

COMO SE PUEDE TOMAR LA HORA AL CENTESIMO DE SEGUNDO

por

Manuel Medina Peralta

RESUMEN

This paper describes a simple procedure to "read time to the hundredth of a second", using the method called "acoustic coincidences".

This method essentially consists of comparing a sidereal chronometer with the signals that are emitted by radio from the WWV Station of the National Bureau of Standards.

Since the sidereal chronometer and the signals emitted from the WWV Station correspond to different units of time, due to the fact that the signals are of mean time, a coincidence will be observed approximately every three minutes. At this moment, the fractions of second are null in both time-keepers. Therefore, fractions of second will not have to be observed in order to compare the radio signals with the chronometer, and the ΔT will be determined with precision,

which could not possibly be done without the use of a recording instrument.

This procedure is illustrated in two numerical examples where it is shown that the probable error of result is of the order of some thousandth of a second.

En varias operaciones de Astronomía de Posición y de Física Experimental, frecuentemente se necesita precisar la hora de algún fenómeno con una precisión de centésimos y aún milésimos de segundo.

Lo que se ocurre, en estos casos, es "tomar la hora" del Observatorio o recibir las señales de tiempo que transmiten algunas estaciones de radio que están conectadas con algún Observatorio.

Antes de entrar en materia precisaremos que, el problema de "tomar la hora" no debe confundirse con el de "determinar la hora", operación esta última, que efectúan en su trabajo normal, por medio de la observación de estrellas, la mayor parte de los Observatorios Astronómicos. Nuestro problema es algo más sencillo, aunque no por ello menos interesante. Es un problema que se presenta con frecuencia no sólo en el laboratorio, sino en el alto deporte y en asuntos de carácter jurídico.

Para "tomar la hora" se necesita disponer de un guardatiempo que puede consistir en un péndulo o en un cronómetro. Este último es el más generalmente usado, especialmente en operaciones de Astronomía de Posición. También se necesita, cuando tiene que recurrirse al radio, un buen receptor en el que puedan sintonizarse las señales de tiempo a que antes nos hemos referido.

El problema de tomar la hora consiste en determinar la corrección de nuestro cronómetro en un momento dado. En términos astronómicos, esta corrección se llama la ΔT del cronómetro.

Se efectúa esta determinación por medio de una comparación instantánea con el péndulo patrón o con las señales de radio. Esta operación se puede hacer por cualquiera de los tres procedimientos siguientes: a) a vista y oído;

b) por registro cronográfico y c) por coincidencias auditivas.

Cada uno de estos procedimientos requiere cierta técnica especial y proporciona resultados más o menos precisos.

Si se hace la comparación a vista y oído, en condiciones óptimas, se pueden obtener precisiones de un décimo de segundo.

El empleo del cronógrafo garantiza precisiones de centésimo de segundo, pero requiere que tanto el péndulo patrón como el cronómetro que desea compararse, tengan un dispositivo eléctrico a fin de que cierren o abran un circuito cada segundo y quede marcado este instante en una hoja o tira de papel.

Finalmente, el método de las coincidencias sólo requiere que los guardatiempos, patrón y el que se compara, midan diferentes unidades de tiempo. Esto es, podemos comparar por este método, señales de tiempo medio con los tic-tac de un cronómetro de tiempo sidereo y viceversa. A este método vamos a referirnos con algún detalle.

La comparación de dos guardatiempos, cualquiera que sea su naturaleza, consiste en precisar y anotar la hora, el minuto, el segundo y la fracción de segundo que marcan sus carátulas en un mismo instante físico. En el supuesto de que la indicación del péndulo o cronómetro patrón o las señales sean correctas, lo que los Observatorios garantizan al milésimo de segundo, la corrección o ΔT del cronómetro que se compara es igual a la diferencia de ambas indicaciones, precedida de los signos + o - según que el cronómetro en prueba esté atrasado o adelantado.

No podríamos usar, sin embargo, este dato único para determinar con nuestro reloj o cronómetro un instante cualquiera. Se requiere además, conocer lo que adelanta o atrasa en la unidad de tiempo. A este nuevo dato se llama "marcha cronométrica" y un poco más adelante veremos cómo se determina.

Cuando se tienen la ΔT de un cronómetro, la hora T a que fue hecha la comparación y su marcha horaria, podrá calcularse la hora para un momento cualquiera.

El método de las coincidencias auditivas fue desarrollado en Europa,

a principios de este siglo y apareció publicado por primera vez en la Revue Astronomique el año de 1912. Se aplicó con alguna frecuencia antes de que pudieran grabarse en cronógrafo las señales de tiempo, especialmente en el problema de longitudes. Son de citarse las determinaciones de este género hechas entre Alger y Paris y entre Washington y Paris empleando el método de las coincidencias. Nos correspondió aplicarlo por primera vez en México, el año de 1926, cuando determinamos la diferencia de longitudes entre la Ciudad de Zacatecas y los meridianos de Paris, de Washington y de Honolulu, en el curso de las longitudes mundiales.

Consiste este método, esencialmente, en hacer las comparaciones de los dos guardatiempos - el patrón y el que está en estudio - en los momentos en que marcan segundos cerrados, esto es, cuando son nulas sus fracciones de segundo.

En esta forma se elimina la dificultad de estimar fracciones de segundo, y la operación se reduce en anotar la hora, el minuto y el segundo de ambos guardatiempos en dicho instante, que llamaremos "momento cero",

Para lograr la condición de que exista un momento, o mejor dicho, varios momentos cero, es requisito indispensable que los dos guardatiempos *baten diferentes unidades de tiempo*.

Supongamos, en efecto, que se dispone de dos péndulos de diferente longitud y que, por lo mismo, baten diferentes unidades de tiempo. Si los suspendemos uno frente al otro y los apartamos de la vertical, para hacerlos oscilar simultáneamente, observaremos lo siguiente: a) El péndulo de menor longitud llega primero al extremo de su carrera: b) Después de algunas oscilaciones, los dos péndulos ocupan posiciones opuestas: y c) Al cabo de n oscilaciones, los péndulos vuelven a coincidir en la vertical, y el péndulo de menor longitud ha ganado una oscilación sobre el de longitud mayor. Esta superposición de los péndulos sobre la vertical marca el momento en que son nulas las fracciones de segundo en ambos guardatiempos y constituye lo que se llama una "coincidencia".

En algunas operaciones, las coincidencias se aprecian visualmente; en otras, como en la que nos ocupa, la apreciación es auditiva.

De lo anterior se concluye que, siendo la unidad de tiempo medio el segundo, cuya duración está determinada por dos pasos consecutivos del péndulo patrón por la vertical, a esta posición corresponde el instante "cero". Podemos elegir este instante para efectuar la comparación de ambos guardatiempos, en el que no existen fracciones de segundo que apreciar.

La condición para poder obtener coincidencias puede lograrse de varias maneras, tanto en la estación transmisora como en la receptora. Para que sea posible emplear las señales en comparaciones de cronómetros de tiempo medio o sidereo, es necesario que dichas señales no sean de ninguno de estos dos tipos de tiempo. Se emplea entonces, un tipo de señales llamado "rimadas" o "científicas" que emiten algunas estaciones Europeas.

Cuando se transmiten señales de tiempo medio, como las que provienen del Observatorio Naval de Washington, puede usarse un cronómetro de tiempo sidereal como intermediario para determinar el estado de un cronómetro de tiempo medio.

El tiempo medio y el tiempo sidereal son dos unidades de tiempo que difieren cerca de tres minutos cincuenta y seis segundos en un día medio. Si, de acuerdo con el ejemplo anterior, ponemos frente a frente un péndulo de tiempo medio, que podemos suponer que sea el patrón que origina las señales de radio, y un péndulo sidereal, observaremos que en el transcurso de un día medio, los dos péndulos coinciden en su paso por la vertical un número de veces igual al de segundos que contiene la cifra $3m\ 56s$ o sean $236s$.

En el transcurso de una hora se efectuarán $236/24 = 9$ coincidencias; y si usamos en la estación receptora un cronómetro marino que bate el medio segundo, se duplicará el número de coincidencias a 18 por hora. Se tendrá así una coincidencia cada tres minutos aproximadamente.

¿Cómo apreciar las coincidencias entre las señales de radio de segundo en segundo y los tic-tac del cronómetro de tiempo sidereal? Nosotros hacemos esta apreciación a oído.

En efecto, fijando nuestra atención en las señales de radio y contándolas mentalmente, a partir de la señal cero del minuto respectivo, con la vista en el instantero del cronómetro sidereo, notaremos que, en un momento cualquiera, ambos sonidos están más o menos distanciados, pero que poco a poco, se van acercando uno al otro hasta superponerse y formar un sólo sonido en acorde. Este instante corresponde al de la coincidencia y señala el momento en que no existen fracciones de segundo en ambos guardatiempos. Se anotan la hora, minuto y segundo de cada guardatiempo y se repite esta operación el número de veces que sea necesario para obtener la precisión deseada. Generalmente con tres coincidencias sucesivas se obtiene un promedio cuyo error probable no excede de un centésimo de segundo.

Siguiendo la secuela anterior, se obtienen los datos para calcular la corrección absoluta o ΔT del cronómetro sidereal. El cálculo de esta corrección se hace por medio de la fórmula siguiente:

$$\Delta T = H.S. \text{ a } 0h. \text{ merid } 90 + H.M. + \text{Correcc.} - \text{Dif. Long.} - H.S.$$

cuyos términos tienen el significado siguiente:

ΔT es la corrección al cronómetro sidereal en el momento medio de la comparación.

H.S. a 0h. merid 90 es la hora sidereal a las 0 horas del meridiano 90 cuyo dato se toma del Anuario de Tacubaya entrando con el argumento de la fecha de observación.

H.M. es la hora media de la coincidencia.

Correcc.- Corrección aditiva para transformar el intervalo medio en sidereal. Se toma de la Tabla respectiva publicada en el Anuario, entrando con la hora media de coincidencia como argumento.

Dif. de Long.- La diferencia de longitud con relación al meridiano 90 W. G.

H.S.- Indicación del cronómetro sidereal en el momento de la coincidencia.

Inmediatamente después de la comparación de las señales de radio con el cronómetro de tiempo sidereal, se comparan entre sí los cronómetros sidereal y medio si es que se desea obtener la corrección de este último.

Con este fin, el Observador coloca los cronómetros a unos 30 centímetros de distancia uno del otro y, a la vez, se sitúa en una posición favorable para escuchar distintamente por cada oído los tic-tac del cronómetro que le queda más cerca. A partir de un principio de minuto comienza a contar mentalmente los segundos del cronómetro de tiempo medio, con la mirada en el instantero del cronómetro de tiempo sidereal. Inmediatamente se dá cuenta si los cronómetros están cerca o lejos de la coincidencia.

De una coincidencia a la inmediata, el instantero del cronómetro sidereal avanza medio segundo. Como las coincidencias distan tres minutos aproximadamente, por cada 36 segundos del reloj medio la manecilla del sidereo avanzará un décimo de segundo. Esto ayudará al Observador a prefijar el momento de la coincidencia, aunque para observarla y anotarla debe despojarse de todo prejuicio.

Después de anotar tres coincidencias sucesivas, calculará su observación por medio de la siguiente fórmula, derivada de la anterior:

$$\Delta T_m = H.S. - (H.S. \text{ a } 0h. \text{ merid } 90 + c) - C + \text{Dif. Long.} - H.M.$$

El significado de las literales es el mismo de la fórmula anterior con la diferencia de que la corrección c se toma de las Tablas con la diferencia de longitud con el meridiano 90 como argumento; y C con el argumento resultante de la resta de los dos primeros términos de la fórmula.

En la página siguiente se desarrollan dos ejemplos numéricos de cálculo de correcciones.

COMPARACIONES CRONOMETRICAS EMPLEANDO LAS SEÑALES
DE TIEMPO DEL BUREAU OF STANDARDS DE WASHINGTON
transmitidas por la estación WWVH

Estación: Torre de Ciencias, Ciudad Universitaria
Observador: Manuel Medina Peralta

El 10 de septiembre de 1957 se tomaron los siguientes datos de comparación a oído:

REGISTRO DE COINCIDENCIAS

Señales WWVH

Cronóm. Sidereo Dent # 39953

8 26 15.0

7 06 04.5

8 29 20.0

7 09 10.0

8 32 12.0

7 12 02.5

Cronóm. medio Blackie # 750

Cronóm. Sidereo Dent # 39953

8 39 00.0

7 18 57.0

8 42 06.0

7 22 03.5

8 45 12.0

7 25 10.0

CALCULOS

1.- De la ΔT del Cronómetro Sideral Dent # 39953

Hora sid. a las 0h (90)	23 16 02.05	23 16 02.05	23 16 02.05
Hora media	8 26 15	8 29 20	8 32 12
Correcc.	+ 1 23.17	+ 1 23.67	+ 1 24.15
Dif. de longitud	- 36 43.90	- 36 43.90	- 36 43.90
Hora cronóm. de la coin.-	7 06 04.5	7 09 10.0	7 12 02.5
ΔT	+ 51.82	+ 51.82	+ 51.80
	Promedio +	51.813 a las 7 ^h 09 ^m 2	
	error prob. \pm	3.003	

2.- de la ΔT_m del Cronómetro Medio Blackie # 750

Hora cronóm. Sideral	7 18 57.00	7 22 03.50	7 25 10.00
ΔT	+ 51.817	+ 51.817	+ 51.817
Hora sideral	7 19 48.813	7 22 55.313	7 26 01.813
Hora Sid. a 0h + c	23 16 08.100	23 16 08.100	23 16 08.100
Diferencias	8 03 40.713	8 06 47.213	8 09 53.713
Correc. por intervalo	- 1 19.240	- 1 19.760	- 1 20.250
Hora local media	8 02 21.473	8 05 27.453	8 08 33.463
Dif. de longitud	36 43.900	36 43.900	36 43.900
Hora legal	8 39 05.373	8 42 11.353	8 45 17.363
Hora Cronóm. de Coinc.	8 39 00.0	8 42 06.0	8 45 12.0
ΔT_m	+ 5.373	+ 5.353	+ 5.363
	Promedio +	5.363 a las 8 ^h 42 ^m 1	
	error prob. \pm	0.003	

La determinación de la "marcha" es un problema esencial, sobre todo en el cálculo de Longitudes Geográficas. Teniendo en cuenta que las alteraciones en el movimiento de relojería de un cronómetro son el resultado de varias causas, entre las que figuran prominentemente los cambios de temperatura, conviene que la marcha se determine dentro de las condiciones en que va a usarse el cronómetro; por ejemplo, si va a usarse en la noche o en el día, las observaciones respectivas se calcularán con las marchas nocturnas o diurnas, respectivamente.

La determinación de la marcha consiste en hacer dos comparaciones y determinar las correcciones respectivas ΔT_1 y ΔT_2 a las horas T_1 y T_2 . La marcha se calcula por la fórmula:

$$M_h = - \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{T_2 - T_1}$$

EJEMPLO:

Para determinar la marcha del cronómetro Negus # 1763, se hicieron las dos comparaciones siguientes el 14 de septiembre de 1957.

$$\Delta T_1 = + 5.52 \text{ a las } 10^h 09^m 32^s$$

$$\Delta T_2 = + 5.51 \text{ a las } 12 00 53$$

El cálculo de la fórmula anterior proporciona el siguiente resultado:

$$\text{Marcha Horaria } M_h = - 0.500538$$

Terminaremos este trabajo con algunas recomendaciones para el uso y mantenimiento de los cronómetros:

- 1.- Protéjaseles de los cambios de temperatura por todos los medios posibles.
- 2.- Háganse aceitar cada dos años por un relojero experimentado.
- 3.- Déseles cuerda diariamente a la misma hora.
- 4.- Para transportarlos, párese el movimiento de relojería y acúñese el volante con unas tiritas de corcho.
- 5.- En cada Estación o lugar en que vayan a usarse, póngase el cronómetro medio a tiempo legal y el cronómetro Sidereo a tiempo sideral local.