

# **Notas Técnicas**



# RESULTADOS DE LA INTERCOMPARACIÓN COSTARRICENSE DE CALIBRACIÓN DE CRONÓMETROS

*Isabel Castro Blanco  
Harold Sánchez Vargas*

## Resumen

La Norma *INTE-ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración* (INTECO, 2005) incluye: aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración.

El laboratorio debe tener procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo. Los datos resultantes deben ser registrados en forma tal que se puedan detectar las tendencias y, cuando sea posible, se deben aplicar técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. El seguimiento debe ser planificado y revisado, y puede incluir otros elementos que se discuten en este documento. Se realizó una comparación interlaboratorio organizada por el Laboratorio Metroológico de Variables Eléctricas del ICE, con la participación de otros cuatro laboratorios, con capacidad para calibrar cronómetros digitales. Esta comparación siguió los lineamientos de la *INTE ISO/IEC Guía 43-1:2000 Ensayo de aptitud por comparaciones interlaboratorios. Parte 1: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud* (INTECO, 2000).

Se tuvo una buena participación de laboratorios nacionales, los cuales podrán usar los datos para mejorar su gestión metrológica.

**Palabras clave:** cronómetros, calibración, comparación, interlaboratorios.

## Abstract

*ISO/IEC Standard 17025:2005 General requirements for the competition of testing and calibration laboratories includes:* Quality Assurance of the testing and calibration results. The laboratory must have procedures for quality control for the monitoring of the validity of the performed tests and calibrations.

The resulting data should be recorded so that trends can be identified and, when possible, statistical techniques should be applied to review the results. Such monitoring must be planned and reviewed, and may include other elements that are discussed in this document. An inter-laboratory comparison was made organized by the "Metrologic Laboratory of Electric Variables" of the ICE (Costarrican Electric and telephone utility company), with the participation of other four laboratories with capacity to calibrate digital chronometers. This comparison followed the guidelines of the *ISO/IEC Guide 43-1:2000 Proficiency testing by inter-laboratory comparisons -- Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes*. There was a good participation of national laboratories that will be able to use resulting data to improve their metrology management.

**Key words:** chronometers, calibration, comparison, interlaboratory.

**Recibido:** 24 de marzo del 2009 • **Aprobado:** 21 de setiembre del 2009.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de ensayo y calibración deben poseer formas para demostrar la validez de los ensayos y calibraciones que realizan como parte de su control de calidad y el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), está en la obligación de velar por su cumplimiento.

El objetivo principal de los ensayos de intercomparación, del cual deriva su creciente utilidad y relevancia, es el de ayudar a los laboratorios a demostrar, por medio de su funcionamiento global, la calidad y competencia en los ensayos involucrados, permitiendo evaluar la capacidad de un método de calibración, tanto por comparación frente a otros laboratorios

similares, como por la evolución temporal de su participación.

La participación en comparaciones de los laboratorios permite asegurar el grado de correspondencia de las mediciones entre los laboratorios participantes, permitiendo asegurar la equivalencia de las mediciones así como una disseminación correcta de la magnitud. Para esto ECA, establece la *Política y los criterios para la participación en ensayos/pruebas de aptitud y otras comparaciones interlaboratorios para laboratorios de ensayo y calibración, ECA-MC-P17* (ECA, 2006). Por lo anterior, se puede decir que la confianza en el ámbito nacional de los sistemas de medición se fortalece con las comparaciones entre laboratorios.

El seguimiento debe ser planificado y revisado, y puede incluir los siguientes elementos:

- materiales de referencia secundarios;
- la participación en comparaciones interlaboratorios o programas de ensayos de aptitud;
- la repetición de ensayos o calibraciones utilizando el mismo método o métodos diferentes;
- la repetición del ensayo o de la calibración de los objetos retenidos;
- la correlación de los resultados para diferentes características de un ítem.

Para una mejor comprensión de este documento se incluyen las siguientes definiciones.

- Comparación interlaboratorio: organización, realización y evaluación de ensayos sobre el mismo objeto de ensayo o sobre objetos de ensayos similares, por dos o más laboratorios, de acuerdo con condiciones predeterminadas.
- Incertidumbre estándar: incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación estándar.
- Incertidumbre estándar combinada: incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo

estos términos las varianzas y covarianzas de estas otras magnitudes ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con respecto a cambios en estas magnitudes.

- Incertidumbre expandida: cantidad que define un intervalo alrededor de una medición del que se puede esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando.
- Medición de periodo: medición del intervalo de tiempo entre dos sucesos, el primer suceso marcará el instante del comienzo (arranque) del intervalo de tiempo, marcando el segundo suceso el instante de finalización (parada) de la cuenta.
- Método de estrella: Es cuando el instrumento o material de referencia utilizado en la intercomparación es devuelto al laboratorio de referencia cada vez que el participante finaliza la medición.
- Patrón viajero: Patrón, algunas veces de construcción especial, destinado para ser transportado entre diferentes lugares.

## 2. METODOLOGÍA

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del ICE, como laboratorio designado en Electricidad e Infocomunicaciones por el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) ([www.lacomet.go.cr](http://www.lacomet.go.cr)), de acuerdo con el convenio firmado por LACOMET y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en setiembre del 2004, organizó una comparación de calibración de cronómetros, con el fin de estimar los niveles de concordancia en la calibración de tiempo entre los laboratorios participantes, incluyendo la desviación y la incertidumbre de medición asociada. El requisito para participar fue tener la capacidad para calibrar cronómetros en medición de periodo.

Las fechas de participación fueron desde el 17 de enero del 2008 hasta el 18 de junio del 2008. Los laboratorios participantes fueron cinco, el laboratorio piloto y cuatro más codificados como: LAB1, LAB2, LAB3, LAB4, LAB5 y LAB6. Cuando fueron entregados los resultados, uno de

los laboratorios participantes informó tres datos, con métodos diferentes, por lo que se consideraron como laboratorios separados.

Laboratorio piloto:

Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (ICE-LMVE)

Instituto Costarricense de Electricidad

Correo electrónico: lmve@ice.go.cr

Laboratorios participantes:

1. Laboratorio Metrológico Empresarial, Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).
2. Metrología Consultores S. A.
3. Laboratorio Químico Lambda.
4. SCM Metrología y Laboratorios.

Se utilizó como patrón viajero un cronómetro marca Citizen, propiedad del ICE, código I.3659 con una resolución de 0,01 s. Fue responsabilidad de cada participante el transporte desde y hacia el LMVE del patrón viajero. Cada participante entregó al LMVE el formulario de recepción y de compromiso de devolución en la fecha acordada. Cada participante debía informar al LMVE con un día de anticipación sobre la fecha de devolución al LMVE. El patrón viajero fue transportado en una caja protectora. Cada participante usó sus procedimientos normales para estas actividades.

Estaba previsto que en caso de falla el participante debía informar lo antes posible al LMVE para coordinar las mejores actividades a realizar; sin embargo no hubo fallas del patrón durante la actividad. Cada participante cubrió el costo del transporte del patrón viajero desde y hacia el LMVE. Fue recomendada una póliza temporal de seguro o cualquier cobertura que el participante pudiera disponer.

Se usó el método de estrella para el movimiento del patrón estando una semana en el sitio de cada participante y una semana en el LMVE, donde se realizaron mediciones previas de caracterización y se realizaron mediciones intercaladas entre cada participante.

Se siguieron las siguientes instrucciones para medición.

1. El mensurando fue el periodo, expresado en horas, minutos, segundos y centésimas de segundo.
2. Cada participante debía realizar sus mediciones siguiendo sus procedimientos normales de trabajo, donde el laboratorio piloto propuso como ejemplo “TF-003 Procedimiento para la calibración de intervalos de tiempo: cronómetros”, del Centro Español de Metrología. (CEM, 2000).

### 3. INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

Los participantes reportaron sus resultados con la incertidumbre asociada, con un nivel de confianza del 95,45 %.

Incertidumbre por variación estadística: a partir de cinco lecturas en las mismas condiciones de medida, se calculan los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los datos obtenidos. La incertidumbre típica corresponde a una distribución normal y su valor se calcula mediante la ecuación (1).

$$u_{\sigma} = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \cdot t_{n-1, 68\%} \quad (1)$$

Donde:

$u_{\sigma}$	incertidumbre estándar Tipo A
$s_p$	desviación estándar de los datos leídos
$N$	cantidad de datos leídos
$t_{n-1, 68\%}$	valor de t-Student al 68 %

Incertidumbre por resolución del objeto bajo prueba: se considera el máximo error posible que se pueda cometer por resolución del instrumento bajo prueba, se considera en  $\pm \frac{1}{2}$  del último dígito, de 0,01 s. La incertidumbre típica corresponde a una distribución rectangular y su valor se calcula mediante la ecuación (2).

$$u_{Res} = \frac{Resol._{DUT}}{2\sqrt{3}} \quad (2)$$

Donde:

$u_{Res}$             incertidumbre por la resolución del instrumento

Resol.  $_{DUT}$     resolución del cronómetro digital

Incertidumbre por reacción manual para activación de botones del objeto: La incertidumbre típica corresponde a una distribución triangular y su valor se calcula mediante la ecuación (3).

$$u_{manual} = \frac{\pm 0,25}{\sqrt{6}} \quad (3)$$

Incertidumbre en hora recibida por el Servicio de Medición y Análisis de Frecuencia (FMAS), por sincronización del reloj local de la computadora con GPS cada diez minutos. La incertidumbre típica corresponde a una distribución triangular y su valor se calcula mediante la ecuación (4).

$$u_{FMAS} = \frac{\pm 0,25}{\sqrt{6}} \quad (4)$$

Incertidumbre por el ruido generado en el sistema receptor GPS del FMAS, se calcula usando la ecuación (5).

$$u_{ruido_{GPS}} = \pm 2 \cdot 10^{-13} \quad (5)$$

Incertidumbre por ruido generado en el sistema de medición del FMAS, se calcula usando la ecuación (6).

$$u_{ruido_{FMAS}} = \pm 2 \cdot 10^{-15} \quad (6)$$

La incertidumbre estándar combinada, en porcentaje, se calcula utilizando la ecuación (7).

La incertidumbre expandida, en porcentaje, se calcula utilizando la ecuación (8).

Las incertidumbres por variación estadística de las cinco lecturas finales, por la resolución del objeto, por la reacción manual del metrólogo y por la sincronización del reloj local de la computadora, son valores absolutos independientes del período total de la calibración. Estas incertidumbres son las más significativas y su peso se reduce conforme la calibración se realiza en un período de más días (el período típico es de cinco días).

Las incertidumbres por el receptor GPS del FMAS y por ruido del sistema de medición del FMAS son relativas y de valor muy bajo comparadas con las anteriores.

Para el reporte de las mediciones, cada participante, usando sus propios formatos, envió al LMVE sus resultados de medición.

- Resultado de la comparación.
- Resultados del laboratorio piloto.

El valor de referencia de la comparación es definido por el LMVE de acuerdo con las

$$u = \sqrt{\left( \frac{u_{FMAS}^2 + u_{manual}^2 + (u_{ruido_{GPS}} \cdot \text{Tiempo total})^2}{(u_{ruido_{FMAS}} \cdot \text{Tiempo total})^2 + u_{\sigma}^2 + u_{Res}^2} \right) + 1} \cdot \frac{100}{\text{Tiempo total}} \quad (7)$$

$$U = 2 \cdot \sqrt{\left( \frac{u_{FMAS}^2 + u_{manual}^2 + (u_{ruido_{GPS}} \cdot \text{Tiempo total})^2}{(u_{ruido_{FMAS}} \cdot \text{Tiempo total})^2 + u_{\sigma}^2 + u_{Res}^2} \right) + 1} \cdot \frac{100}{\text{Tiempo total}} \quad (8)$$

mediciones realizadas en el patrón viajero antes y después de las mediciones de cada participante, usando la instrucción técnica *LMVE-04-02-01 Calibración de contadores de intervalos de tiempo* (ICE-LMVE, 2007), donde la trazabilidad es obtenida mediante el servicio FMAS del NIST disponible en el LMVE. En la Figura 1 se incluyen los resultados de las calibraciones del cronómetro por el LMVE.

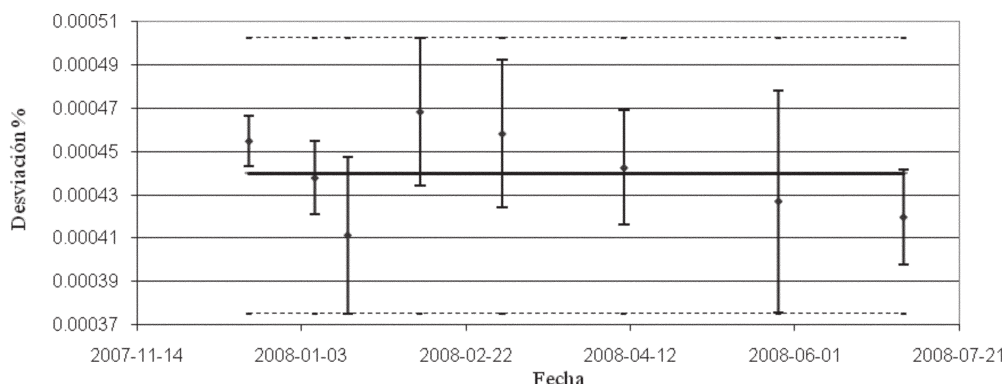
El promedio de la desviación es 0,000 44 %. Las incertidumbres en cada calibración tienen pequeñas diferencias debidas a la diferencia de período total de las mediciones, de aproximadamente cinco días. Con período total mayor las componentes de valor estimado

fijo, como la reacción manual del metrólogo y la resolución del cronómetro, se hacen menos significativas.

Con los datos de todas las mediciones por el LMVE se nota que el cronómetro tiene variaciones a largo plazo, que no son evidentes en la calibración a cinco días.

Esta inestabilidad es considerada en una incertidumbre total, evaluada considerando un límite inferior igual a la desviación menor menos su respectiva incertidumbre y un límite superior igual a la desviación mayor más su respectiva incertidumbre (línea punteada).

El efecto de la variabilidad a largo plazo mayor que la incertidumbre de cada



**Figura 1.** Gráfico de resultados de las calibraciones del cronómetro por el LMVE.

Fuente: (La autora y el autor, 2008).

**Cuadro 1.** Valores numéricos de los resultados de las calibraciones del cronómetro por el LMVE.

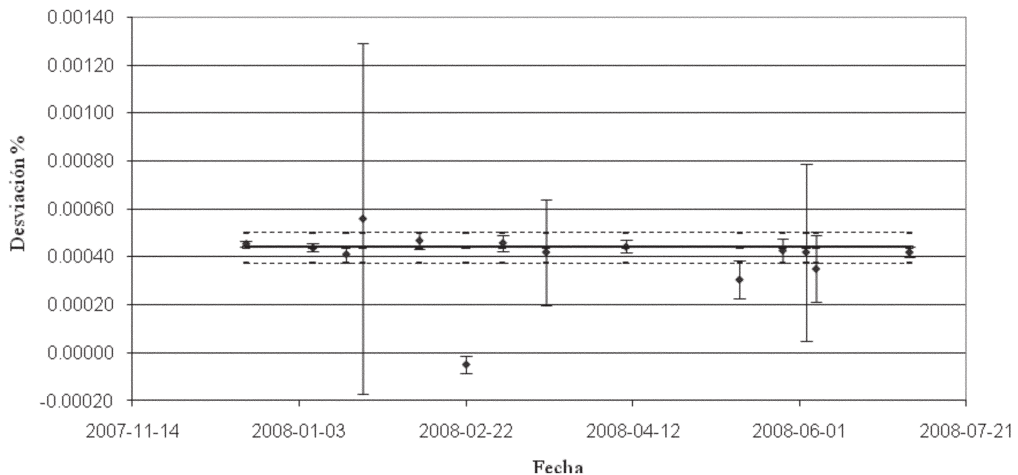
Laboratorio	Fecha				
ICE-LMVE	2007-12-18	0,000 455	0,000 012	0,393	0,010
ICE-LMVE	2008-01-07	0,000 438	0,000 017	0,378	0,015
ICE-LMVE	2008-01-17	0,000 411	0,000 036	0,355	0,031
ICE-LMVE	2008-02-08	0,000 469	0,000 034	0,405	0,029
ICE-LMVE	2008-03-04	0,000 458	0,000 034	0,396	0,029
ICE-LMVE	2008-04-10	0,000 443	0,000 026	0,382	0,023
ICE-LMVE	2008-05-27	0,000 427	0,000 051	0,369	0,044
ICE-LMVE	2008-07-04	0,000 420	0,000 022	0,363	0,019

Fuente: (La autora y el autor, 2008).

calibración, se hizo notoria al final del ejercicio de la intercomparación, En una futura intercomparación se podría usar un objeto más estable para tener un mejor valor de referencia y para hacer comparaciones con los resultados de este ejercicio.

#### 4. RESULTADOS DE LA INTERCOMPARACIÓN

En los datos siguientes se alteró el orden de participación para evitar la identificación de los laboratorios. Uno de los laboratorios reportó tres



**Figura 2.** Gráfico de resultados de la comparación incluyendo todos los participantes y el LMVE.

Fuente: (La autora y el autor, 2008).

**Cuadro 2.** Valores numéricos de la comparación incluyendo todos los participantes.

Laboratorio	Fecha				
ICE-LMVE	2007-12-18	0,000 455	0,000 012	0,393	0,010
ICE-LMVE	2008-01-07	0,000 438	0,000 017	0,378	0,015
ICE-LMVE	2008-01-17	0,000 411	0,000 036	0,355	0,031
LAB1	2008-01-22	0,000 560	0,000 73	0,480	0,63
ICE-LMVE	2008-02-08	0,000 469	0,000 034	0,405	0,029
LAB2	2008-02-22	-0,000 050	0,000 035	-0,043	0,03
ICE-LMVE	2008-03-04	0,000 458	0,000 034	0,396	0,029
LAB3	2008-03-17	0,000 420	0,000 22	0,360	0,19
ICE-LMVE	2008-04-10	0,000 443	0,000 026	0,382	0,023
LAB4	2008-05-14	0,000 305	0,000 080	0,264	0,069
ICE-LMVE	2008-05-27	0,000 427	0,000 051	0,369	0,044
LAB5	2008-06-03	0,000 420	0,000 37	0,360	0,32
LAB6	2008-06-06	0,000 350	0,000 14	0,300	0,12
ICE-LMVE	2008-07-04	0,000 420	0,000 022	0,363	0,019

Fuente: (La autora y el autor, 2008).



mediciones por diferentes métodos, por lo que en los datos aparecen LAB1 a LAB6. Se mantienen las fechas de participación intercambiándolas con otros laboratorios. Cada participante ha sido informado de su código.

## 5. CONCLUSIONES

1. El cronómetro usado como patrón viajero muestra mucha variabilidad a largo plazo, por lo que no es conveniente su uso para comparaciones con incertidumbres menores a la inestabilidad mostrada en la Figura 1.
2. De acuerdo con los resultados la mayoría de los laboratorios son competentes para calibrar cronómetros con las incertidumbres reportadas en esta comparación.
3. Los laboratorios cuyas desviaciones e incertidumbres no son congruentes con los valores de referencia deben realizar acciones de mejora, de acuerdo con la política y criterios para la participación en ensayos/pruebas de aptitud y otras comparaciones para los laboratorios del Ente Costarricense de Acreditación ([www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)).
4. Los usuarios de servicios de calibración de cronómetros deben tener en consideración la posible inestabilidad de los cronómetros, la cual no es medida por los laboratorios en períodos de calibración de hasta una semana.
5. Si no se cuenta con especificaciones o mediciones a largo plazo se debe considerar que la inestabilidad puede ser mayor que la incertidumbre reportada en cada calibración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEM (Centro Español de Metrología). (2000). *TF-003 Procedimiento para la calibración de intervalos de tiempo: cronómetros*. Extraído de: [http://www.cem.es/cem/es\\_ES/oficinavirtual/ventapublicacionesDetalle.jsp?id=570](http://www.cem.es/cem/es_ES/oficinavirtual/ventapublicacionesDetalle.jsp?id=570)

ECA (Ente Costarricense de Acreditación). (2006). *ECA-MC-P17 Política y criterios para la participación en ensayos/pruebas de aptitud y otras comparaciones para los laboratorios*, Ente Costarricense de Acreditación, San José.

ICE-LMVE. 2007. LMVE-04-02-01. *Calibración de contadores de intervalos de tiempos*. San José: Editor.

INTECO. (2000). *INTE ISO/IEC Guía 43-1:2000. Ensayo de aptitud por comparaciones interlaboratorios. Parte 1: Desarrollo y funcionamiento de programas de ensayos de aptitud*. Primera edición. San José: Editor.

INTECO. (2005). *INTE- ISO/IEC 17025:2005. Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración*. Primera edición. San José: Editor.

NIST. (National Institute of Standards and Technology). 2008. *FMS. Servicio de Medición y Análisis de Frecuencia del NIST*. Extraído de: <http://tf.nist.gov/service/fms.htm>

## SOBRE LA AUTORA Y EL AUTOR

### Isabel Castro Blanco

Centro de Servicio Investigación y Desarrollo  
Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Teléfono: (506) 2206-1227  
Facsímil: (506) 2234-8514  
Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica.  
Correo electrónico: [bcastro@ice.go.cr](mailto:bcastro@ice.go.cr)

### Harold Sánchez Vargas

Ingeniero de Sistema Electrónicos, Ph. D.  
Teléfono: (506) 2283-4622  
Facsímil: (506) 2234-8514  
Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas  
Instituto Costarricense de Electricidad  
Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica.  
Correo electrónico: [hsanchez@ice.go.cr](mailto:hsanchez@ice.go.cr)

## ANEXO A

Cuadro 3. Cálculo de incertidumbre estándar combinada para el cronómetro calibrado en el LMVE.

Fecha	Valor medido por el patrón FMAS-NIST (s)	Valor medido por el objeto sujeto a calibración (s)	Incertidumbre por variación estadística de los datos leídos ( $u_v$ ) (s)	Incertidumbre por resolución del objeto sujeto a calibración ( $u_{Res}$ ) (s)	Incertidumbre por reacción manual para activación de botones del objeto ( $u_{manual}$ ) (s)	Incertidumbre en hora recibida por el Servicio de Medición y Análisis de Frecuencia (FMAS) ( $u_{FMAS}$ ) (s)	Incertidumbre por el ruido generado en el sistema receptor GPS del FMAS ( $u_{ruido\ GPS}$ ) (s/s)	Incertidumbre por el ruido generado en el sistema de medición del FMAS ( $u_{ruido\ FMAS}$ ) (s/s)	Incertidumbre estándar combinada (u) (%)
2007-12-18	2 509 560	2 509 571,42	0,015 905	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 005 8
2008-01-07	1 728 120	1 728 127,57	0,024 331	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 008 5
2008-01-17	833 820	833 823,43	0,043 182	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 018 1
2008-02-08	867 720	867 724,066	0,032 620	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 017 0
2008-03-04	934 980	934 984,286	0,066 546	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 017 0
2008-04-10	1 107 480	1 107 484,9	0,021 787	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 013 2
2008-05-27	585 300	585 302,5	0,041 488	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 025 6
2008-07-04	1 376 640	1 376 645,78	0,041 708	0,002 89	0,102	0,102	2,00E-13	2,00E-15	0,000 010 9

Fuente: (La autora y el autor, 2008).

ANEXO B

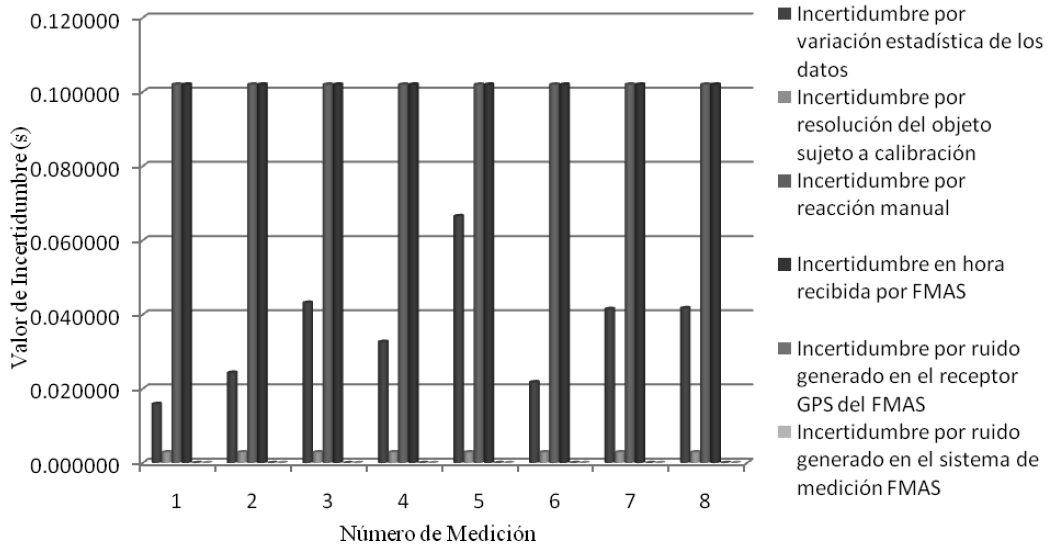


Figura 3. Grafico comparativo de las contribuciones de cada incertidumbre sobre la incertidumbre estándar combinada.

Fuente: (La autora y el autor, 2008).

