

# Cronómetros y Temporizadores

Desde tiempos milenarios, el ser humano ha querido medir el tiempo porque en él transcurre su vida, los acontecimientos y los modos de pensar; de esa preocupación nació el calendario como una forma más exacta posible de medirlo.

Todo nuestro entorno funciona sobre la base de una exacta programación del tiempo.

Se requiere una cantidad exacta de tiempo para que una pieza pueda ser armada o fabricada con un determinado material y ese tiempo difiere del que necesitaría la misma pieza si el material fuera distinto. En el tráfico (terrestre-marítimo y aéreo), los movimientos están sujetos a los tiempos y se deben considerar para sincronizarse con otros factores.



Dali, S. 1931

Hoy en día, la mayoría de nuestros aparatos electrónicos se rigen por los latidos de un instrumento cronométrico de alta exactitud. Los ordenadores contienen un reloj de cristal de cuarzo que regula su funcionamiento. Desde los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se envían señales que no solamente calibran las funciones de certeros equipos de navegación, sino también las de teléfonos celulares, sistemas de transacciones bursátiles instantáneas y redes de distribución de energía de ámbito nacional. La integración en nuestra vida cotidiana de estas técnicas de cronometría ha llegado a ser tan íntima, que sólo cuando fallan caemos en la cuenta de nuestro grado de dependencia.

En esta edición de La Guía MetAs se describirá algunos aspectos importantes de los cronómetros y temporizadores utilizados como instrumentos de medición de tiempo.

## *Somos su Relevo a la Calidad*

*La Guía MetAs*, es el boletín periódico de MetAs & Metrólogos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrólogos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro  
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México  
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas  
E-mail: laguiametas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

### Servicios Metroológicos:

#### Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones, Masa, Densidad, Volumen y Óptica

#### Ingeniería:

Selección de Instrumentos,  
Desarrollo de Sistemas

#### Gestión Metroológica:

Subcontratación de Servicios,  
Selección de Proveedores

#### Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento y Asesoría en  
Metrología y su Relación con Sistemas de Calidad

Cronómetro



Siempre ha sido importante disponer de un método para medir el tiempo. La única manera de medir el tiempo consiste generalmente en registrar las repeticiones de sucesos regulares. Otra consideración importante es el instrumento o aparato que se ha de utilizar.

### Definiciones

La palabra cronómetro proviene de la mitología griega, el nombre se le dio por el Dios Cronos que era el Dios del tiempo.

**Cronómetro:** es un reloj o una función de reloj que sirve para medir fracciones de tiempo, normalmente cortos y con exactitud.

**Temporizador:** Sistema de control de tiempo que se utiliza para abrir o cerrar un circuito en uno o más momentos determinados, y que conectado a un dispositivo lo pone en acción.

**Reloj:** Se denomina reloj a un instrumento que permite medir el tiempo. Existen diversos por ejemplo: Reloj de pulso, reloj de bolsillo, reloj de salón ó pared. Lo más importante y esencial de las funciones de un reloj común es proporcionar la hora.

Los cronómetros y los temporizadores son instrumentos usados para medir *intervalo de tiempo*, el cual es definido como el *lapso de tiempo entre dos eventos*.

Un ejemplo de intervalo de tiempo es nuestra edad, cual es solo un lapso de tiempo desde que nacimos. A diferencia de un reloj convencional el indicador muestra el tiempo de cada día en horas, minutos y segundos de una época absoluta un punto de inicio (así como el principio del día o el año), un cronómetro o temporizador simple mide e indica el periodo de tiempo desde un punto de inicio arbitrario.

La unidad del intervalo de tiempo es el *segundo* ( s ). El SI define al segundo propiamente del átomo de cesio y por esta razón los osciladores de cesio son considerados así patrones primarios para intervalo de tiempo y frecuencia. El segundo es la duración del tiempo 9 192 631 770 períodos de la radiación asociada a la transición hiperfina del estado base del átomo de cesio 133.

La *resolución* de un cronómetro o temporizador representa el periodo de tiempo más pequeño que el instrumento puede medir o indicar.

Una resolución común para cronómetros digitales es de 1 ms (0,001 s) o mejores, y para cronómetros analógicos es de 1/5 de segundo, o 0,2 s.

Aunque los cronómetros y temporizadores miden intervalo de tiempo para su funcionamiento usan una fuente de frecuencia. Frecuencia es el número de veces que se repite un fenómeno en la unidad de tiempo. La unidad de la frecuencia (f) es el hertz (Hz), que no es una unidad base del SI pero es una de las unidades derivadas.

### Base de tiempo (oscilador de referencia)

Es la que produce la señal de frecuencia usada para los cronómetros o temporizadores para medir el intervalo de tiempo. Hoy en día estos dispositivos por lo general utilizan osciladores de cristal de cuarzo.

La frecuencia más común utilizada en los cristales de cuarzo es de 32 768 Hz.

En general todas las calibraciones de cronómetros y de temporizadores son una simple comparación entre el dispositivo bajo prueba y el patrón de referencia.

Cuando se calibra un cronómetro o temporizador se puede usar un patrón de intervalos de tiempo o un patrón de frecuencia.

Si es utilizado un patrón de intervalos de tiempo este es comparado con el indicador del equipo bajo prueba. Si usamos un patrón de frecuencia este es comparado con el oscilador de la base de tiempo del equipo bajo prueba.

Temporizador



Reloj de Arena



## Tipos de cronómetros

Los cronómetros en general pueden ser clasificados en dos categorías:

*Tipo I:* Digitales que emplean oscilador de cuarzo y un circuito electrónico para medir el intervalo de tiempo.

*Tipo II:* Son los cronómetros que tienen un diseño analógico y usan mecanismos mecánicos para medir los intervalos de tiempo.

### Teoría Básica de Operación

Cada cronómetro está compuesto por cuatro elementos: fuente de poder, base de tiempo, contador y un indicador. El diseño y construcción de cada componente depende del tipo de cronómetro.

#### Cronómetro Digital ( Tipo I )

La fuente de poder es usualmente una celda de plata o una batería alcalina que alimenta el oscilador y la circuitería del contador y el indicador. Usualmente la base de tiempo es un oscilador de cristal de cuarzo, con una frecuencia nominal de 32 768 Hz.

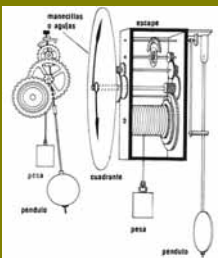
#### Cronómetro Mecánico ( Tipo II )

Para el tradicional cronómetro mecánico, la fuente de poder es un resorte helicoidal, el cual almacena energía obtenida por cuerda. La base de tiempo es usualmente una rueda balanceada que funciona como un péndulo de torsión. El alcance en el cual el resorte funciona es gobernado por una rueda balanceada la cual está diseñada para proveer un periodo consistente de oscilación, relativamente independiente de factores tales como la fricción, temperatura y orientación.

En la mayoría de los cronómetros mecánicos, la rueda balanceada está diseñada para oscilar un periodo de 2,5 s, y produce 5 tic o latidos por segundo.

La rueda balanceada está conectada a un mecanismo el cual mide el retroceso del resorte y provee impulsos que mantienen el balance de la rueda en movimiento. Es este el retroceso del resorte el que conduce el indicador del contador. En este tipo de dispositivo el contador está compuesto de un tren de engranes que dividen la velocidad de la rotación del mecanismo rueda a las revoluciones apropiadas de la velocidad por segundo, minuto y hora.

Reloj Mecánico



## Métodos de Calibración

Existen generalmente 3 métodos aceptables para la calibración de cronómetros y temporizadores.

### A. Comparación Directa

El cual compara el indicador del instrumento bajo calibración con un patrón de intervalos de tiempo.

### B. Totalizador

Este requiere una señal de un generador sintetizador, un contador y una frecuencia de referencia.

### C. Base de tiempo

Este compara la frecuencia de la base de tiempo del instrumento bajo calibración con una frecuencia de referencia.

**Cronómetro**

Es un reloj o una función de reloj que sirve para medir fracciones de tiempo, normalmente cortos y con gran exactitud.

Tabla 1. Tabla comparativa de los métodos de calibración

Área	Método		
	Comparación Directa	Totalizador	Base de Tiempo
Requerimientos de equipamiento	Excelente	Mejor	Mejor
Velocidad	Bueno	Mejor	Excelente
Incertidumbre	Bueno	Bueno	Excelente
Aplicabilidad	Bueno	Excelente	Mejor

**A. Comparación Directa**

El Método de comparación directa es el más común método usado para calibrar cronómetros y temporizadores. Este requiere un mínimo de equipo, pero la incertidumbre es la más grande que la de los otros métodos.

Las referencias usadas para este método de comparación requiere una referencia de intervalo de tiempo. Esta referencia es usualmente o puede ser una señal de tiempo de audio, pero en muchos casos, con referencia al tiempo indicador que se pueda estar usando.

Las señales de tiempo de audio son usualmente obtenidas con un radio de onda corta o un teléfono. Desde entonces el intervalo de tiempo es medido y no un tiempo absoluto, el retraso de fijar la señal desde la fuente no es tan importante como lo es la señal constante que debe permanecer durante la calibración.

Los teléfonos de servicios (Telmex) no son considerados como referencias y no pueden ser usados. En todos los casos se deben usar las fuentes originales de cada Instituto Nacional de Metrología, aquí en México el CENAM. Que pueden ser ; Tiempo Universal Coordinado, del Este, Centro, Montaña y Pacífico.

Es importante mencionar que existen varias señales de radio y teléfono que pueden ser usadas y no pueden usarse para los cronómetros. Se mencionan algunas

1. Señal de tiempo obtenida por radio
2. Señal de tiempo obtenida por teléfono
3. Indicador de tiempo

**Ventajas Método de Comparación directa**

Este método es relativamente fácil de desarrollar si un teléfono es usado , no requiere de un equipo especial o patrón. Esto puede ser usado para calibrar cronómetros y diferentes tipos de temporizadores ambos pueden ser digitales o analógicos.

**Desventajas Método de Comparación directa**

La respuesta del operador al dar el arranque y paro del equipo es una parte significativa del total de incertidumbre, especialmente en intervalos cortos de tiempo.

En la tabla 2 se muestra la contribución de una variación 300 ms en la reacción humana en la medición de la incertidumbre total, para periodos de mediciones desde 10 s a 1 día.

**Intervalo de Tiempo**

Definido como el lapso de tiempo entre dos eventos

**UNIDAD SI**

s



Tabla 2 Contribución de incertidumbre en diferentes tiempos de respuesta

Horas	Minutos	Segundos	Incertidumbre (%)
		10	3
	1	60	0,5
	10	600	0,05
	30	1 800	0,0056
1	60	3 600	0,0016
2	120	7 200	0,0042
6	360	21 600	0,0014
12	720	43 200	0,00069
24	1 440	86 400	0,00035

En la tabla anterior se muestra que mientras más largo sea el intervalo de tiempo medido, menos impacta en la incertidumbre total el paro y arranque del operador. Por lo tanto es lo mejor medir periodos largos así como práctico para reducir la incertidumbre que se introduce por el operador.

*Incertidumbre de medición*

El método de comparación directa involucra en su calibración el uso de una referencia de intervalo de tiempo como una señal físicamente para el paro y arranque del cronómetro. La indicación del cronómetro del intervalo de tiempo es comparada con una referencia conocida de intervalo de tiempo. Las tres más importantes fuentes de incertidumbre a considerar son:

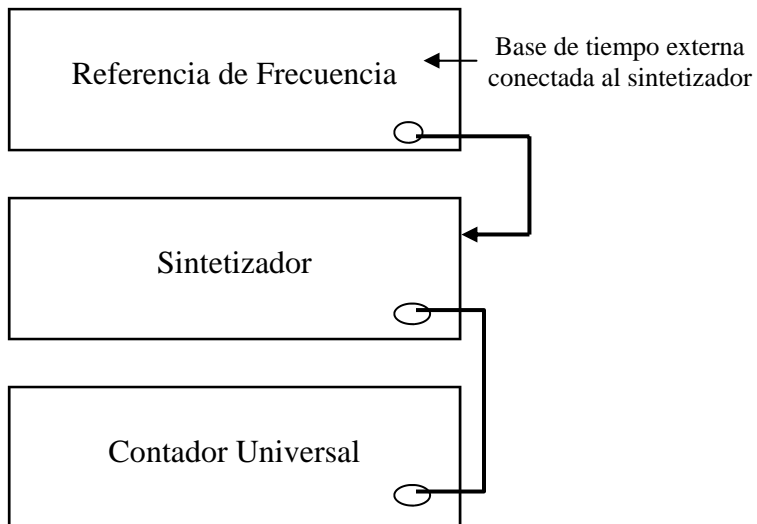
1. Incertidumbre de la referencia
2. Tiempo de respuesta del factor humano
3. Resolución del equipo.

**B. Totalizador**

Este método totalizador elimina parcialmente la incertidumbre por la reacción de tiempo del factor humano, pero esto requiere calibrado una señal de un generador y contador universal.

El contador es puesto en totalizar con un disparo manual. Una señal conocida del sintetizador es conectado al contador, y una frecuencia del laboratorio primario es utilizada como base de tiempo externa.

Diagrama a bloques del Método Totalizador



Una referencia externa no es necesario para el contador porque el operador está controlando el tiempo de disparo. La frecuencia debe tener al menos un periodo para el inicio de la medición, el arranque del cronómetro es manualmente realizado y abre la compuerta del contador al mismo tiempo. Un modo de hacer esto fácilmente es presionando el botón de arranque y paro del reloj, contra el botón de inicio del contador.

Otro método es presionar el arranque y paro del botón del cronómetro con una mano y simultáneamente presionar el botón de arranque y paro del contador. Después de un conveniente periodo de tiempo (determinado por los requerimientos del cronómetro o timer a ser calibrado) usa el mismo método de paro del cronómetro, y simultáneamente cierra la compuerta del contador.

Una vez que el contador está parado, compara las dos lecturas. Usa la ecuación para obtener los resultados, donde el incremento de  $t$  es la diferencia entre la indicación del contador y el cronómetro, y  $T$  es la duración del tiempo de la medición.

Por ejemplo si: incremento de  $t$  es = 100 ms y  $T = 1$  h, la incertidumbre del tiempo es  $0,1 \text{ s} / 3\,600 \text{ s}$  o aproximadamente  $2,8 \cdot 10^{-5}$  (0,0028 %).

#### *Incertidumbre de medición*

Este método de calibración, involucra una señal conocida del generador como entrada al contador universal configurado en el modo totalizador. El contador cuenta las oscilaciones de la frecuencia de entrada durante el periodo de tiempo de inicio y paro por el operador. Los factores de contribución a la incertidumbre de la medición son:

1. Incertidumbre de la frecuencia de entrada
2. Incertidumbre debido al tiempo de la reacción humana
3. Incertidumbre debido al contador (contribución por resolución del contador ya que la base de tiempo no fue usada porque el tiempo de compuerta fue manual)
4. Resolución del instrumento bajo calibración

#### C. Base de tiempo

El método de medición de base de tiempo es un método de medición preferido para la calibración de cronómetros y temporizadores, porque la base de tiempo es medida directamente ya que esta introduce la menor cantidad de incertidumbre en la medición, porque la base de tiempo de los instrumentos bajo calibración es medida directamente.

El método exacto de medición de la base de tiempo de los cronómetros o temporizadores depende del tipo de cronómetro ó temporizador ha ser calibrado. Si el equipo tiene como base de tiempo un cristal de cuarzo, es recogido un sonido acústico y usado para monitorear el cronómetro 32 768 Hz como la frecuencia de base de tiempo en un contador calibración de frecuencia.

La referencia para la calibración de la base de tiempo es el oscilador de la base de tiempo del instrumento. Por ejemplo, si la frecuencia del contador es usado, la referencia de la medición es la base de tiempo del oscilador del contador de frecuencia. Para establecer la trazabilidad, la base de tiempo del contador de frecuencia debe estar calibrado. Sin embargo, una mejor solución es tener o mantener una señal de referencia de 5 MHz o 10 MHz que puede ser usada como base de tiempo externa a un contador de frecuencia y para otros equipos de prueba. Si una base de tiempo externa es usada y su incertidumbre es conocida, esto no es necesario para calibrar la base de tiempo interna.

Dos métodos de calibración puede ser usados para calibrar cronómetros, uno de ellos es usando sistemas de medición que existen en el mercado y el otro es usando un contador de frecuencia con un lector acústico. Es importante notar que ninguno de los dos métodos de calibración requiere abrir el cronómetro o el temporizador. Es importante recordar que nunca se debe desarmar un y cronómetro o temporizador para medir la frecuencia de la base de tiempo haciendo una conexión eléctrica directa.

En 1721  
George  
Graham.  
Compensa  
temperatura  
por medio  
de  
una  
ampolleta  
de mercurio



En 1967 se elige  
nuevo patrón en base  
a la frecuencia de  
vibración atómica

### *Ventajas Método de Comparación directa*

El método de base de tiempo elimina la incertidumbre introducida por la reacción del tiempo del factor humano. La incertidumbre de la medición puede quedar reducida al menos en dos ordenes de magnitud en comparación el método de comparación directa, a  $1 \cdot 10^{-6}$  o menos. Este método es mucho más rápido. La medición puede desarrollarse en pocos segundos, al contrario del método de comparación directa, que se llevan varias horas.

### *Desventajas Método de Comparación directa*

Este método requiere más equipo que el método directo, este no trabaja fácilmente con algunos equipos eléctricos, mecánicos o electromecánicos. Incluso este método no verifica la funcionalidad del cronómetro o temporizador, solamente la base de tiempo. Se necesita desarrollar separadamente la función para un inicio y paro de la unidad. Si la unidad aparece que está contando correctamente, el intervalo de tiempo podría ser exacto.

### *Incertidumbre de medición*

Este método utiliza cualquier sistema de medición de base de tiempo o contador de frecuencia con un lector para medir la frecuencia interna de oscilación de la base de tiempo del instrumento bajo calibración. Si nosotros decimos que la base de tiempo de un sistema tiene una exactitud de  $\pm 0,05$  s/día y esta una resolución de 0,01 s, entonces la incertidumbre de medición es igual 0,05 s/día ( 50 ms/día). Allí no hay contribución de incertidumbre por el tiempo de reacción humana y la incertidumbre por resolución es insignificante comparada con la exactitud de la especificación. La incertidumbre de resolución no necesita ser considerada desde que el valor no es observado desde el indicador del instrumento bajo calibración. Entonces solo hay una componente de incertidumbre.

Nuestra concepción  
del Tiempo depende  
de la manera en que  
lo midamos

Andrewes, W.J.H.

## **Referencias**

- Anderson, R.J., and G.L. Harris. October 1997. "Specifications and Tolerante for Field Standard Stopwatches" Natl. Inst. Stand. Technol. Handbook 105-5
- Jeff C. Gust, Robert M. Gram., Michael A. Lombarda. Practice Guide "Stopwatch and Timer Calibrations"
- Vig, J.R. October 1992, "introduction to quartzfrequency standards" Army research and Development Technical Report, SLCET-TR-92-1