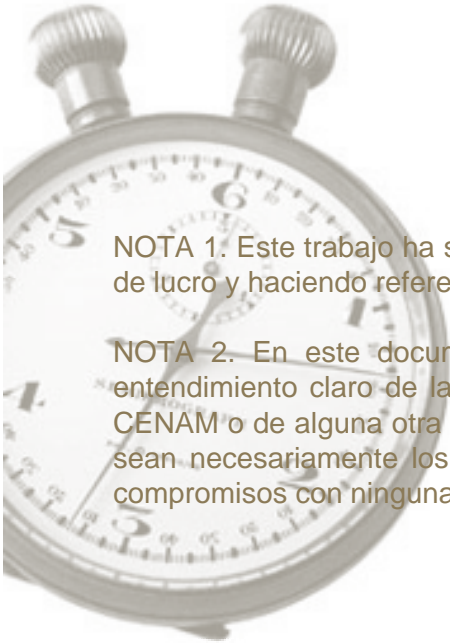


Métodos de Calibración de Cronómetros

Ing. Francisco J. Jiménez Tapia
Centro Nacional de Metrología
fjimenez@cenam.mx

NOTA 1. Este trabajo ha sido desarrollado con recursos del gobierno federal de México. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

NOTA 2. En este documento pueden aparecer marcas comerciales únicamente con fines didácticos y a fin de lograr un entendimiento claro de las técnicas y procesos descritos. En ningún caso esta identificación implica recomendación o aval del CENAM o de alguna otra institución del gobierno federal de México, ni tampoco implica que los equipos o materiales identificados sean necesariamente los mejores para el propósito para el que son usados. El CENAM y las demás instituciones no tienen compromisos con ninguna marca comercial en particular.

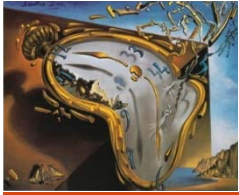


Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↔ Electromagnetismo
↔ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↔ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,
DERECHOS RESERVADOS 2009

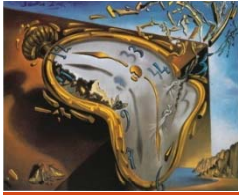


CONTENIDO



1. Introducción
2. Definiciones
3. Tipos de cronómetros
4. Teoría básica de operación
5. Métodos de calibración
6. Referencias





CONTENIDO



1. **Introducción**
2. Definiciones
3. Tipos de cronómetros
4. Teoría básica de operación
5. Métodos de calibración
6. Referencias



INTRODUCCIÓN



Desde sus orígenes, el ser humano ha necesitado 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 de medirlo.

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

Por ejemplo:

- 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 sí 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.



Hoy en día, la mayoría de nuestros aparatos electrónicos se rigen por los latidos de un instrumento cronométrico de alta exactitud.

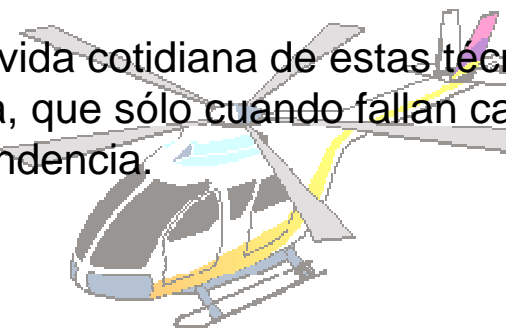
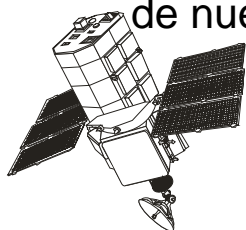


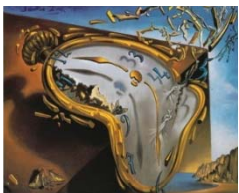
Los ordenadores contienen un reloj de cristal de cuarzo que regula su funcionamiento.



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.





CONTENIDO



1. Introducción
- 2. Definiciones**
3. Tipos de cronómetros
4. Teoría básica de operación
5. Métodos de calibración
6. Referencias



DEFINICIONES



Cronómetro

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



Intervalo de tiempo

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 de 9 192 631 770 periodos de la radiación asociada a la transición hiperfina del estado base del átomo de Cesio-133.

Resolución

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, ó 0,2 s.



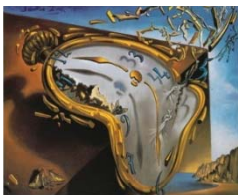
Base de tiempo

La base de tiempo 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.





CONTENIDO



1. Introducción
2. Definiciones
- 3. Tipos de cronómetros**
4. Teoría básica de operación
5. Métodos de calibración
6. Referencias

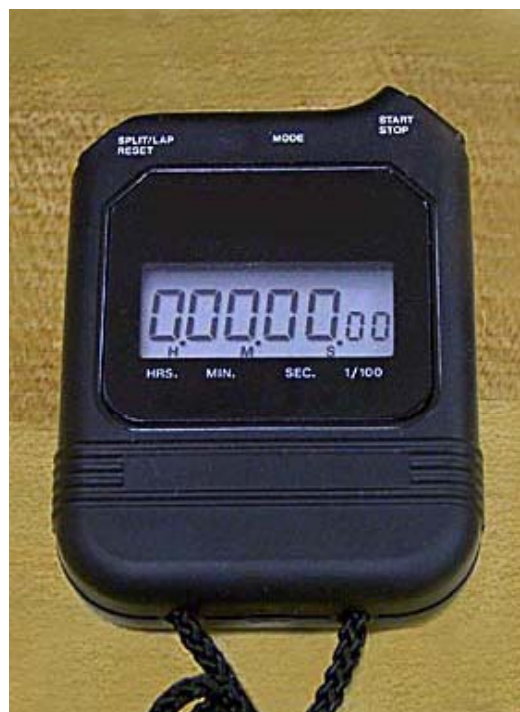


TIPOS DE CRONÓMETROS

Los cronómetros en general pueden ser clasificados en dos categorías:

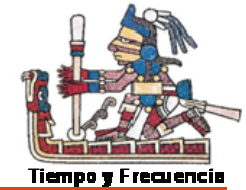
Tipo I:

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



TIPOS DE CRONÓMETROS

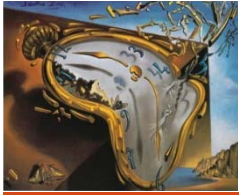
Continuación...



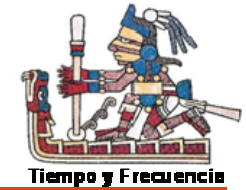
Tipo II:

Son los cronómetros que tienen un diseño analógico y usan medios mecánicos para medir los intervalos de tiempo.





CONTENIDO



1. Introducción
2. Definiciones
3. Tipos de cronómetros
- 4. Teoría básica de operación**
5. Métodos de calibración
6. Referencias



TEORÍA BÁSICA DE OPERACIÓN



Cada cronómetro esta 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)

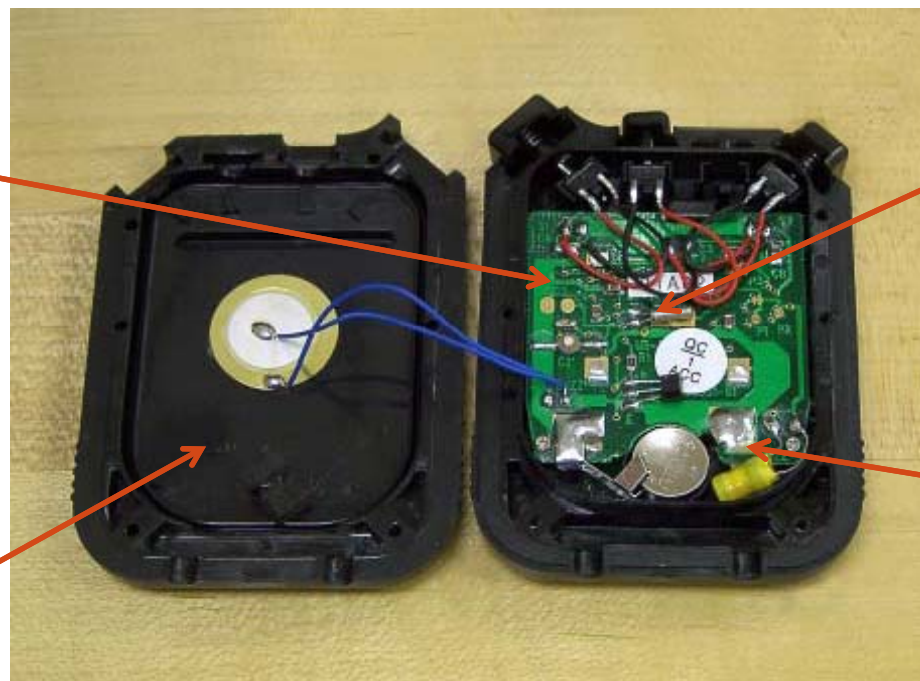
La fuente de poder es usualmente una celda de plata o una batería alcalina que alimenta el oscilador y la circuitería del contador y el indicador. Usualmente la base de tiempo es un oscilador de cristal de cuarzo, con una frecuencia nominal de 32 768 Hz.

Circuito contador

Base de tiempo

Indicador

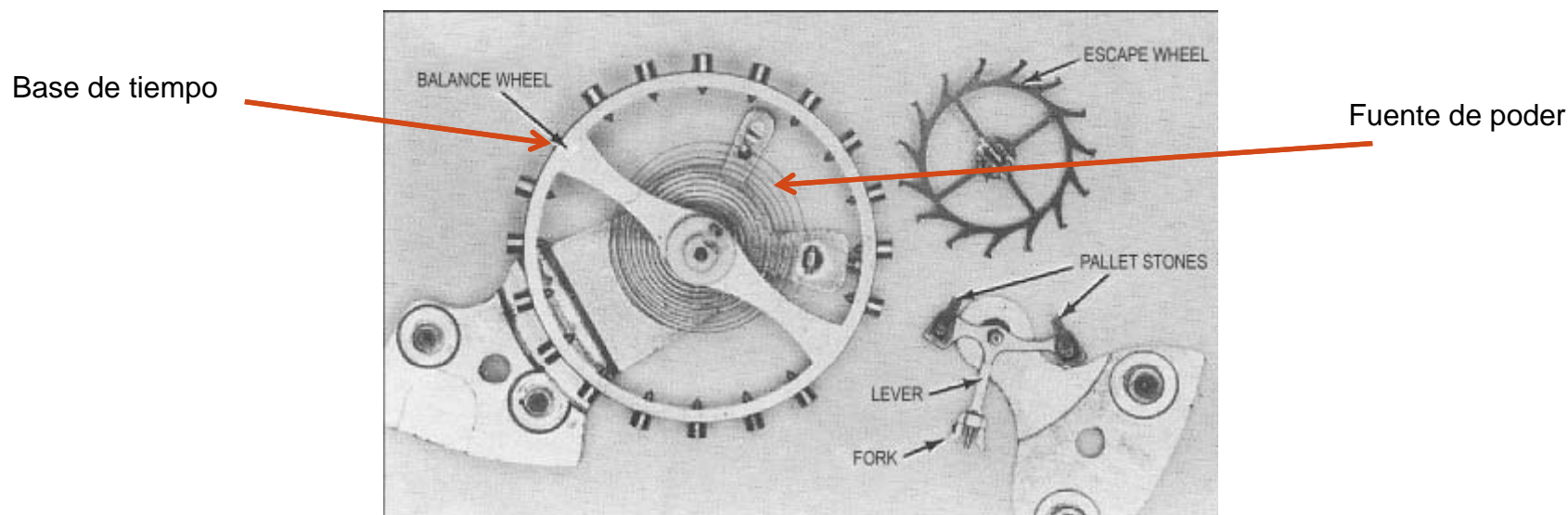
Fuente de poder





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 esta diseñada para proveer un periodo consistente de oscilación, relativamente independiente de factores tales como la fricción, temperatura y orientación.



TEORÍA BÁSICA DE OPERACIÓN

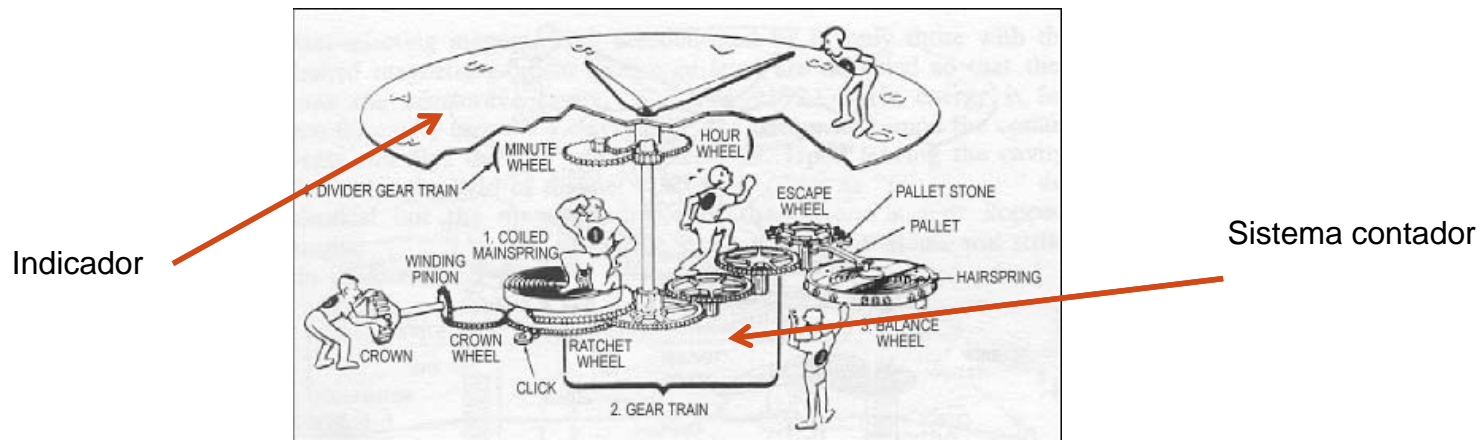
Continuación...

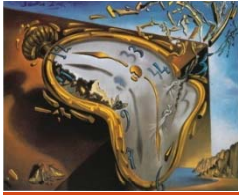
Cronometro mecánico

Continuación...

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

La rueda balanceada esta 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.





CONTENIDO



1. Introducción
2. Definiciones
3. Tipos de cronómetros
4. Teoría básica de operación
- 5. Métodos de calibración**
6. Referencias



MÉTODOS DE CALIBRACIÓN



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

Comparación Directa

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

Totalizador

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

Base de tiempo

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



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.

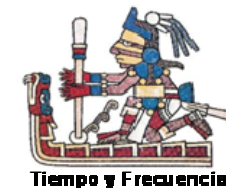


Las referencias usadas para este método de comparación requiere una referencia de intervalo de tiempo. Esta referencia es usualmente o puede ser una señal de tiempo de audio, pero en muchos casos, con referencia al tiempo indicador que se pueda estar usando.



MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Comparación directa

Continuación...

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

Ventajas del método de comparación directa

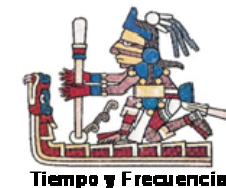
Este método es relativamente fácil de desarrollar si un teléfono es usado, no requiere de un equipo especial o patrón. Esto puede ser usado para calibrar cronómetros y diferentes tipos de temporizadores ambos pueden ser digitales o analógicos.

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.

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Comparación directa

Continuación...

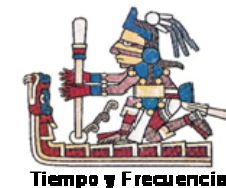
En la siguiente tabla se muestra la contribución de una variación 300 ms en la reacción humana en la medición de la incertidumbre total, para periodos de mediciones desde 10 s a 1 día.

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.

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Comparación directa

Continuación...

Incertidumbre

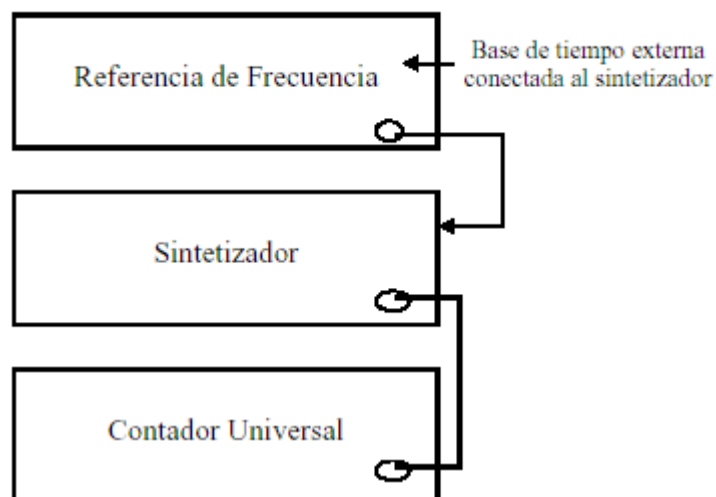
El método de comparación directa involucra en su calibración el uso de una referencia de intervalo de tiempo como una señal físicamente para el paro y arranque del cronómetro. La indicación del cronómetro del intervalo de tiempo es comparada con una referencia conocida de intervalo de tiempo. Las tres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

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

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.



MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Totalizador

Continuación...

Una referencia externa no es necesaria 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.

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Totalizador

Continuación...

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 $0,1 \text{ s} / 3600 \text{ s}$ o aproximadamente $2,8 \cdot 10^{-5}$ (0,0028 %).





Incertidumbre

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

Base de tiempo

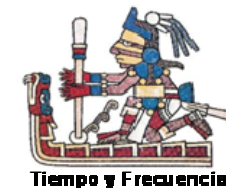
El método de medición de base de tiempo es un método de medición preferido para la calibración de cronómetros y temporizadores, porque la base de tiempo es medida directamente ya que esta introduce la menor cantidad de incertidumbre en la medición, porque la base de tiempo de los instrumentos bajo calibración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

El método 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, se recoge un sonido acústico y usado para monitorear la frecuencia del cronómetro a 32 768 Hz como la frecuencia de base de tiempo en un contador calibración de frecuencia.



MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Base de tiempo

Continuación...

La referencia para la calibración de la base de tiempo es el oscilador de la base de tiempo del instrumento medidor.

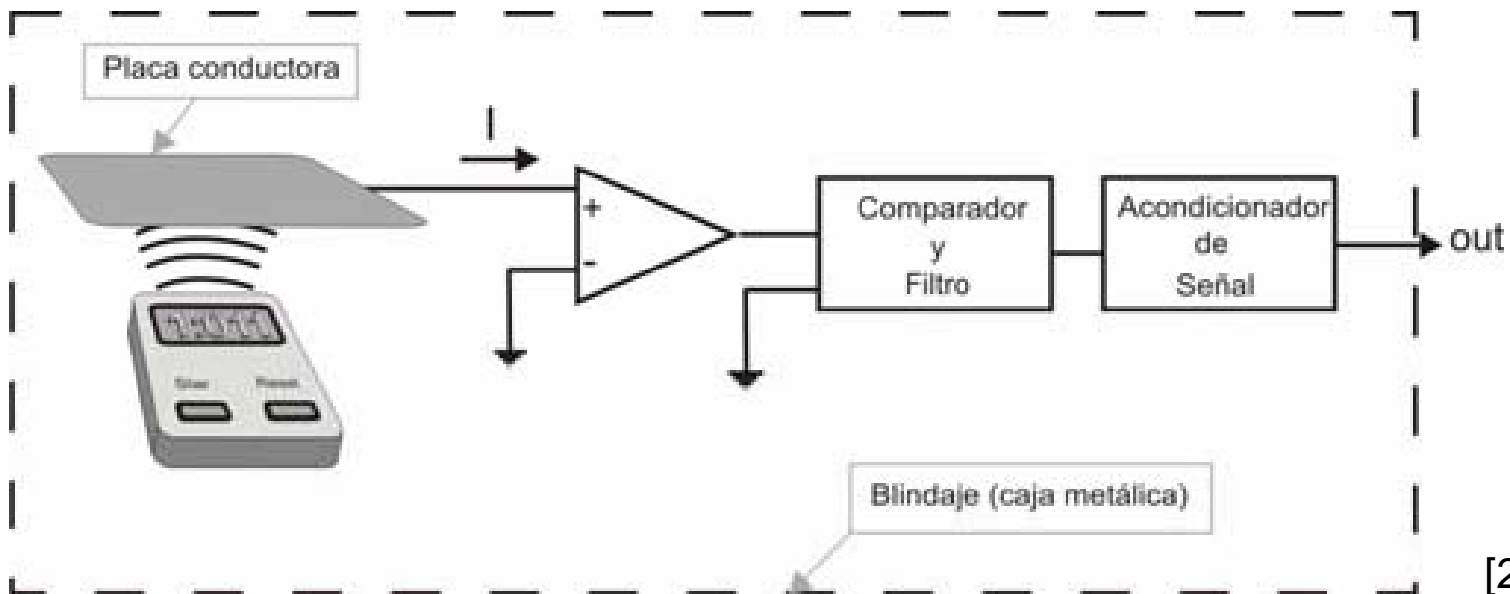
Por ejemplo, si la frecuencia del contador es usado, la referencia de la medición es la base de tiempo del oscilador del contador de frecuencia. Para establecer la trazabilidad, la base de tiempo del contador de frecuencia debe estar calibrado. Sin embargo, una mejor solución es tener o mantener una señal de referencia de 5 MHz ó 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.



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↔ Electromagnetismo
↔ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↔ Tiempo y Frecuencia



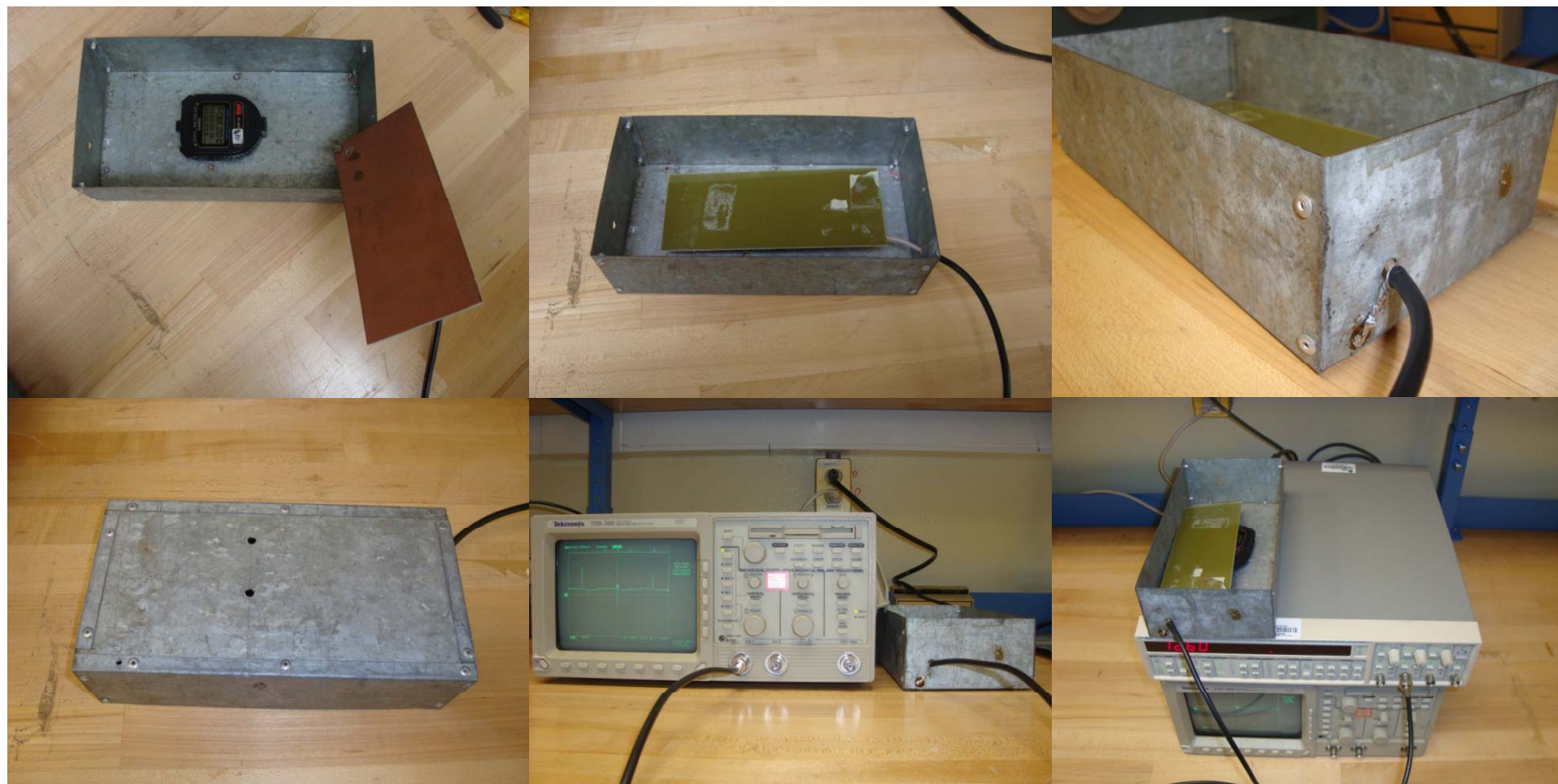


[2]

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN Continuación...



Base de tiempo Continuación...



MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Base de tiempo

Continuación...

Ventajas Método de base de tiempo

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 1×10^{-6} ó 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 base de tiempo

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.

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN

Continuación...



Tiempo y Frecuencia

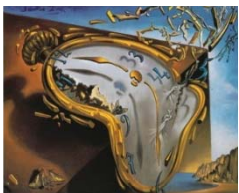
Base de tiempo

Continuación...

Incertidumbre

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 ésta 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.



CONTENIDO



1. Introducción
2. Definiciones
3. Tipos de cronómetros
4. Teoría básica de operación
5. Métodos de calibración
- 6. Referencias**





REFERENCIAS



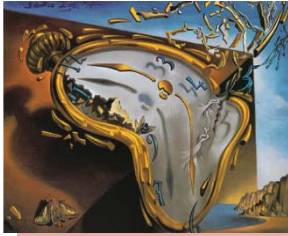
- ❑ Jeff C. Gust, Robert M. Graham, Michael A. Lombardi, “Stopwatch and Timer Calibrations”, May 2004.
- ❑ *Leonardo Trigo, Daniel Slomovitz* , “Calibración de cronómetros digitales por método de inducción”, IEEE, 7º encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas. 16 y 17 de Octubre del 2008, Montevideo-URUGUAY.



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo
→ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
→ Tiempo y Frecuencia





Métodos de Calibración de Cronómetros

Ing. Francisco J. Jiménez Tapia
Centro Nacional de Metrología
fjimenez@cenam.mx

¡Gracias!



Encuentro Nacional de
Metrología Eléctrica 2009
18-20 de noviembre

↔ Electromagnetismo
↔ Temperatura y
Propiedades Termofísicas
↔ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,
DERECHOS RESERVADOS 2009