

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

marcando el tiempo exacto del meridiano X , y la longitud de este mismo punto respecto de B será $\Delta t'$, y como antes, tendremos:..... $l = L' + \Delta t'$. Igualando los dos valores de l , resulta:

$$L - L' = \Delta t' - \Delta t$$

ecuación que manifiesta que la diferencia de longitud de dos estaciones A y B , es igual á la diferencia de las correcciones del cronómetro determinadas en cada una de ellas.

Aunque en general no puede admitirse la hipótesis de una variación nula, por perfecta que sea la construcción de los guarda-tiempos, se comprende desde luego que subsiste la ecuación anterior con tal que se lleve en cuenta la variación v en la unidad de tiempo, ya sea ésta el día ó la hora. En efecto, si en el punto de partida A es t la indicación del cronómetro cuando se halló que su corrección era Δt , y en el punto B señalaba t' cuando su corrección respecto de este nuevo meridiano era $\Delta t'$, es claro que el tiempo transcurrido entre las dos comparaciones es $t' - t$, y que en el instante t' de la segunda comparación, la corrección del cronómetro, en la estación A , sería $\Delta t + v(t' - t)$. Sustituyendo este valor por Δt en la ecuación precedente, se tendrá:

$$L - L' = \Delta t' - \Delta t - v(t' - t) \dots\dots\dots (1)$$

He supuesto que el cronómetro partiendo de A se transportó á B ; pero admitiendo lo contrario, y conservando los acentos para indicar las cantidades referentes á B , se hallará:

$$L - L' = \Delta t' - \Delta t + v(t - t') \dots\dots\dots (2)$$

de manera que, en general, la diferencia de meridianos es igual á la de las correcciones del cronómetro, reducidas al mismo instante físico, con ayuda de su variación en la unidad de tiempo.

315.—Este modo de operar supone, sin embargo, que la variación diaria ú horaria del guarda-tiempo, determinada, por ejemplo, en la primera estación, permanezca constante durante el viaje; pero esto nunca ó casi nunca tiene lugar. Los cronómetros de mejor construcción, sean cuales fueren las precauciones que se tomen para trans-

portarlos, se resienten en su marcha, ya sea solamente á causa del movimiento, ya por los cambios de temperatura que sufren á veces sin poderse evitar. El resultado es que su variación durante el transporte, casi siempre es distinta de la que tienen cuando permanecen en reposo, y siendo necesario hacer uso de aquella para aplicar las fórmulas precedentes, veamos cómo puede determinarse.

Basta para esto hacer el doble viaje de ida y vuelta, y comparar el estado del cronómetro antes de partir con el que guarda después de terminada la expedición, tomando en cuenta solamente el tiempo que dure el transporte. Conviniendo siempre en acentuar los elementos que se refieren á la estación oriental, designemos por c, c', C y C' las cuatro correcciones determinadas en este orden: al partir de la estación A y cuando el cronómetro señale la hora t , sea c su corrección. Al llegar á la estación B se determina la corrección c' respecto de este meridiano cuando el instrumento indique la hora t' . En seguida, antes de partir de B , sea C' la corrección á la hora T' del guarda-tiempo; y por último, al llegar de nuevo á A , sea C la corrección y T la hora. Este orden se comprenderá mejor bajo la forma siguiente, en que las flechas indican la dirección de los viajes:

EN A.			EN B.	
Cronómetros.	Correcciones.		Cronómetros.	Correcciones.
t	c	→	t'	c'
T	C	←	T'	C'

Es evidente que la duración del primer viaje es $t' - t$; y la del segundo $T - T'$. Respecto de las correcciones, su cambio total es $C - c$; pero excluyendo de él la parte $C' - c'$, que corresponde al tiempo $T' - t'$ que estuvo en reposo el cronómetro en la estación B , quedará $(C - c) - (C' - c')$ por marcha total en la duración $(T - T') + (t' - t)$ de los dos viajes. Entonces la variación durante el transporte será:

$$v = \frac{(C - c) - (C' - c')}{(T - t) - (T' - t')} \dots\dots\dots (3)$$

El valor de v indica la variación diaria ú horaria, según que los intervalos de tiempo expresen días ú horas. La diferencia de longitud $\lambda = L - L'$ tendrá, pues, por expresión:

$$\left. \begin{array}{l} \text{En el primer viaje..... } \lambda = c' - c - v(t' - t) \\ \text{,, segundo ,, } \lambda = C' - C + v(T - T') \end{array} \right\} \text{.....(4)}$$

Ejemplo.—El siguiente está tomado de la expedición cronométrica hecha por Mr. Struve entre los Observatorios de Altona y Pulkowa en 1843. Mr. Struve partió de Pulkowa, que es la estación oriental, el 19 de Mayo y volvió el 31 del mismo mes. Las fechas están expresadas en días y fracciones.

ALTONA.		PULKOWA.
$t = 24^d.94.....$	$c = - 1^h 14^m 39^s.92$	$t' = 19^d.89.....$
$T = 26.45.....$	$C = - 1 14 36.77$	$T' = 31.00.....$
		$c' = + 6^m 38^s.10$
		$C' = + 7 9.58$

Para calcular la variación del cronómetro durante el viaje, se tiene:

$C - c = + 3^s.15$	$T - t = + 1^d.51$
$-(C' - c') = - 31.48$	$-(T' - t') = - 11.11$
Numerador = - 28^s.33	Denominador = - 9^d.60
$v = \frac{28.33}{9.60} = + 2^s.951$	

Con esta variación diaria calculemos la diferencia de meridianos por los datos que corresponden á cada viaje.

$c' = + 0^h 6^m 38^s.10$	$C' = + 0^h 7^m 9^s.58$
$c = - 1 14 39.92$	$C = - 1 14 36.77$
$c' - c = 1^h 21^m 18^s.02$	$C' - C = 1^h 21^m 46^s.35$
$-v(t' - t) = + 14.90$	$v(T - T') = - 13.43$
$\lambda = 1^h 21^m 32^s.92$	$\lambda = 1^h 21^m 32^s.92$

De este modo se hicieron 17 viajes entre Altona y Pulkowa, y el resultado final obtenido por 68 cronómetros que se emplearon en la expedición, fué $\lambda = 1^h 21^m 32^s.50$.

La expedición cronométrica más extensa de que tengo noticia es la emprendida desde 1844 entre Boston y Liverpool, con el fin de determinar la longitud del Observatorio americano de Cambridge respecto del de Greenwich. En esta expedición, continuada por muchos años, excede de 400 el número de cronómetros que se han transportado de un puerto al otro en los viajes periódicos de los vapores de la línea de Cunard. Luego que llega el buque á Liverpool ó á Boston, se desembarcan los cronómetros y se comparan con el péndulo del Observatorio de Liverpool ó con el de Cambridge, cerca de Boston. Los principales resultados son los que siguen: En 1848 por el transporte de 116 cronómetros en 34 viajes, se obtuvo..... $4^h 44^m 30^s.50$ por longitud de Cambridge al Oeste de Greenwich. En 1849 se hicieron otras 87 comparaciones, y el resultado obtenido por 373 cronómetros fué $4^h 44^m 30^s.92$. El promedio calculado por Mr. Bond, valiéndose de 175 cronómetros de su confianza, es..... $4^h 44^m 30^s.10$. El resultado de los viajes de 1855 da $4^h 44^m 31^s.89$. Por último, el valor final adoptado es $4^h 44^m 30^s.66$, que según me escribió Mr. Bond, es el más digno de confianza. Recientemente, y bajo la dirección del Dr. Gould, acaba de hacerse otra determinación de la longitud de Cambridge, por medio del cable telegráfico trasatlántico, siendo $4^h 44^m 30^s.85$ el resultado.

Los valores de las correcciones c , c' , C' y C que entran en las fórmulas (3) y (4) se determinan, según dije al principio, ó por observaciones directas ejecutadas poco antes de partir de cada estación, é inmediatamente después de llegar, ó bien comparando el cronómetro que puede llamarse móvil, con los cronómetros ó péndulos establecidos en ambas estaciones y previamente arreglados á sus respectivos meridianos. El primer procedimiento es indudablemente el más practicable, atendidas las circunstancias en que, por lo general, se encuentra un viajero, al menos cuando no cuenta más que con sus propios recursos; pero es evidente que nunca proporciona tan buenos resultados como el segundo. Sin embargo, uno ó dos buenos cronómetros, transportados con las precauciones necesarias para asegurar la regularidad de su marcha, y haciendo por lo menos un doble viaje, me parece que pueden proporcionar resultados muy útiles

para nuestra naciente Geografía. Sería de desearse, ciertamente, que siquiera las principales poblaciones de los Estados se fijaran de esa manera, ó por el método de señales luminosas, respecto de sus capitales; pues enlazadas la mayor parte de éstas con la de la República por medio de las extensas líneas telegráficas que hoy tenemos, se reunirían en breve muy buenos datos para la formación de una carta general.

A falta de telégrafo, la determinación de la diferencia de longitud de dos puntos importantes debe hacerse como se ha visto en el ejemplo antes citado, referente á la expedición cronométrica entre Pulkowa y Altona. La operación ejecutada así demanda el concurso de tres observadores por lo menos, á saber: los estacionados en los puntos que se trate de comparar y el que transporte los cronómetros. Los primeros, provistos de instrumentos meridianos, deben determinar las correcciones de sus respectivos péndulos, de acuerdo con las prescripciones que varias veces he tenido ocasión de indicar, como son: invertir con frecuencia el telescopio, valerse sólo de estrellas fundamentales, y de las mismas si es posible, medir su ecuación personal, etc., etc. En cuanto al observador viajero, deberá tener cuidado de comparar diariamente todos los cronómetros entre sí, así como con los péndulos al llegar á cada estación y al partir de ella, á fin de deducir la corrección que corresponda á cada uno. Las comparaciones deberán hacerse por el método de coincidencia de sonidos, tal como se explicó en el número 312, con el objeto de evitar el error originado por la apreciación de las fracciones de segundo; y para corregirlo sin gran trabajo, aun siendo muchos los cronómetros, conviene que el observador se sirva de un reloj cuya variación diaria sea muy diferente de la de aquéllos.

Las precauciones generales para el manejo de los cronómetros, aun cuando estén estacionarios, son las siguientes: 1ª Debe dárseles cuerda á intervalos regulares, de modo que cuando, por ejemplo, se les dé diariamente, se procurará que sea siempre á la misma hora con poca diferencia. Algunos cronómetros marinos tienen cuerda para 8 ó más días; pero en todos casos creo más conveniente darles sólo la necesaria para 24ª, á fin de que sea siempre la misma la par-

te del resorte que obra como motor. 2ª Al darles cuerda debe procurarse que el cronómetro permanezca inmóvil y que sólo la llave sea la que gire. 3ª Todo movimiento brusco, sobre todo si es circular, se evitará con el mayor esmero; y se procurará que el cronómetro conserve siempre la misma posición, ya sea vertical ú horizontal, aunque esta última es la más conveniente. 4ª También se evitará que sufra cambios bruscos de temperatura; y por consiguiente, nunca debe tenerse un cronómetro expuesto á corrientes de aire, ni mucho menos á los rayos directos del sol. 5ª Cerca de un cronómetro nunca debe haber substancias magnéticas, que influirían muchísimo en su marcha. 6ª Es también conveniente que un guarda-tiempo no esté parado, á fin de que los aceites conserven su fluidez y no estén expuestas sus piezas á oxidarse.

En cuanto á la mejor manera de transportar los cronómetros, sólo diré que aunque durante el viaje no se pueden cumplir por lo general todas las prescripciones anteriores, debe escogerse cuidadosamente el medio de transporte más adecuado á las circunstancias especiales de cada caso, y que mejor se avenga con las reglas antes establecidas. En buenos caminos, un carruaje de muelles me parece bastante á propósito para la conducción; pero en terrenos muy desiguales acaso sea preferible hacerlos conducir por hombres que viajan á pie.

La circunstancia que principalmente caracteriza á un buen guarda-tiempo, no es tanto la pequeñez de su variación diaria como la igualdad de esta variación. Es sin duda conveniente que sea pequeña la marcha en la unidad de tiempo; pero se comprende que tal ventaja es muy secundaria respecto de la fundamental, que consiste en la uniformidad de la variación; y por consiguiente, ésta es la que debe fijar de preferencia la atención del astrónomo al hacer la elección de sus cronómetros.