? Pero ya se habia dirigido á ellos la atencion de los hombres instruidos, y se podia esperar que llegarían á su último refinamiento. El principal adelanto fué debido á Galileo que descubrió el isocronismo del péndulo, esto es, que un cuerpo grave suspendido y moviéndose de un lado á otro, produce oscilaciones de un tiempo igual. Se dice que esta idea le fué sugerida al ver en la iglesia que oscilaban las lámparas, y por consiguiente usó la péndula simplemente para contar de este modo los minutos y segundos en los experimentos que hacia sobre la caída de los cuerpos, y tal vez en alguna observacion astronómica. Riccioli, Merseune, Hevelius y otros le imitaron, porque, en verdad las oscilaciones de la péndola, en arcos de poca estension, daban las subdivisiones del tiempo mucho mas exactas que los relojes de volante. El mismo Galileo pensó aplicar á la péndola un sistema de ruedas que señalase, á comodidad del observador, los intervalos iguales notados por el movimiento de la máquina; pero no llegó á la idea de sustituir la péndola al volante.

Este descubrimiento fué debido á Huygens. El volante estaba destinado á contener el movimiento impreso á las ruedas por el peso ó por el muelle. Los dientes de las ruedas de encuentro, chocando uno despues de otro en las dos paletas del eje del volante, lo impulsaban adelante y atrás, obligadas de este modo á detenerse por tiempos sensiblemente iguales que regulaban el movimiento; pero no teniendo el volante en sí mismo ningun principio de isocronismo, y movido como estaba por el mismo motor del reloj, no se podia esperar una perfecta regularidad. Si en su lugar hubiera existido en el regulador un principio de movimiento oscilatorio é isócrono, las ruedas hubieran secunda-

do la fuerza motriz solamente en cada una de las vibraciones iguales del regulador, y este habria recibido por su fuerza únicamente el impulso necesario para mantener su propio movimiento.

Esto fué lo que consiguió Huygens sustituyendo al volante la péndola y uniendo al eje de suspension de esta las paletas que llevaba el eje del primero. Las oscilaciones de la péndola reguladora decrecen en duracion así como en el arco que describen; pero por medio del mecanismo de escape recibia aquella el ligero impulso necesario á volverle la velocidad que perdia; y de este modo su movimiento se perpetuó mientras que la fuerza motriz le prestó este necesario movimiento.

En 1657 Huygens presentó el primer reloj de péndola á los Estados de Holanda, y al año siguiente publicó su aplicacion, que fué el primer tratado de esta materia; pero no paró aquí. Las oscilaciones de la péndola comun, solo son isócronas en cuanto los arcos descritos son estremadamente pequeños ó iguales entre sí; pero el escape que entonces se conocia no daba las oscilaciones pequeñas; y aunque la reaccion del motor sobre el volante tendiese á mantener la igualdad apetecida, podia alterarse por muchas causas y se perdia enteramente cuando estaba sobre una embarcacion.

Huygens que habia comprendido cuan interesante era conocer las longitudes en el mar, trabajó para obtener una péndola exacta, á pesar del balanceo de la nave. Por medio de la geometría llegó á conocer una curva, la *cicloide*, sobre la que un cuerpo pesado oscila sienpre en tiempos iguales, cualesquiera que sean los arcos descritos. Uniendo entonces la lógica del hombre científico á la habilidad del artista, formó un péndulo cuya lenteja describia líneas cicloidales. Sin embargo, estuvo muy lejos de la perfección, como tambien en el péndulo *giratorio* ideado para el mismo objeto, y uno y otro fueron abandonados cuando se introdujo el volante de espiral en los relojes de pared, y un nuevo escape que dejaba hacer pequeñas oscilaciones.

Entonces Huygens se dedicó a aplicar también su perfeccionamiento á los relojes de bolsillo, y en 1674 se propuso aplicar al volante un *muelle espiral*. Para dar al volante, aislado de las ruedas, el movimiento oscilatorio, Huygens unió el eje á la estremidad interior de una espiral de acero, sujetando la otra estremidad. Si se inclina el volante, la elasticidad del espiral le hace hacer oscilaciones isócronas, llenando el oficio que la lenteja, ó peso en la péndola; y á cada vibración del volante el escape deja libre la acción del motor del reloj.

El Dr. Rob Hook inglés y el abate de Hautefeuille francés, disputaron á Huygens esta invención hasta en los tribunales; y verdaderamente Hook á principio del año 1660 propuso que se sustituyese al peso de la péndola un pequeño muelle *recto* cerca del volante; pero las condiciones apetecidas solo se obtuvieron con la espiral, y con ella se construyó por Thuret en Paris, año 1674 el primer reloj bajo la dirección de Huygens.

Poco despues se descubrió la repetición, que si no adelantó en la exactitud, aumentó la comodidad. Los aparatos que antes se usaban en los relojes de agua ó de pesas, producían un sonido en cada hora, pero no se podia conseguir que diesen las horas cuando se queria, lo que se obtuvo con el mecanismo de la repetición, inventado por el inglés Barlow en 1676, para los relojes fijos, y diez años despues se aplicó por el mismo y por Quare á los relojes portátiles.

Ya nada quedaba que inventar, pero faltaba mucho que perfeccionar para obtener la indicación mas precisa cual requerían la astronomía y la geografía. La primera tenia necesidad de ello para observar la posición de ciertos astros en un momento preciso, ó medir el intervalo entre dos fenómenos ó la duración de uno solo; y algunas veces exige una perfecta concordancia entre dos relojes distantes. La geografía para determinar las longitudes en el mar, suele observar la hora precisa del lugar donde se encuentra la nave, por medio de métodos astronómicos, y compararla con

la indicada en el mismo instante bajo el meridiano á que se quiere referir la longitud: la diferencia entre estas dos horas reducida á grados geográficos y fracciones de grado, da la longitud buscada. Esta operación es imposible, cuando no se tiene á bordo un reloj que no se altere por el movimiento. Por ello los gobiernos de los países marítimos animaron á inventar la construcción de relojes marítimos ó cronómetros. En Inglaterra y despues en Francia se confió este cuidado á la sección de longitudes, y el parlamento inglés ofreció 20,000 libras esterlinas (100,000 ps.) al que inventase uno que en cuarenta y dos dias no variase mas de dos minutos, lo que en este intervalo podia presentar las longitudes sin mas alteración que medio grado.

El reloj astronómico fijo podia ponerse en movimiento por el peso, y regularse por la péndola, y por consiguiente se pensó en refinar su movimiento. Como las oscilaciones de la péndola ordinaria no son bastante isócronas en arcos grandes, fué necesario recurrir á la péndola cicloidal de Huygens, mientras no se encontró otro escape que permitiese á la péndola pequeños movimientos. Tal fué el escape de áncora descubierto en 1680 por Clement relojero inglés, y perfeccionado treinta años despues por Graham, el cual evitando el rechazo que dá la rueda de escape á cada oscilación de la péndola, obtuvo el escape de descanso en el reloj de péndola, como ya se tenia en el de volante.

Los franceses Le Roy y Le Paute, variaron los escapes haciéndolos oportunos para los relojes astronómicos; pero Berthoud adelantó mucho mas. El movimiento del regulador está sostenido por la acción producida sobre él por el motor principal; pero si esta acción se continua por medio de una frotación, mientras que el escape descansa, las oscilaciones podrán llegar á ser irregulares. Este inconveniente se remedió en parte con el escape *libre*, en el que el regulador recibe solamente de la fuerza motriz un impulso instantáneo. Tal fué el paso dado por Berthoud. Pero la absoluta independencia entre el regulador y la fuerza motriz

se debió al escape de *remonta*, ó sea de fuerza constante, por cuyo medio, entre el sistema del regulador y la última rueda de la máquina se establece un motor particular que produce la uniformidad por medio de un impulso constante de su género, cuya acción se renueva pero no modifica por la fuerza mótriz.

Quedaba que hacer otra perfeccion en el reloj astronómico, esto es, la *compensacion*. Hasta los niños saben que los cuerpos, y especialmente los metales, se dilatan ó encogen á medida del calor. Alargándose la péndola en el gran calor, retarda su movimiento porque describe círculos mas estensos. Los físicos emplearon su talento en calcular las varias dilataciones que sufren los diferentes metales para combinarlos en la construccion de péndolas, de modo, que de su dilatacion en sentido opuesto se obtuviese la estabilidad del centro de oscilacion del instrumento. La naturaleza de estas nociones no nos permite entrar en particularidades sobre las tentativas hechas por Graham, Harrisson, Cassini, Le Roy, Berthoud, y sobre el modo con que al fin se obtuvo el *aparato de compensacion*.

Ahora veamos las mejoras que tuvo el reloj de mar, que produjeron las de los relojes usuales. En ruedas tan delicadas, impulsadas por motores menos vigorosos, la frotacion fácilmente producía alteraciones; y para evitar este inconveniente el ginebrino Nicolás Fatio de Duillier, inventó en Lóndres en 1700 el medio de introducir el eje del volante en un rubí; método que muy pronto adoptó el relojero francés De Bauffre, estendiéndose luego el uso de piedras duras á otras partes del movimiento mas sujetas á frotaciones.

La perfeccion del escape interesaba tanto en el reloj marino, como en la péndola astronómica; y á fines del siglo XVII parece que el inglés Tompion ya evitó el rechazo. Despues De Bauffre, empleó diamantes para el nuevo escape, y por último Graham introdujo un escape de *descanso*, que es el de *cilindro*, que se difundió bastante, pero no era aplicable á los relojes de mar. A estos se aplicaron en su

lugar el escape libre y el de fuerza constante, variados por Berthoud y Breguet en Francia, por Mudge y Arnold en Inglaterra, y por Pausait y Tavan en Ginebra.

Hasta el reloj de bolsillo está sujeto á las variaciones de temperatura, ya porque se altera la dimension del volante, ya porque varia la elasticidad del espiral, de modo que con el calor se atrasa. Tambien llegó el ingenio á corregir esta falta especialmente por medio de láminas de dos metales, diversamente dilatables. Harrisson fué el primero que usó este mecanismo, restringiendo ó dilatando el espiral, y aproximando ó separando del centro de suspension el cuerpo oscilante, segun la temperatura, de modo que esta influencia corrigiese el desórden que tendia á causar en el movimiento del reloj.

A los relojes usuales de bolsillo se aplicaron entre estos perfeccionamientos, todos aquellos de que eran susceptibles. El danés Turgensen introdujo el acero en las ruedas de escape: Lepine disminuyó el volumen del reloj, quitando la pirámide y sustituyéndola con el isocromismo de la espiral y con la perfeccion del escape. La pirámide fué invencion de un ingenioso mecánico, el suprimirla obra de un talento perfecto,

Breguet, descendiente de uno de los muchos franceses emigrados á consecuencia de la revocacion del edicto de Nantes y que habitaba en Neufchatel, pais muy nombrado por los relojes, en tiempo de la Revolucion elevó este arte á un grado indecible de perfeccion. Ninguna parte de la relojería dejó sin mejorarla. Tan delicadísimo como ingenioso es su escape libre de fuerza; solamente inventó un escape *natural*, en el que no hay muelle ni el aceite es necesario: todavía es mas perfecto su doble escape en el que la precision de los contactos hace inútil el aceite, y la pérdida de fuerza ocasionada por la péndola se compensa á cada oscilacion.

Para remediar los sacudimientos que continuamente experimentan los cronómetros portátiles, cierra toda la máquina del escape del muelle en una cajita circular, que dá una vuelta entera cada dos minutos, volviendo con esto iguales en un breve tiempo todas las desigualdades de posición, y compensándolas una con otra. Atendió hasta el caso en que cayesen, inventando un paracaídas. Un inglés llevó encima uno de estos cronómetros en largos viajes que hizo á caballo, del modo furioso que acostumbra aquella gente, y en diez y seis meses no encontró un atraso diario mayor de segundo y medio, esto es, de 57,600^a parte de una revolución diurna.

Añadió también la elegancia á cada trabajo particular de relojería y la compensación del volante y el hacer de rubí el cilindro de escape, hicieron que consiguiese lo que los ingleses habían pedido, ofreciendo un fuerte premio, esto es, un cronómetro que no variase ni un segundo al día. Breguet, murió en París en 1,823.

No debemos pasar en silencio los relojes de ecuación, que á cada momento dan la diferencia entre el tiempo medio y el verdadero; porque los días *verdaderos* son diferentes unos de otros, esto es, crecen ó disminuyen; y de aquí nace que el medio día es siempre un poco antes ó un poco después que el día antecedente ó el sucesivo, excepto cuatro días del año que son los dos solsticios y los dos equinoccios. El que señala el meridiano se llama tiempo *verdadero*, y *medio* el indicado por relojes; y á las veces se diferencian uno de otro hasta catorce minutos. La generalidad se vale del tiempo verdadero, corrigiendo los relojes según el sol al medio día: los astrónomos se valen del *medio*, y para ello se forman tablas de ecuaciones, con las cuales corrigen día por día la diferencia del medio día verdadero.

Con objeto de tener con más precisión el tiempo verdadero, se perfeccionaron también las meridianas, elevando mucho el estilo ó el agujero; y en la Catedral de Milán está puesto en la bóveda, y envía el espectro ó luz sobre el

pavimento. Son admiradas las de Bianchini en los cartujos de Roma, y la de San Sulpicio de París de ochenta pies de altura; pero más que todas la de Florencia colocada en 1467, por Pablo Toscanelli, y reconstruida después por el padre Jimenez, á instancia de La Condamine. La lámina metálica que dá paso al sol, tiene la altura de 267 pies, 6 pulgadas 9 líneas $\frac{1}{10}$ de París sobre el pavimento de la iglesia; y 277 pies, cuatro pulgadas 9 líneas y $\frac{68}{100}$ sobre el mármol solsticial, donde se hacen las observaciones de la oblicuidad de la eclíptica y de los movimientos aparentes del sol.

Si en vez de una recta se curva la línea meridiana algún segundo del zodiaco, dándola la forma de un 8 mal figurado, podrá tenerse también el tiempo medio.

La industria se dirige ahora á hacer que los relojes se monten por sí mismos, lo que daría el movimiento continuo; y se ha visto algún ensayo sobre ello, en el que el reloj se daba cuerda por el simple movimiento de la persona que lo llevaba. No debemos omitir un reloj construido en nuestros días y en Italia por Zamboni con un motor diferente, esto es, la pila en seco: un cuerpo ligero suspendido entre los dos polos de esta pila atraída y rechazada continuamente por la electricidad, produce un movimiento que se perpetúa hasta que se consume la fuerza motriz.

FIN DE LA PRIMERA PARTE.