LA ECUACIÓN DE LA LÍNEA RECTA APLICADA AL MOVIMIENTO DE LOS CRONÓMETROS MODERNOS.

Sabemos que en la mar la obtención de la hora más probable del primer meridiano se hace empleando un sistema de tres o más cronómetros, deduciéndoseles en puerto un determinado número de coeficientes agrupados en una fórmula conocida bajo el nombre de Lieusson, y fórmula que no es sino la ecuación de la parábola.

La aplicación de la parábola térmica a los cronómetros obedece al hecho de que los fabricantes compensan estos instrumentos a dos temperaturas extremas; que por lo general fluctúan alrededor de 0° y 30°, temperaturas extremas que en la práctica raras veces alcanzan el ambiente en la caja de los cronómetros, y que permite dar pequeñas variaciones a la marcha en las vecindades de los 15°, o sea a la temperatura comunmente llamada «*de arreglo*».

Los actuales constructores de cronómetros hacen la compensación teórica del volante para todas las temperaturas, de suerte que la influencia que en la práctica ejerce este factor sobre la marcha deja de ser en razón directa del cuadrado de la diferencia de temperatura, y el movimiento en vez de ser una parábola, es sencillamente una línea recta, la cual y en las circunstancias más favorables puede ser una paralela al eje de las abscisas.

Debido a la acción del tiempo, vibraciones y choques, producidas por la navegación y los numerosos agentes que influyen directamente sobre los cronómetros instalados a bordo de un buque, la recta de las marchas se aparta de este paralelismo y adquiere cierta inclinación con relación a las abscisas.

Si las marchas obtenidas en puerto durante un cierto período de observaciones se trazan sobre un gráfico, colocando su valor sobre el eje de las ordenadas y el de la temperatura en el de las abscisas, por lo general varios de los puntos así obtenidos no estarán en línea recta, a causa de los errores propios de la observación y las posibles irregularidades de la marcha durante los intervalos de dichas observaciones, lo cual sólo se aprecia una vez deducidos los resultados. Despreciando aquellos valores que más se aparten de los otros, los restantes darán una serie de puntos que indicarán si por ellos puede trazarse la recta, si el cronómetro está debidamente compensado y si los incrementos de la marcha obedecen a determinadas variaciones de temperatura, o en otros términos, si el instrumento sirve para navegar.

Bajo esta consideración y para determinar cualquier punto de una recta de esta naturaleza, punto que no es sino la marcha para una temperatura dada, basta sólo emplear su ecuación.

$$y = a\,x + b$$

siendo

y = la ordenada por determinar para un valor determinado de x.
a = el coeficiente angular de la recta.
b = la ordenada origen.

Adaptando en dicha ecuación los símbolos usados en los cronómetros, ésta quedaría en la siguiente forma:

$$m = m_0 + c\,\Theta$$

en la cual

m = la marcha a la temperatura Θ del ambiente.
m_0 = la marcha origen que podríamos llamar de «arreglo».
c = el coeficiente de marcha debido a la temperatura Θ.

Tomando en consideración el coeficiente t debido al tiempo, la ecuación definitiva será

$$m = m_0 + c\,\Theta + t.$$

El coeficiente t siendo por lo común muy pequeño, como ocurre en todo buen cronómetro, puede desde luego eliminarse, además de que las marchas utilizadas para la obtención de las constantes con anterioridad se corrigen y reducen a la fecha de la última observación.

Determinación de los coeficientes.—Como son tres las incógnitas, son necesarias por lo menos otras tantas ecuaciones de la misma forma y su determinación por el procedimiento analítico es por demás sencillo, por cuanto siempre se cuenta con gran número de observaciones.

Pero un observador cualquiera, y ántes de entrar a calcular las constantes de un cronómetro, deseará naturalmente tener una idea de la curva de marchas para apreciar por simple inspección la bondad del instrumento, y recurrirá a una construcción gráfica, la cual a simple vista, le indicará el resultado de sus observaciones, y más que todo, si el cronómetro obedece o nó a la ecuación de la recta.

Operemos prácticamente con un ejemplo:

Cronómetro magistral Ulyse Nardin N.° 423 del «Águila».—Observador: Teniente Hoffmann.—Marchas deducidas por diferencia de estados absolutos (correspondientes de sol).

Junio 16 de 1918...	$m = +\ 0^s.20$	$\Theta = +\ 12^\circ.5$
Junio 24..............	$= +\ 0\ .18$	$= +\ 9\ .8$
Julio 5..............	$= +\ 0\ .28$	$= +\ 11\ .4$
Septiemb. 25 de 1918	$m = +\ 0^s.33$	$\Theta = +\ 12^\circ.5$
Octubre 3...........	$= +\ 0\ .05$	$= +\ 14\ .3$
Diciembre 7.........	$= +\ 0\ .25$	$= +\ 15\ .8$
Enero 17 de 1919.	$= +\ 0\ .14$	$= +\ 19\ .6$
Enero 28............	$= +\ 0\ .13$	$= +\ 20\ .5$
Febrero 10..........	$= +\ 0\ .10$	$= +\ 20\ .0$

Calculemos el coeficiente debido al tiempo. Tenemos entonces entre el 16 de junio y el 25 de septiembre:

$$t = \frac{0^s.33 - 0^s.20}{101 \text{ días}} = +\ 0^s,00128$$

Corrigiendo las marchas para el 10 de febrero o sea para la fecha de la última observación, se tiene:

$m = +\ 0^s.50$	$\Theta = +\ 12^\circ.5$
$= +\ 0\ .47$	$= +\ 9\ .8$
$= +\ 0\ .56$	$= +\ 11\ .4$
$= +\ 0\ .50$	$= +\ 12\ .5$
$= +\ 0\ .21$	$= +\ 14\ .3$
$= +\ 0\ .33$	$= +\ 15\ .8$
$= +\ 0\ .17$	$= +\ 19\ .6$
$= +\ 0\ .14$	$= +\ 20\ .5$
$= +\ 0\ .10$	$= +\ 20\ .0$

Con estas marchas corregidas y considerando la expresión $m = m_0 + c\,\theta$ formemos tantas ecuaciones como marchas se tengan

$$
\begin{aligned}
0.50 &= m_0 + 12.5\,c \\
0.47 &= m_0 + 9.8\,c \\
0.56 &= m_0 + 11.4\,c \\
0.50 &= m_0 + 12.5\,c \\
0.21 &= m_0 + 14.3\,c \\
0.33 &= m_0 + 15.8\,c \\
0.17 &= m_0 + 19.6\,c \\
0.14 &= m_0 + 20.5\,c \\
0.10 &= m_0 + 20.0\,c
\end{aligned}
$$

Haciendo la suma

$$2.98 = 9m_0 + 136.4\,c$$

Cuyo promedio es

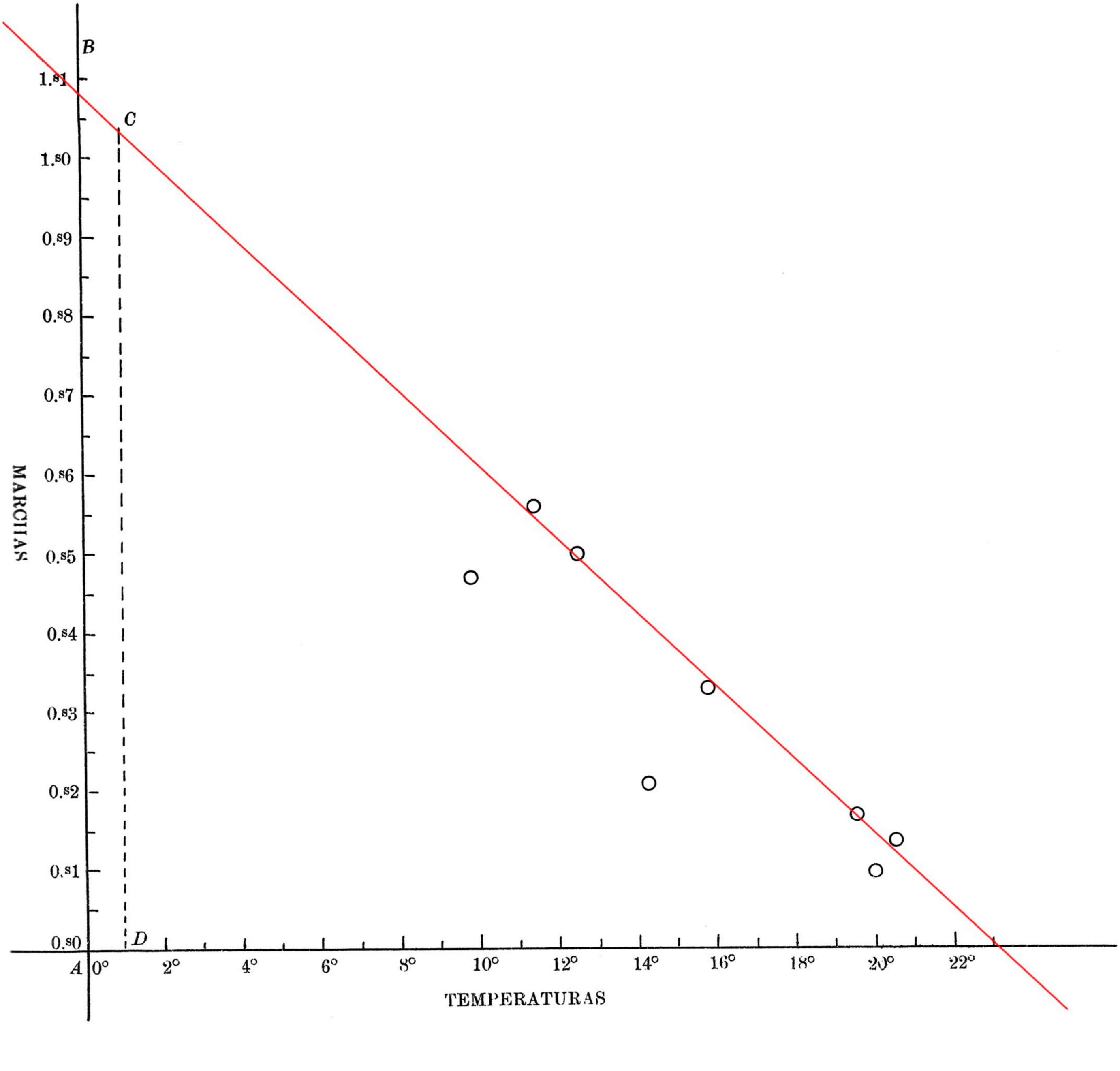
$$0.33 = m_0 + 15.16\,c \ (1).$$

Restando este promedio de cada ecuación anterior

$$
\begin{aligned}
+\,0.17 &= -\,2.66\,c \\
+\,0.14 &= -\,5.36\,c \\
+\,0.23 &= -\,3.76\,c \\
+\,0.17 &= -\,2.66\,c \\
-\,0.12 &= +\,0.86\,c \\
0.00 &= +\,0.64\,c \\
-\,0.16 &= +\,4.44\,c \\
-\,0.19 &= +\,5.34\,c \\
-\,0.23 &= +\,4.84\,c
\end{aligned}
$$

Multiplicando ambos miembros de cada ecuación por su respectivo coeficiente de c:

$$
\begin{aligned}
-\,0.4522 &= +\,7.0756\,c \\
-\,0.7504 &= +\,28.7296\,c \\
-\,0.8648 &= +\,14.1376\,c \\
-\,0.4522 &= +\,7.0756\,c \\
-\,0.1032 &= +\,0.7396\,c \\
0.0000 &= +\,0.4096\,c \\
-\,0.7104 &= +\,19.7136\,c \\
-\,1.0146 &= +\,28.5156\,c \\
-\,1.1132 &= +\,23.4256\,c
\end{aligned}
$$



Por consiguiente y considerando siempre $\Theta = 1$, el valor numérico de la ecuación citada será:

$$1^s.046 = 1^s.093 + c$$

Sumando algebraicamente

$$-5.4610 = +129.8224\ c$$

Sacando el promedio

$$-0.6068 = +14.4247\ c$$

de donde

$$c = -\frac{0^s.6068}{14.4247} = -0^s.042$$

Introduciendo este valor en la ecuación (1).

$$0.33 = m_0 - 15.16 \times 0.042$$
$$0.33 = m_0 - 0.6367$$
$$m_0 = 0^s.33 + 0^s.6367 = +0^s.97$$

Colocando los valores numéricos de la ecuación de la recta:

$$m = 0^s.97 - 0^s0.42 \times \theta$$

y considerando el coeficiente del tiempo

$$m = 0^s.97 - 0^s.042 \times \theta + 0^s.00128.$$

Procedimiento gráfico—Este método presenta la ventaja principal de dar una solución directa.

Veamos el mismo ejemplo anterior.

Poniendo por ordenadas las marchas y por abscisas las temperaturas correspondientes, tendremos la figura adjunta y de la cual deducimos:

para θ = cero, en la ordenada origen se encuentra

$$m = AB = +1^s.093$$

o sea que en la ecuación de la recta $m = m_0 + c\ \theta$,

$$m = m_0 = +1^s.093$$

Para $\theta = 1$ el mismo gráfico dá

$$m = CD = +1^s.046$$

Por consiguiente y considerando siempre $\theta = 1$, el valor numérico de la ecuación citada será:

$$1^s.046 = 1^s.093 + c$$

de donde

$$c = 1^s.046 - 1^s.093 = -0^s.047$$

El valor numérico de la ecuación en función de los coeficientes será

$$m = 1^s.093 - 0^s.047 \times \theta$$

y considerando el factor tiempo

$$m = 1^s.093 - 0^s.047 \times \theta + 0^s.00128$$

Comparando ambos procedimientos vemos las ventajas de la construcción gráfica; su aplicación abrevia el cálculo considerablemente, permitiendo comprobar inmediamente cualquier error y eliminar en parte el cometido en las observaciones. El hecho mismo de tener el trazado de la recta de las marchas, evita el empleo del cálculo para obtener la marcha a cualquier temperatura del ambiente, pues bastará entrar directamente al gráfico para encontrar el dato que se busca.

Los resultados deducidos por el cálculo y gráfico difieren sólo en los centésimos, y es debido a que en este último se han eliminado dos de las observaciones que están en desacuerdo con las que indican la dirección general que sigue la recta.

Lo que habría que ver y vendría a formar complemento a este estudio, sería el comprobar si después de una recalada en donde haya oportunidad de rectificar las marchas de mar, la recta tiene la propiedad de transladarse paralelamente así misma o en otra dirección, a semejanza de la parábola térmica. Igualmente digno de experimentarse sería el verificar si en la mar, la recta de las marchas corresponde al verdadero movimiento de los cronómetros modernos, y si en realidad su ecuación es la que exactamente debe adoptarse para estos instrumentos.

Este vacío que siento no haber tenido oportunidad de comprobar, confío llenarlo más tarde con datos más completos y que espero recoger de todas aquellas personas que tengan interés por el progreso de la navegación.

HÉCTOR DÍAZ,
Capitán de Corbeta.