

miento se acorta, se detiene en la posición marcada en el grabado, y al principio de la oscilación opuesta va á dar contra una de las muescas. Si no pudiera entonces bajarse el fiador, el péndulo se pararía, pero la placa de muelle en que está aquél cede, fórmase el contacto con el tornillo á que está empalmado el otro hilo de la pila y se cierra el circuito. Animado ya el electro-imán, atrae la armadura del péndulo, y esta atracción ocasiona el impulso necesario para mantener el movimiento del péndulo. A la oscilación siguiente, todo vuelve al orden primitivo, y sólo entra en juego la electricidad cuando se necesita un nuevo impulso.

El tiempo que transcurre entre dos impulsos sucesivos depende de la fuerza de la pila, y á esto es á lo que M. Hipp llama *duración de impulso*, que puede ser de muchos minutos, ó tan sólo de muchos segundos. Con un elemento de pila Leclanché, un regulador de este sistema puede funcionar muchos meses sin interrupción.

Lleguemos ahora al mecanismo distribuidor que permite transmitir la hora del regulador á cualquier número de contadores cronométricos enlazados eléctricamente con él y con la pila.

La rueda dentada R, que tiene sesenta dientes y que marca un segundo á cada impulso del péndulo, lleva en su eje una espiga metálica *b* que da una vuelta por minuto como la rueda, y que en un momento dado toca una, dos ó muchas paletas enlazadas en C C con los hilos de línea. De este modo pasa una corriente por minuto por cada contador, cuyo mecanismo marcha por efecto de ella. Como este mecanismo, que no describimos aquí, requiere un cambio periódico de la dirección de la corriente, el regulador lleva un invertidor, cuyo detalle está representado á la derecha de la figura. Una rueda R', movida por un piñón de la rueda dentada, lleva en sus rayos unas clavijas que se apoyan en los brazos de una palanca de horquilla *f* y la hacen oscilar alrededor de su punto de apoyo. Dos placas de muelle, fijadas en el otro brazo de la palanca, oscilan de este modo alrededor de una posición media, y una tras otra van á formar el contacto con el polo positivo ó con el negativo de la pila.

Los relojes eléctricos del sistema Hipp funcionan con regularidad en muchas ciudades de Suiza.

Nos limitaremos á citar estos ejemplos de relojería eléctrica, que bastan para dar una idea del modo cómo se ha podido utilizar la fuerza de las corrientes para suplir la de los muelles de los relojes comunes. En la Exposición internacional de Electricidad había muchos ejemplares de este arte nuevo; lo péndulos y relojes eléctricos, los contadores electro-cronométricos, los despertadores, etc., abundaban en las galerías del palacio. Pero todos estos sistemas, que en realidad no ofrecían novedad alguna, quedaban desde el punto de vista práctico muy por debajo de los diferentes sistemas adoptados por la ciudad de París para la distribución y unificación de la hora en sus relojes públicos. Entremos en algunos detalles acerca de este punto.

III

DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA HORA

Aunque se haya dado al problema de la relojería eléctrica propiamente dicha un gran número de soluciones ingeniosas, muchas de las cuales honran á los que las han descubierto, no se ha generalizado el uso de esta clase de relojes. Acabamos de citar algunos ejemplos de su aplicación á la distribución pública de la hora en las ciudades;

pero este sistema se ha desechado hoy casi en todas partes. Esto consiste en la dificultad de mantener siempre las pilas y las comunicaciones eléctricas en el conveniente estado de vigilancia incesante, cuya necesidad quita precisamente á los sistemas su principal ventaja.

El uso de los contadores electro-cronométricos, haciendo á todos los indicadores solidarios de la regularidad de marcha de un reloj-tipo, tiene, al lado de esta preciosa propiedad, el inconveniente, bastante grave por cierto, de que también los hace solidarios de todas las paradas ó errores del mecanismo central. Como dice con razón M. Niaudet, "basta que el regulador se pare ó que se rompa un elemento de pila, ó que el hilo se interrumpa en un punto, para que se paralice todo el sistema. Basta una persona torpe ó mal intencionada para privar de la hora ó inducir á error á muchas personas. Puedense encontrar algunos paliativos para estos defectos, pero por más que se haga, siempre subsiste el inconveniente."

Así pues, ha habido que plantear de otro modo la cuestión de la distribución eléctrica de la hora en las grandes aglomeraciones urbanas. Se ha apelado á la electricidad, pero no para poner en movimiento mecanismos especiales, ni para corregir de segundo en segundo ó de minuto en minuto todos los relojes públicos por medio de una corriente emanada de un regulador central. En el nuevo sistema que funciona hoy con completo éxito en París, todos los re-

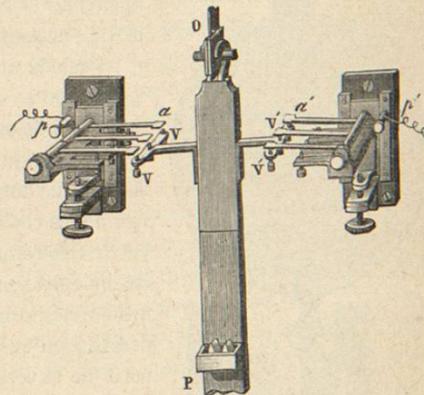


Fig. 429.—Regulador del reloj director

lojes que han de marchar sincrónicamente tienen sus movimientos independientes. El cometido de la corriente eléctrica partida del regulador tipo, colocado en el Observatorio, consiste en conservar el sincronismo entre el péndulo de este reloj y el movimiento de los péndulos de cierto número de reguladores distribuidos en los principales barrios de la ciudad y que sirven de *centros horarios* para todos los relojes públicos de cada uno de dichos barrios.

Estos reguladores están enlazados á su vez eléctricamente con los citados relojes, y les envían de hora en hora, por ejemplo, una corriente cuya duración basta para corregir sus adelantos ó retrasos y ponerlos en tal momento á la hora exacta del Observatorio, de suerte que la diferencia, en los intervalos que median entre estas *puestas en hora*, no puede exceder nunca del error propio del mecanismo particular de cada reloj para una duración de una hora á lo sumo.

Entremos en algunos detalles que harán comprender mejor cómo funciona este organismo. A este fin nos servirá de guía el dictamen sobre el servicio de los relojes en 1880, redactado por el contralmirante Mouchez, director del Observatorio.

El péndulo encargado de dar el segundo de tiempo medio es un péndulo Berthoud; diariamente lo revisa un astrónomo de servicio, ya haciendo al efecto observaciones astronómicas, ya, en caso de mal tiempo, comparando sus indicaciones con las del péndulo de los sótanos, "cuya gran precisión y regularidad jamás se han desmentido." Hácese las correcciones de este péndulo director agregando ó quitando pequeñas pesas

que se ven (fig. 429) en una pieza puesta á cada lado del balancín. Agregando una pesa, se adelanta el regulador, y quitándola se le atrasa.

En la misma pieza que el reloj-tipo hay otros dos, enlazados eléctricamente con aquél de modo que marcan los segundos sincrónicamente. Estos dos reguladores son las cabezas de línea de dos circuitos urbanos, uno el *circuito Oeste* y otro el *circuito Este*, cada uno de los cuales comprende cierto número de reguladores ó de centros horarios.

En un sótano del Observatorio hay tres pilas, una de ellas conducida por el péndulo-director y que está adscrita á los dos reguladores inmediatos así como á un tercer péndulo instalado en el cuarto del portero; es el circuito local del Observatorio. Las otras dos pilas lo están, una al circuito Oeste y otra al Este, con los dos reguladores de que acabamos de hablar por cabezas de línea.

Veamos ahora, con el auxilio de las figuras 429 y 430, cómo se produce el sincronismo en el movimiento de los péndulos.

El balancín del reloj-tipo está provisto en su parte superior de dos varillas terminadas en forma de T, cada una de las cuales lleva en el travesaño de la T las puntas de tres tornillos V V', correspondientes á tres palancas independientes *a a'* que pueden girar alrededor del mismo eje horizontal. Cuando el péndulo se dirige á la derecha en su movimiento de oscilación á una y otra parte de la vertical, las puntas de los tornillos de este lado se levantan y tocan los extremos de las palancas de la derecha; cuando se dirige á la izquierda, cesa el contacto á la derecha y se forma con las palancas de la izquierda. Mientras dura uno ú otro de estos contactos, la corriente de la pila local pasa por la suspensión del péndulo, por la varilla transversal y por las tres palancas que la conducen á la línea, ora al circuito Oeste, ora al Este.

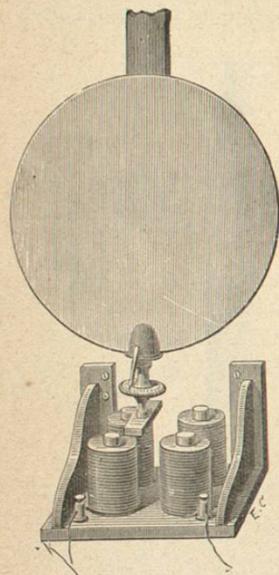


Fig. 430.—Regulador de un centro horario

Acabamos de ver cómo, á cada oscilación, el péndulo director envía una corriente á los reguladores ó centros horarios de los dos circuitos urbanos. Veamos ahora cómo se utiliza esta corriente para corregir la marcha de los reguladores. El balancín de éstos lleva en su extremo inferior una pieza de hierro dulce que á cada oscilación va á parar delante de los polos de un electro-imán que forma parte del circuito de la línea. La corriente emitida cada segundo por el péndulo-director anima este electro-imán en el momento en que el balancín se pone delante de él; la pieza de hierro dulce es atraída, prolongase la duración de la oscilación que sin esto sería demasiado corta, y se establece y conserva el sincronismo con el movimiento del péndulo del reloj del Observatorio.

Como se ve, esta primera parte del servicio asegura la concordancia perfecta de los diez y seis reguladores de los dos circuitos con la hora del Observatorio. Consultando las esferas de estos centros horarios, el público puede arreglar sus relojes al tiempo medio, hasta con un segundo de diferencia. Pero la distribución de la hora no se limita aquí. Cada centro horario (y esta es la razón de su denominación) forma á su vez una nueva red de distribución que enlaza telegráficamente su regulador con todos los relo-

jes vecinos. Pero el sistema no consiste ya en enviar cada hora una corriente que ponga en hora las agujas de las esferas de estos relojes. Los sistemas de *puestas en hora* empleados en las diferentes redes no son idénticos: se ha querido permitir á los principales relojeros de París, inventores de procedimientos particulares, que ensayaran sus respectivos sistemas. Se podrá formar una idea del modo cómo funciona esta segunda parte del servicio viendo cómo está organizado en el centro horario más importante, cual es el instalado en la Prefectura del Sena. La red irradia á las veinte alcaldías de París, que están en comunicación telegráfica con la Prefectura.

“De hora en hora, dice M. Niaudet, se interceptan por espacio de dos minutos los hilos de esta red para poner el reloj de cada alcaldía de acuerdo con el regulador de la Casa de la Ciudad (Tullerías). Al lado de este regulador hay veinte *relais* á los cuales envía cada hora una corriente cuyo efecto es el de interceptar la línea telegráfica, emisión que se efectúa cien segundos antes de la hora. Como unos treinta segundos antes de la hora, el mismo regulador lanza á las líneas la corriente de una segunda pila; la interrumpe á la hora exacta, y por consiguiente la mantiene continua por espacio de treinta segundos. Por último, diez segundos después de la hora, los *relais* vuelven, á causa de la supresión de la primera corriente, á su posición normal, ó lo que es lo mismo, las líneas vuelven á su servicio teleográfico. Por otra parte, sesenta y cinco segundos antes de la hora, cada reloj de alcaldía hace su conmutación, es decir, corta la línea telegráfica y la pone con el electro-imán del reloj. Y cinco segundos después de la hora, hace la conmutación inversa y restituye la línea al telégrafo, según se ve, cinco segundos antes de que el centro horario de las Tullerías la restituya á su vez.

“Como los relojes se arreglan de este modo cada hora, sus diferencias son insignificantes y las operaciones de interrupción de línea y emisiones de corrientes se suceden casi como queda dicho. Si á pesar de esto se para ó desarregla de pronto un reloj, se emite la corriente del centro horario al telégrafo de la alcaldía treinta segundos seguidos, hecho anormal que anuncia al punto al telegrafista que el reloj se ha desarreglado, con lo cual puede dar las órdenes para su remedio.”

En resumen, el sistema adoptado por la ciudad de París para la distribución y la unificación eléctrica de la hora en los relojes públicos de la gran ciudad, reúne la doble ventaja de la solidaridad de sus diferentes partes y de su independencia. Por lo demás, la regularidad y continuidad del servicio están aseguradas mediante las disposiciones siguientes. El Observatorio tiene á su disposición un péndulo de gran precisión, construido por M. Fenón, para comprobar y suplir en caso necesario al péndulo de los sótanos. Asimismo dispone de un conmutador con el cual se puede formar uno solo de los dos circuitos, intercalando en ellos no solamente las dos pilas reunidas, sino también los contactos de segundo de alguno de los péndulos cabezas de línea, de suerte que uno de ellos sirva de guía á todos los relojes de los dos circuitos urbanos, y se pueda disponer del otro para limpiarlo ó componerlo.

IV

CRONÓGRAFOS Y CRONOSCOPIOS

Se utiliza también la propiedad que tiene la electricidad de propagarse casi instantáneamente para medir con exactitud intervalos de tiempo muy cortos, por ejemplo el que invierten los proyectiles en recorrer la distancia entre la boca del arma y el blan-

co. Dase el nombre de *cronógrafos* ó *cronoscopios* á los aparatos ideados con este objeto, reservándose más especialmente la primera de estas denominaciones para los aparatos que inscriben esta duración y conservan su huella estampada. El nombre de Wheatstone figura también en los principios de esta ingeniosa aplicación de la electricidad, y el cronoscopio que este ilustre físico ideó en 1840 estaba construído del modo siguiente:

En la estación de tiro, en A, hay un aparato de relojería C con un peso por motor y susceptible de marcar en dos cuadrantes distintos E, D, décimas y milésimas de segundo. Detrás de la caja que contiene dicho aparato hay un electro-imán provisto de una armadura, que, atraída por la corriente de una pila, contiene el movimiento y para el reloj.

De esta disposición resulta que, si la corriente cesa de funcionar al salir el proyectil y se restablece cuando éste da en el blanco, el reloj andará solamente durante su

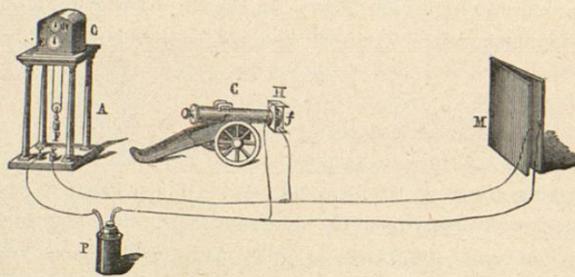


Fig. 431.—Cronoscopio de Wheatstone

trayecto, y por lo tanto indicará su duración exacta. He aquí cómo se realiza esta condición. La pila P comunica por una parte con el cronoscopio A, por otra con el blanco M, y por un hilo derivado con el cañón C. El hilo *f* pasa por delante de la boca H del arma.

Un poco antes de dar principio al experimento, se cierra el circuito derivado y la corriente pasa, con lo cual queda parado el reloj. Entonces se manda disparar; la bala corta el hilo, el circuito se rompe, y el reloj echa á andar hasta el momento en que, dando el proyectil en el blanco, pone en contacto los dos hilos empalmados á éste y cierra de nuevo el circuito. El reloj se para de nuevo, y la marcha de las agujas en los dos cuadrantes indica en segundos y fracciones de segundo la duración exacta del trayecto.

M. Wheatstone no dejó de reconocer los inconvenientes de este primer aparato; el magnetismo remanente de la armadura era causa de que su contacto se mantuviera un poco después de la rotura de la corriente; por otra parte, los movimientos de las agujas tampoco cesaban en el mismo momento de dar la bala en el blanco; por pequeñas que fuesen estas diferencias bastaban para hacer inciertas las indicaciones del cronoscopio, sobre todo tratándose de tan pequeñísimas fracciones de segundo. El inventor logró remediar en parte estas causas de error, no valiéndose al principio sino de una corriente de escasa intensidad y poniendo los hilos del circuito de modo que en el momento del choque en el blanco, actuara una pila más enérgica para cerrar el circuito y dar el movimiento conveniente á la armadura.

M. Hipp ha modificado también el cronoscopio Wheatstone, haciendo independientes los movimientos del reloj y los de las agujas indicadoras; tanto si están éstas en re-

poso como si no lo están, el mecanismo de relojería continúa su marcha. Las agujas sólo se mueven mientras dura la marcha del proyectil.

Nos limitaremos á mencionar: el cronoscopio de Pouillet, fundado en la magnitud de la desviación que una corriente de intensidad conocida imprime á la aguja de un galvanómetro, según el tiempo que invierte en pasar la corriente;—el cronógrafo de Breguet y Constantinoff, que consiste en un cilindro giratorio, en cuya superficie hay dos puntas sostenidas por electro-imanés, las cuales trazaban sucesivamente una línea cuando el proyectil rompía dos hilos á su partida y á su llegada, é interrumpía así los circuitos; la posición de las líneas trazadas en el cilindro indicaba la fracción de vuelta recorrida por este último durante la marcha del proyectil;—el cronógrafo del capitán Navez, que ha dado muy buen resultado en muchos experimentos balísticos hechos en Bélgica y en Holanda;—los cronógrafos de M. Martin de Brettes, con los cuales ha podido este ilustrado capitán de artillería comprobar la velocidad inicial de los proyectiles y la que llevan en cualquier punto de sus trayectorias;—el cronoscopio de puntas de M. Breguet, y por último, el electrodiapasón de movimiento continuo de M. Mercadier. En este aparato ingenioso, un electro-imán atrae uno de los brazos de un diapasón, mientras el otro brazo, provisto de un alambre de platino, se pone por medio de un hilo en contacto con un disco del mismo metal y cierra el circuito de una pila; la corriente pasa, el electro-imán funciona, el diapasón vibra por sí mismo, y su movimiento continúa mientras la pila está en acción. Poniendo en el primer brazo un estilete anotador, se pueden inscribir en un cilindro en movimiento, dado de negro de humo, las vibraciones del diapasón, cuya duración se determina fácilmente y permite medir hasta céntimos de segundo. Si se inscribe en el mismo cilindro un fenómeno cualquiera, se medirá su duración con igual exactitud.

M. Wheatstone ha aplicado los métodos cronoscópicos al estudio y comprobación de las leyes de la caída de los cuerpos. En el primer tomo de esta obra hemos descrito dos aparatos que sirven para lo mismo y que no son otra cosa sino cronógrafos eléctricos.

En el primero se utiliza el interruptor de una bobina Ruhmkorff para hacer brotar una serie de chispas entre un cilindro metálico cubierto de una hoja de papel y la punta de platino que lleva el grave en su caída. Las huellas dejadas por las chispas en el papel trazan una curva cuyas abscisas horizontales marcan los tiempos transcurridos desde el origen de la caída. Puede darse á este aparato el nombre de *cronógrafo de chispas*.

El segundo aparato anotador, el de Bourbouze, consiste en un cilindro cuya velocidad de rotación es uniforme ó acelerada, según que el peso que lo arrastra tenga en su caída un movimiento uniforme ó acelerado. Una lengüeta vibrante traza con su punta en la superficie ennegrecida del cilindro sinuosidades cuyos intervalos permiten comprobar las leyes de la caída del grave.

También se hace uso de los cronógrafos para averiguar la diferencia de longitud entre dos puntos dados, enlazados telegráficamente, y para medir la velocidad de la luz, según dijimos en el capítulo correspondiente del primer tomo del MUNDO FÍSICO. Por último, M. Marey ha demostrado cómo pueden servir los métodos cronográficos para medir la duración de los actos fisiológicos ó psíquicos.