

CAPITULO XXVII.

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD.—MÉTODO DE SEÑALES INSTANTÁNEAS.

306. Puesto que la diferencia de meridianos de los lugares no es otra cosa más que la diferencia de horas, ya sean siderales ó medias, que se cuenta en ellos en un mismo instante físico, la observación de cualquier fenómeno instantáneo permitirá comparar las horas locales de su producción, y por consiguiente, dará á conocer la diferencia de longitudes de los puntos en que se hayan hecho las observaciones.

Los fenómenos instantáneos que se observan con este fin son celestes ó terrestres. Entre los primeros pueden contarse los eclipses de la luna y de los satélites de Júpiter, y entre los segundos las señales luminosas y las telegráficas. Los eclipses de la luna, además de ser muy poco frecuentes, no proporcionan la exactitud necesaria á causa de la incertidumbre que ocasiona el efecto de la penumbra, de manera que hoy casi no se hace uso de este método, si no es para obtener simplemente una ruda aproximación. Los eclipses de los satélites de Júpiter, producidos por la sombra del planeta, sus ocultaciones detrás del disco y sus tránsitos sobre el mismo, se verifican con bastante frecuencia y sirven algo mejor para la determinación de la longitud, sobre todo cuando se comparan las observaciones directas á fin de eliminar los errores tabulares y los de apreciación de los instantes en que se verifican aquellos fenómenos. En los Alma-

naques hallará el lector amplias explicaciones respecto de la *configuración* ó posición relativa del planeta y sus satélites, así como las horas exactas de los eclipses y las aproximativas de los tránsitos y ocultaciones, para prepararse á la observación. Siendo H' la hora del primer meridiano, la local será $H' - L$ para la estación cuya estima sea L , contada desde el mismo meridiano.

Una vez hecha la observación á la hora local H , la longitud será $L = H' - H$. Debe tenerse presente, sin embargo, que el resultado depende mucho de la potencia del telescopio con que se practique la observación, porque como al eclipsarse un satélite, va desapareciendo gradualmente, permanecerá visible por un tiempo tanto más largo cuanto mayor sea el poder del telescopio. En la reaparición de un satélite eclipsado, sucederá, por el contrario, que se vea su salida de la sombra algún tiempo antes con un telescopio poderoso que con otro débil. Para eliminar esta causa de error lo que conviene hacer es tomar el término medio de los resultados que den la *inmersión*, ó sea el principio del eclipse, y la *emersión* ó su fin; porque los efectos del error de apreciación serán contrarios y casi iguales numéricamente. Si dos astrónomos desde sus respectivas estaciones observan estos fenómenos con telescopios del mismo poder y en condiciones atmosféricas semejantes, obtendrán generalmente con bastante precisión su diferencia de meridianos. El primer satélite es el que merece la preferencia, porque sus eclipses, á la vez que más frecuentes, son también más instantáneos. Respecto de la observación, como no difiere esencialmente de la de señales terrestres, que se prestan á mayor exactitud, me detendré en indicar la manera de practicar la observación de éstas.

307.—Las señales luminosas se hacen en uno ó más lugares intermedios, y comunmente elevados, entre los puntos cuya diferencia de longitud se desea obtener. Consisten en la explosión de una cantidad de pólvora proporcionada á las distancias, ó bien en la producción y desaparición alternativa de una luz cualquiera, con tal que sea suficientemente intensa y rápida en aparecer y desaparecer. Según las experiencias del astrónomo mexicano D. Francisco Jiménez, son bastantes 60 gramos de pólvora para percibir á la simple vista su ex-

plosión, en la transparente atmósfera de la mesa central, á una distancia de 48 kilómetros.

El modo de hacer la observación es muy sencillo. La persona encargada de hacer las señales las produce á intervalos regulares, por ejemplo de cinco en cinco minutos, y los astrónomos estacionados en los puntos que han de compararse, anotan en sus cronómetros, arreglados de antemano á sus respectivos meridianos, los instantes en que se verifica cada señal. La comparación de las horas anotadas, corregidas por los errores de los cronómetros y expresadas en la misma especie de tiempo, suministra tantos resultados independientes como señales se hayan observado en ambos puntos. Siendo t y t' las horas cronométricas en que se vió una de las señales desde las estaciones occidental y oriental respectivamente, Δt y $\Delta t'$ las correcciones de los cronómetros, y puesto que en la estación oriental debe contarse la hora más avanzada, se tiene desde luego:

$$\lambda = (t' + \Delta t') - (t + \Delta t) \dots\dots\dots (1)$$

y el promedio de los diversos valores de λ se adopta como diferencia definitiva de meridianos.

Tal es el método en toda su sencillez; pero para alcanzar toda la precisión de que es susceptible es preciso tomar ciertas precauciones. En primer lugar, la determinación previa del error y marcha de cada cronómetro debe hacerse con la mayor exactitud, aplicando los mejores procedimientos y eliminando toda causa de error constante. Así, por ejemplo, si se determina la hora por pasos meridianos, debe medirse cuidadosamente el error de colimación, ó mejor aún, invertir frecuentemente el telescopio observando en cada posición varias estrellas fundamentales. Siempre que sea posible se valdrán ambos observadores de las mismas estrellas para determinar las correcciones instrumentales, y harán con la frecuencia necesaria las lecturas del nivel para conocer con exactitud la inclinación del eje.

308.—Además de estos procedimientos generales para la buena determinación de las horas locales, los dos astrónomos deben medir su error relativo ó *ecuación personal*, como se denomina generalmente. Sea á consecuencia del estado nervioso especial de cada individuo,

sea por el hábito que cada cual contrae de hacer sus apreciaciones de una manera determinada, ó lo que me parece más probable, por la dificultad de concentrar la atención simultáneamente en los sentidos de la vista y del oído, es un hecho casi universal que dos ó más personas que observan un mismo fenómeno y que anotan el instante de su producción, hallan diferencias que verdaderamente sorprenden. Aun entre observadores que tienen mucha práctica, llega á veces la diferencia hasta 1^s y más, á pesar de que cada uno cree haber anotado la hora con aproximación de 0^s.1.

Se comprende desde luego que la ecuación personal no puede dejar de tomarse en cuenta siempre que se trate de comparar la hora determinada por dos observadores diferentes. La manera de conocer su magnitud es bien sencilla. Admitamos en cada observador cierto error fisiológico particular, sea cual fuere la causa que se le atribuya, que le hace notar la percepción de un fenómeno en un instante diverso de aquel en que tuvo realmente lugar. Siendo t la hora que anota, τ el instante incógnito en que se verificó el fenómeno, y x el error fisiológico, se tiene: $\tau = t + x$. Para otro observador será..... $\tau = t' + x'$, y designando por e la ecuación personal, ó la diferencia de errores fisiológicos de los dos observadores, obtendremos:

$$e + t' - t = 0$$

de donde resulta:

$$e = t - t' \dots\dots\dots (2)$$

Esta fórmula manifiesta que para hallar el error relativo debe tomarse la diferencia de las horas anotadas por dos observadores al percibir un mismo fenómeno. Por lo general, éste consiste en el tránsito de una estrella por el hilo medio de la retícula de un telescopio meridiano, para lo cual cada uno de los observadores anota el paso por uno ó varios de los hilos laterales, y reduce su observación al hilo medio con ayuda de los intervalos ecuatoriales según la regla del número 221. Los dos resultados t y t' suministran el valor de e . Este procedimiento seguimos el Sr. Barroso, que era mi ayudante en el Observatorio que existió en Chapultepec, y yo. La retícula del telescopio tenía siete hilos; el Sr. Barroso observaba el paso en los tres

primros y yo en los tres últimos, anotando cada uno las horas en el péndulo sideral del Observatorio. Después con la estrella que seguía, yo observaba en los primeros hilos y el Sr. Barroso en los últimos. El promedio de varias estrellas observadas con el mismo objeto, dió: $e = D - B = -0^{\circ}.13$, por lo cual aparece que el Sr. Barroso observaba los tránsitos $0^{\circ}.13$ después que yo, y por consiguiente, para comparar sus determinaciones del tiempo con las mías, será preciso restarles esa cantidad.

La ecuación personal de dos observadores no permanece siempre constante, sino que suele sufrir notables variaciones con el transcurso del tiempo, lo que sin duda depende de cierta modificación gradual en el modo de observar de cada uno; y en efecto, la ecuación es por lo común tanto más variable, aun en intervalos cortos, cuanto menor es la práctica de los observadores.

309.—Para medir la diferencia de longitud por el método de señales, los dos astrónomos deben determinar su error relativo antes y después de la observación de aquéllas, adoptando el término medio de los resultados para reducir la horas anotadas por el uno á lo que serían anotadas por el otro. Es sin duda más seguro, siguiendo la regla general de variar las circunstancias de las observaciones á fin de que ciertos errores constantes obren en diverso sentido, que después de observar algunas noches cambien los astrónomos de estaciones, pasando á la oriental el que ocupaba la occidental y vice versa. De este modo la ecuación personal producirá efectos contrarios, suministrando un promedio independiente de ella.

Como ejemplo de la determinación de la diferencia de meridianos por la observación de señales luminosas, tomamos de una Memoria del Sr. Jiménez las observaciones hechas el 9 de Abril de 1865 con el objeto de medir la longitud de San Juan Teotihuacán, respecto de la Escuela de Ingenieros de México.¹ El Sr. Jiménez observaba en la Escuela y el Sr. Almaraz en Teotihuacán. El cronómetro del Sr. Jiménez á las $8^h 00^m$ P. M. tenía un atraso de $9^m 51^s.17$, aumen-

¹ Reproduzco esta parte del trabajo del Sr. Jiménez con tanto más agrado, cuanto que me proporciona la ocasión de corregir algunas equivocaciones con que resultó en la página 234 de los *Nuevos Métodos*.

tándose $3^s.345$ en 24^h , ó bien $+0^s.139$ por hora. El del Sr. Almaraz á las $8^h 40^m$ (tiempo de Teotihuacán) tenía un adelanto de..... $19^m 17^s.19$ y una marcha horaria de $-1^s.892$. Las señales de esa noche, ejecutadas en el cerro de Chiconautla, se observaron á las siguientes horas cronométricas:

	EN MÉXICO.	EN TEOTIHUACÁN.
1 ^a señal	8 ^h 3 ^m 10 ^s .25.....	8 ^h 33 ^m 22 ^s .50
2 ^a „	„ 9 9.00.....	„ 39 21.50
3 ^a „	„ 12 11.00.....	„ 42 23.50
4 ^a „	„ 15 7.75.....	„ 45 20.50
5 ^a „	„ 18 6.50.....	„ 48 18.50

En la determinación de las correcciones de los cronómetros se tomó ya en cuenta la ecuación personal, que era de $0^s.41$ aditiva á los tránsitos observados por el Sr. Almaraz. Hagamos el cálculo de la diferencia de longitud con los datos relativos á la primera señal.

EN MÉXICO.	EN TEOTIHUACÁN.
$t = 8^h 3^m 10^s.25$	$t' = 8^h 33^m 32^s.50$
$\Delta t = + 9 51.18$	$\Delta t' = -19 16.98$
Hora media = $8^h 13^m 1^s.43$	Hora media = $8^h 14^m 5^s.52$
Hora media de México.....	= $8^h 13^m 1^s.43$
„ de Teotihuacán.....	= $8 14 5.52$
	$\lambda = 0^h 1^m 4^s.09$

Haciendo los mismos cálculos para las demás señales, se hallan los resultados siguientes:

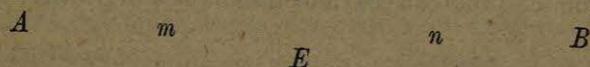
Señales.	HORAS MEDIAS DE		
	México.	Teotihuacán.	λ
1 ^a	8 ^h 13 ^m 1 ^s .13.....	8 ^h 14 ^m 5 ^s .52.....	1 ^m 4 ^s .09
2 ^a	„ 19 00.19.....	„ 20 4.33.....	„ 4.14
3 ^a	„ 22 2.20.....	„ 23 6.23.....	„ 4.03
4 ^a	„ 24 58.96.....	„ 26 3.14.....	„ 4.18
5 ^a	„ 27 57.71.....	„ 29 1.05.....	„ 3.34

El término medio que calculó el Sr. Jiménez por 24 señales, ob-

servadas en cinco noches diferentes, aunque sin cambiar de estaciones, es $\lambda = 1^m 4^s .46$. En consecuencia, la longitud absoluta de Teotihuacán será:

Longitud de la Escuela al O. de Greenwich.....	6 ^h 36 ^m 28 ^s .6
„ de Teotihuacán al E. de la Escuela.....	— 1 4.46
„ de Teotihuacán al O. de Greenwich.....	6 ^h 35 ^m 24 ^s .14

310.—Cuando los lugares que se comparan están de tal manera distantes que las señales luminosas, hechas en un solo punto, no puedan verse desde ellos á la vez, se eligen una ó más estaciones intermedias, en cada una de las cuales se establece un observador, y la operación se hace por partes. En rigor, las personas que ocupan las estaciones intermedias, no tienen necesidad de conocer con precisión las correcciones absolutas de sus cronómetros, sino solamente su marcha en un corto intervalo de tiempo.



Sean, en efecto, *A* y *B* las estaciones extremas y *E* una de las intermedias. Los observadores que se hallen en *A* y *E*, al ver la señal que se produce en *m*, anotan las horas *t* y τ respectivamente, por lo que su diferencia de meridianos es:

$$\lambda_1 = (\tau + \Delta\tau) - (t + \Delta t)$$

Algunos minutos después se produce la señal en *n*, que anotan los observadores de *E* y *B* á las horas τ' y t' respectivamente. Su diferencia de longitud será, pues:

$$\lambda_2 = (t' + \Delta t') - (\tau' + \Delta\tau')$$

La suma de este valor y del precedente dará por diferencia de meridianos entre *A* y *B*:

$$\lambda = (t' + \Delta t') - (t + \Delta t) + \theta \dots \dots \dots (3)$$

representando θ el intervalo $(\tau - \tau') + (\Delta\tau - \Delta\tau')$, que no es otra cosa más que la diferencia de horas anotadas en la estación intermedia, corregida por la marcha del cronómetro.

311.—La transmisión de señales por medio del telégrafo electromagnético proporciona el método más sencillo y exacto de comparar las horas locales de dos ó más estaciones. La idea de aplicar el telégrafo á la determinación de las diferencias de longitud parece que fué sugerida por el profesor americano Morse desde 1839; pero la primera aplicación práctica de este método fué ejecutada por el Capitán Wilkes entre Washington y Baltimore en Junio de 1844. Desde esa fecha los numerosos experimentos hechos en América y Europa han dado resultados de una precisión muy superior á la que se obtiene por los procedimientos directamente astronómicos. En la República de México el Sr. Balbontín y yo hicimos la primera operación de este género en 1855 para determinar la longitud de Querétaro respecto de la Capital. En Marzo de 1866 el profesor Jiménez, auxiliado por los Sres. Ponce de León y Almaraz, midió de este modo la longitud de Cuernavaca. Por medio de 120 señales cambiadas en 6 noches, halló que esta ciudad está á $0^m .25^s .30$ al Oeste de México, y en consecuencia, á $6^h 36^m 53^s .9$ al Oeste de Greenwich. En Agosto de 1869 cambié cerca de 200 señales telegráficas entre México y Puebla, ayudado por los Sres. Fernández é Iglesias.

Para la mejor inteligencia del procedimiento, detengámonos algunos instantes en echar una rápida ojeada sobre las máquinas telegráficas. Estas se componen de dos aparatos esencialmente distintos; el primero, llamado *manipulador*, sirve para transmitir las señales, ya sean letras ó cualesquier otros signos convencionales. El segundo, llamado *receptor*, ó también *registro*, reproduce los signos que le comunica el manipulador. En toda estación telegráfica existen, por consiguiente, los dos aparatos, el uno para enviar y el otro para recibir los mensajes.

Aunque varios mecanismos diversos llenan igualmente bien las funciones de cada una de estas partes de la máquina, todo manipulador está dispuesto de manera que el telegrafista, por el simple movimiento de un botón ó manecilla, pueda á su voluntad interrumpir ó restablecer instantáneamente el circuito eléctrico. Recíprocamente, todo receptor denuncia las interrupciones y restablecimientos de la corriente eléctrica, por la repulsión ó atracción de la armadura

de su electro-imán, que es su parte más esencial. Uno de los extremos del hilo de las bobinas comunica con la batería, el otro con el alambre telegráfico; y en el paso de la corriente eléctrica, desarrollado por su influencia el magnetismo del electro-imán, es atraída la barra de hierro que está delante de él. Por el contrario, durante la ruptura del circuito cesa el magnetismo del electro-imán, y la barra cediendo á la fuerza de un resorte de que está provista, vuelve á su posición primitiva. Este movimiento alternativo de la barra produce un sonido muy perceptible cuando la corriente es algo intensa, y por tanto proporciona una señal audible, que produciéndose en el mismo instante en que el operador de otra estación lejana toca su manipulador, podrá servir directamente para comparar las horas locales de ambas estaciones. Si la corriente es poco enérgica, puede no ser muy perceptible el choque de la barra contra el electro-imán; pero en uno y otro caso su movimiento de vaivén se comunica por un juego conveniente de palancas á una aguja ó punzón, el cual graba los signos telegráficos sobre una tira de papel que se mueve uniformemente por medio de una combinación de relojería. El punzón suministra de esa manera una señal audible ó visible, propia para la comparación de las horas.

Concebida esta disposición general de los aparatos telegráficos, se comprenderá el modo de operar, que es muy sencillo. El astrónomo de una de las estaciones, con el botón de su manipulador, establece la corriente á intervalos regulares de diez, quince ó veinte segundos, anotando en su cronómetro los instantes en que toca el botón; y el de la otra estación, contando los segundos de su cronómetro, apunta la hora al escuchar el choque de la barra de su receptor, producido por el paso instantáneo de la corriente eléctrica. Cambiadas así algunas señales, se invierte el orden de la operación; el astrónomo de la segunda estación, que las había recibido, comienza á darlas con intervalos de 10^s á 20^s, y el de la primera las recibe, anotando ambos el instante preciso de su producción en sus respectivos cronómetros, absolutamente lo mismo que antes. De esta manera se obtienen, por cada señal observada, los valores de t y t' que con las correcciones de los cronómetros en esos instantes, permiten la aplicación de

la fórmula (1). Se entiende, por supuesto, que las horas determinadas por uno de los astrónomos deben corregirse por su error relativo, según se dijo al principio, aunque siempre debe procurarse cambiar de estaciones.

Ejemplo.—Tomemos las dos primeras series de señales cambiadas entre México y Puebla en la noche del 11 de Agosto de 1869. El cronómetro de México tenía un adelanto de 5^m 30^s.56 á las 7^h 36^m P. M., y una marcha horaria de $-0^{\circ}.12$. El de Puebla adelantaba 0^s.32 á las 7^h 40^m, con una variación horaria de $-0^{\circ}.05$. En México el Sr. Fernández ó yo dábamos señales á cada 10^s, 15^s ó 20^s de nuestro cronómetro, y los Sres. Iglesias y Tagle las recibían en Puebla. Después de transmitidas así cosa de diez señales, comenzaba á enviarlas el Sr. Iglesias á intervalos iguales de su cronómetro, y nosotros las anotábamos en el nuestro.

EN MÉXICO.		EN PUEBLA.	
Enviadas.	Recibidas.	Enviadas.	Recibidas.
7 ^h 35 ^m 40 ^s	7 ^h 27 ^m 49 ^s .2	7 ^h 26 ^m 00 ^s	7 ^h 33 ^m 51 ^s .0
„ 36 00	„ 28 8.5	„ „ 20	„ 34 10.5
„ „ 20	„ „ 29.2	„ „ 40	„ „ 30.5
„ „ 40	„ „ 49.2	„ 27 00	„ „ 50.5
„ 37 00	„ 29 9.5	„ „ 20	„ 35 10.5
„ „ 20	„ „ 29.5	„ „ 40	„ „ 30.5
„ „ 30	„ „ 49.5	„ 28 00	„ „ 40.5
„ „ 50	„ 30 9.5	„ „ 20	„ 36 0.5
„ 38 10	„ „ 29.5	„ „ 40	„ „ 20.5
	„ „ 49.5	„ 29 00	

Para no reducir individualmente las observaciones, hagamos el cálculo con el promedio de las 9 señales enviadas de México.

EN MÉXICO.		EN PUEBLA.	
$t = 7^h 36^m 56^s.67$		$t' = 7^h 35^m 7^s.22$	
$\Delta t = - 5 36.56$		$\Delta t' = - 0.32$	
Hora media = 7 ^h 31 ^m 20 ^s .11		Hora media = 7 ^h 35 ^m 6 ^s .90	
Hora media de México..... = 7 ^h 31 ^m 20 ^s .11			
„ de Puebla..... = - 7 35 6.90			
		$\lambda = - 0^h 3^m 46^s.79$	

Haciendo el mismo cálculo con las 10 señales enviadas de Puebla, resulta: $\lambda = -0^{\circ} 3^{\text{m}} 46^{\text{s}}.93$. El promedio de las dos series dará, pues, $3^{\text{m}} 46^{\text{s}}.86$ por longitud de Puebla al Este de México, ó sea $6^{\text{h}} 32^{\text{m}} 41^{\text{s}}.74$ al Oeste de Greenwich. Este es casi el mismo resultado que obtuvimos por gran número de señales, cambiadas en aquella noche y en las siguientes.

312.—La transmisión de señales telegráficas se presta á tanta exactitud, que en los Estados Unidos, donde tuvo su origen el método, se ha procurado llevarlo á toda la perfección de que es susceptible. Tal como lo he presentado hasta aquí, tiene el inconveniente de que los astrónomos se ven alternativamente obligados á apreciar al oído las fracciones de segundo de sus respectivos cronómetros. En efecto, el que transmite las señales, lo hace en coincidencia con los segundos de su cronómetro, y, por consiguiente, no tiene que estimar fracción alguna; pero el que las recibe, percibirá, por lo general, el choque de la barra entre dos golpes ó sonidos consecutivos del volante de su cronómetro, y tendrá que apreciar la fracción de segundo transcurrida entre el ruido del electro-imán y el último del cronómetro. Ahora bien, en esta clase de apreciaciones hay sin duda alguna un error personal, que acaso sea diferente del determinado por la observación de tránsitos meridianos; porque en este último caso se hace uso simultáneamente de la vista y del oído, mientras que en la apreciación del tiempo que transcurre entre las percepciones de dos sonidos inmediatos, sólo se hace uso del oído. Podría acaso evitarse esta causa de error haciendo los dos observadores algunas experiencias directas para determinar esta nueva ecuación personal y corregir con ella los resultados. Para ello deberían anotar, en un mismo cronómetro, las horas en que perciben el choque de la barra contra el electro-imán, y adoptar como error relativo el término medio de todas las diferencias que hallaren.

Me parece, sin embargo, preferible ponerse á cubierto del error de apreciación procediendo de esta manera. Si se emplean dos cronómetros que tengan una variación diaria muy diferente, sucederá que con frecuencia coincidan los sonidos ó golpes de sus volantes, y si al cambiar las señales telegráficas, sólo se aprovechan aquellas que,

transmitidas en coincidencia con los golpes de uno de los cronómetros, se reciben también en coincidencia con los del otro, resultará que ninguno de los astrónomos tendrá que estimar fracciones. Esto puede conseguirse usando en una de las estaciones un cronómetro sideral y en la otra uno solar. En efecto, el cronómetro sideral adelanta respecto del solar cosa de $9^{\text{s}}.8$ por hora, ó sea casi 1° en seis minutos, de manera que si ambos marcan segundos, deben coincidir sus sonidos cada 6^{m} , y si marcan medios segundos, que es lo más frecuente, coincidirán cada 3^{m} . Hay cronómetros de bolsa que dan 25 golpes en 10^{s} , por lo que cada sonido representa $0^{\text{s}}.4$, y si uno de esta especie se compara con otro que marque $0^{\text{s}}.5$ se obtendrá una coincidencia cada dos segundos.

Para evitar equivocaciones, conviene primero determinar la diferencia aproximativa de longitud por el cambio de algunas señales apreciando al oído las fracciones de segundo como se ha explicado antes. En seguida uno de los observadores comienza á transmitir las señales sin interrupción, en coincidencia con cada segundo de su cronómetro, y continúa enviándolas por espacio de diez á quince minutos. El de la otra estación las cuenta; pero sólo anota la hora de las que se producen en consonancia con los golpes de su cronómetro, y luego que ha logrado tres ó cuatro coincidencias, avisa al primer observador por medio de una señal convenida de antemano. Después de esto comienza á su vez á transmitir señales cada segundo, durante el mismo espacio de tiempo poco más ó menos, hasta que el primer observador le participe haber logrado apuntar las horas de algunas coincidencias. Como cada astrónomo tiene cuidado de anotar la hora á la cual comienza á enviar sus señales, y el otro las cuenta, es muy fácil saber en seguida cuáles son las indicaciones de ambos cronómetros en cada coincidencia. Parece inútil advertir que las dos horas, después de corregidas, deben expresarse en la misma especie de tiempo, ya sea solar ó sideral. Repitiendo la misma operación durante varias noches, y si es posible cambiando de estaciones, se obtienen resultados, si bien en más corto número que por el otro método, por lo común más acordes y sobre todo más dignos de confianza.

313.—Se ha dado más perfección todavía al método de señales telegráficas con la introducción de los electro-cronógrafos, que como su nombre lo indica, son instrumentos destinados á representar, por medio de la electricidad, la medida del tiempo con signos ó caracteres visibles. El aparato telegráfico común de Morse, que representa por medio de puntos ó líneas el paso de la corriente eléctrica sobre un papel que se mueve uniformemente, puede servir muy bien como cronógrafo, y lo único que se necesita es que sus signos se produzcan á iguales intervalos de tiempo. A este fin se coloca dentro del circuito un péndulo astronómico común, cuyas oscilaciones interrumpen y restablezcan alternativamente la corriente, á fin de que en cada segundo señale el punzón del receptor una línea pequeña en el papel telegráfico. De esta manera un solo péndulo hace marcar el tiempo en todas las estaciones comunicadas por el conductor, y en cada una de ellas se obtiene una tira de papel cuyas líneas equidistantes representan segundos; y si un observador desea anotar el instante en que se produce un fenómeno cualquiera, basta que toque la manecilla de su manipulador, el cual enlazado con el circuito eléctrico, producirá una señal semejante á las del péndulo. La distancia de aquélla á la última de éste, se podrá apreciar en seguida por medio de una escala, y comparada con la distancia constante de las líneas originadas por las oscilaciones del péndulo, dará con mucha exactitud la correspondiente fracción de segundo.

En las páginas 241 y siguientes de los *Nuevos Métodos Astronómicos* puede verse la descripción de los cronógrafos y la manera de emplearlos en la determinación de las longitudes, limitándome aquí á decir que su uso se presta á tal precisión, que permite medir la velocidad de la corriente eléctrica. El conjunto de experiencias practicadas con este objeto en los Estados Unidos, le asignan cosa de 6200 leguas por segundo en los alambres telegráficos comunes, de modo que al comparar las horas locales de dos estaciones que disten entre sí 100 ó 200 leguas, puede suponerse rigurosamente instantánea la transmisión de las señales.

CAPITULO XXVIII.

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD.—MÉTODO DE TRANSPORTE DE CRONÓMETROS.

314.—La comparación de las horas locales de dos ó más estaciones puede efectuarse transportando de la una á la otra un cronómetro cuya variación sea conocida, y cuyo error absoluto pueda determinarse respecto de cada uno de los meridianos, bien sea por medio de observaciones directas, ó bien por su comparación inmediata con los cronómetros ó péndulos establecidos en cada estación, y arreglados de antemano á sus respectivos meridianos.

Supongamos por un momento que sea nula la variación diaria del cronómetro que va á transportarse, y que en el punto de partida *A*,

X. *A.* *B.*

cuya longitud absoluta designaré por *L*, se ha hallado que su corrección es Δt en un instante cualquiera, siendo Δt positiva cuando el instrumento esté atrasado respecto del tiempo local. Es evidente entonces que para otro punto *X*, cuya longitud respecto de *A* sea Δt segundos, el guarda-tiempo no tendrá error alguno, ó estará perfectamente arreglado al meridiano de *X* cuya longitud absoluta es $l = L + \Delta t$. Admitamos ahora que el cronómetro se traslade á otra estación *B*, cuya longitud absoluta sea *L'*, y que comparado allí con el tiempo local, se encuentre que su corrección es $\Delta t'$. Como por la hipótesis es nula su variación diaria, el cronómetro habrá seguido