Laboratorio de Masas - Lacomet
Informe de resultados de la comparación en calibración
de pesas para Laboratorios de Masas de Costa Rica
LACOMET-IC-01-2009 MASA
Informe B - Final

0. Introducción

Los Laboratorios Secundarios de Calibración, en especial aquellos que posean un sistema de gestión de la calidad implementado, necesitan desarrollar actividades de comparación que les permita demostrar su competencia técnica, la importancia del desarrollo adecuado de estas actividades ha creado la necesidad de fomentar actividades de capacitación, talleres y prácticas que permitan adquirir destrezas para este fin, con las mismas se garantiza el respaldo de sus sistemas de calidad así como el respaldo de las capacidades de medición que se pueden suministrar a los clientes.
El desarrollo de esta Comparación Nacional para Laboratorios Secundarios, tiene la finalidad de favorecer y fomentar el desarrollo de la red nacional de laboratorios secundarios, y del sistema nacional para la calidad, permitiendo un análisis profundo de los resultados con el fin de encontrar puntos en los cuales los participantes puedan mejorar y a la vez desarrollarse.

1. Objetivos

1.1 Proporcionar información técnica relativa a las mediciones reportadas por los laboratorios de calibración, con respecto al valor de masa de patrones viajeros conocidos.

1.2 Brindar un medio para evaluar la competencia técnica de los laboratorios participantes y la posibilidad de incrementar la experiencia entre los laboratorios participantes en ejercicios de comparación internacionales.

1.3 Proveer a los laboratorios en general una herramienta para que evalúen y demuestren su capacidad de trabajo y una forma de aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos para las capacidades de medición reportada ante sus clientes y demás interesados.

1.4 Promover el desarrollo de la infraestructura metrológica nacional y la confianza de los usuarios en la veracidad de los resultados de medición y calibración amparados por dicha infraestructura.

1.5 Desarrollar la capacidad técnica para coordinar comparaciones entre los laboratorios participantes.

2. Laboratorios Participantes

Los laboratorios participantes son enlistados en la Tabla N° 1 presentada a continuación.

Tabla Nº 1 Datos de los participantes

Laboratorio:	País:
Metrología Consultores, S.A.	Costa Rica
Met-Cal Engineering Services, S.A.	Costa Rica
Programa de Calidad, Ambiente y Metrología, PROCAME-UNA	Costa Rica
La Casa de la Romana, S.A.	Costa Rica
Laboratorio de Calibración de Equipos de Medición Bridgestone de Costa Rica, S.A.	Costa Rica
Servicios Electrónicos AZOCAR, S.A.	Costa Rica
Laboratorio de Análisis y Servicios Químicos, LASEQ-UNA	Costa Rica
Laboratorio Nacional de Metrología, Grandes Masas y Volúmenes de RECOPE	Costa Rica
Laboratorio de Masas y Balanzas, LACOMET	Costa Rica

Para el tratamiento de la información general, datos de calibración y resultados, se asignó un código numérico a cada laboratorio con el fin de mantener la confidencialidad del proceso, como consecuencia, en el presente informe, se utilizarán estos códigos ordenados de forma aleatoria.

3. Patrones viajeros usados

Para el desarrollo del proceso de comparación se dispuso de un juego de pesas (patrones viajeros) suministrado por el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, marca HÄFNER, de acero inoxidable, número de serie 1311008, el mismo estaba compuesto por seis pesas de diferente valor nominal de masa. Los valores del volumen, e incertidumbre asociada al valor del volumen, de los patrones viajeros fueron determinados por el fabricante. Este dato fue transmitido oportunamente a los participantes, antes del envío de los patrones viajeros.
La siguiente tabla y figuras presentan los valores nominales y forma de los patrones viajeros utilizados.

Tabla Nº 2 Características de los patrones viajeros

Identificación de los patrones viajeros	Valor Nominal		Densidad	Incertidumbre expandida (k = 2)
1311008 - 2 kg	2 kg		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3
1311008 - 1 kg	1 kg		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3
1311008 - 200 g	200 g		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3
1311008 - 50 g	50 g		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3
1311008 - 1 g	1 g		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3
1311008 - 200 mg	200 mg		8 000 kg/m^3	60 kg/m^3

Figura Nº 1 y Nº 2 Patrones viajeros

4. Circulación de los patrones viajeros

Para la circulación de los patrones viajeros se estableció un cronograma de distribución de llegadas y salidas de acuerdo con la posibilidad de los participantes. Se estableció de antemano la recomendación de realizar este transporte en la modalidad de "transporte mano a mano", de tal forma que se asegurara una mayor consistencia en las características metrológicas de los patrones viajeros. Todos los participantes realizaron el transporte de los patrones viajeros en la modalidad "mano a mano".
La siguiente fue la distribución realizada para la comparación:

Tabla Nº 3 Cronograma de llegadas y salidas de las pesas viajeras

Ref.	**Cronograma de llegadas y salidas de las pesas viajeras**				
Nº	**Retiro de los patrones viajeros del LACOMET**	**Período de tiempo para las mediciones**	**Devolución de los patrones viajeros al LACOMET**	**Período de tiempo para el análisis de los datos**	**Fecha de entrega de los resultados**
1	11 de setiembre	14 de setiembre a 25 de setiembre	28 de setiembre	28 de setiembre a 09 de octubre	13 de octubre
2	02 de octubre	05 de octubre a 16 de octubre	19 de octubre	19 de octubre a 30 de octubre	02 de noviembre
3	23 de octubre	26 de octubre a 06 de noviembre	09 de noviembre	09 de noviembre a 20 de noviembre	23 de noviembre
4	13 de noviembre	16 de noviembre a 27 de noviembre	30 de noviembre	30 de noviembre a 11 de diciembre	14 de diciembre
5	04 de diciembre	7 de diciembre a 4 de enero	4 de enero	04 de enero a 15 de enero	18 de enero
6	08 de enero	11 de enero a 22 de enero	25 de enero	25 de enero a 05 de febrero	08 de febrero
7	29 de enero	01 de febrero a 12 de febrero	15 de febrero	15 de febrero a 26 de febrero	01 de marzo
8	19 de febrero	22 de febrero a 05 de marzo	08 de marzo	08 de marzo a 19 de marzo	22 de marzo
9	12 de marzo	15 de marzo a 26 de marzo	26 de marzo	05 de abril a 16 de abril	19 de abril
10	09 de abril	12 de abril a 23 de abril	26 de abril	26 de abril a 07 de mayo	10 de mayo

El cronograma se organizó con el fin de realizar una medición de control de los patrones viajeros en Lacomet antes de su salida hacia el primer laboratorio participante, y una medición de control en Lacomet posterior a la llegada de los patrones viajeros desde el último laboratorio participante, esto con el fin de corroborar la consistencia del valor de masa convencional de los patrones viajeros. Al realizar la segunda medición de control en LACOMET los patrones viajeros presentaron una adecuada consistencia por lo que no se consideró necesaria una re-calibración.
La distribución quedó de la siguiente forma:

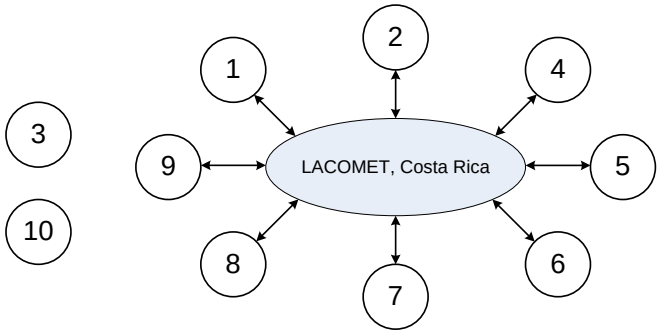


Figura Nº 3 Secuencia de transporte y de calibración de los patrones viajeros

La secuencia de transporte se cumplió de forma adecuada y los patrones retornaron a tiempo al Laboratorio Piloto, además, como se observa, y por petición de los interesados, dos de los laboratorios inscritos no participaron en el proceso.

5. Método de calibración y trazabilidad de los resultados reportados por los participantes

La información relacionada con los equipos de medición, patrones, balanzas y equipos para la medición de las condiciones ambientales, utilizados en este proceso fue enviada al Laboratorio Piloto en las fechas correspondientes.
Para la calibración de los patrones viajeros cada participante utilizó sus patrones de referencia, sus balanzas y sus equipos para la medición de condiciones ambientales.
El Laboratorio de Masas de Lacomet utilizó el método de Comparación Directa por Doble Comparación con el uso de pesa de sensibilidad, también llamado Doble Sustitución (A B B+sw A+sw).

6. Resultados e incertidumbre asociada

Las mediciones realizadas por cada laboratorio participante comprendieron la determinación de la corrección de cada pesa patrón viajera y la estimación de la incertidumbre asociada a cada uno de estos cálculos. Las mediciones se realizaron en las condiciones ambientales de trabajo propias de cada laboratorio y mediante la aplicación de los métodos de calibración registrados en los procedimientos propios de cada laboratorio.
Se realizó una medición de control de los patrones viajeros en Lacomet antes de su salida hacia el primer laboratorio participante, y una medición de control en Lacomet posterior a la llegada de los patrones viajeros desde el último laboratorio participante, esto con la finalidad de realizar el control de los patrones viajeros para el proceso de comparación.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Los resultados correspondientes a Lacomet se representan con los códigos 0,1 y 0,2; ó “cero”.

Tabla Nº 4 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 2 kg

2 kg			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	0,00	3,0	5,9
9	0,88	0,40	0,80
7	0,72	0,37	0,74
4	-87	59	118
2	5,7	58	116
1	36	78	156
5	-1832,140	0,030	0,060
8,1	0,0	1,0	2,0
8,2	0,2	1,1	2,1
0,1	0,48	0,34	0,67
0,2	0,56	0,35	0,69

Gráfico Nº 1 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 2 kg

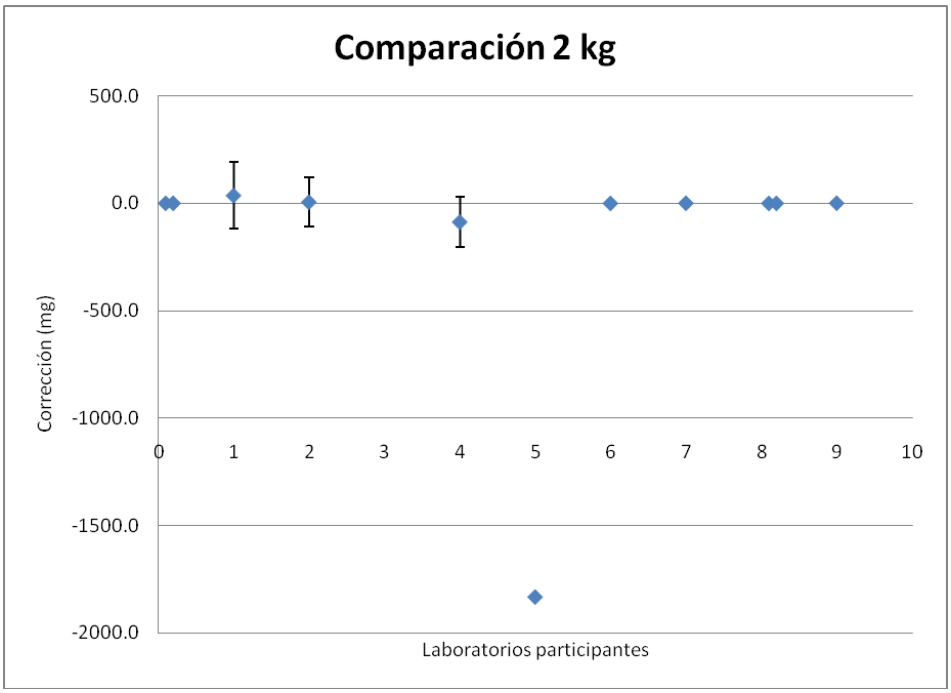


Tabla Nº 5 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 1 kg

1 kg			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	0,00	2,9	5,8
9	-0,51	0,25	0,50
7	0,17	0,40	0,80
4	56	59	118
2	0	58	115
1	0	72	144
5	-907,140	0,040	0,080
8,1	0,1	0,55	1,1
8,2	0,1	0,65	1,3
0,1	0,03	0,080	0,16
0,2	-0,04	0,075	0,15

Gráfico Nº 2 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 1 kg

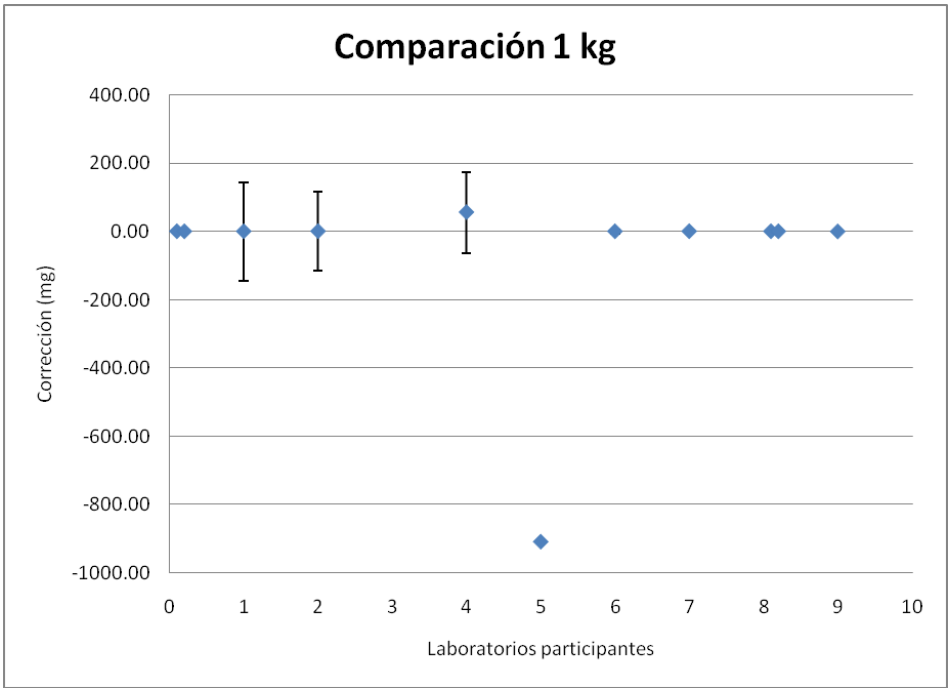


Tabla Nº 6 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 200 g

200 g			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	0,000	0,049	0,098
9	0,030	0,044	0,088
7	0,13	0,090	0,18
4	-0,015	0,095	0,19
2	0,43	0,32	0,64
1	0	72	144
5	0,1690	0,0010	0,0020
8,1	0,20	0,35	0,70
8,2	0,20	0,45	0,90
0,1	0,037	0,016	0,032
0,2	0,021	0,016	0,031

Gráfico Nº 3 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 200 g

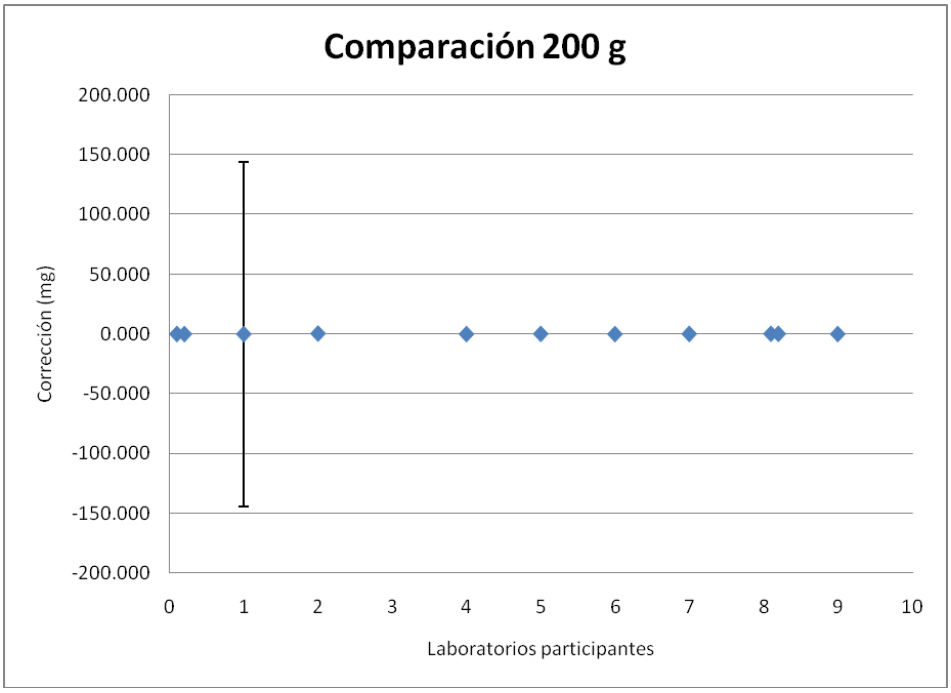


Tabla Nº 7 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 50 g

50 g			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	0,000	0,038	0,076
9	0,020	0,028	0,056
7	0,050	0,040	0,080
4	0,10	0,078	0,16
2	0,06	0,14	0,28
1	0,40	0,10	0,20
5	0,1560	0,0020	0,0040
8,1	0,00	0,30	0,60
8,2	0,00	0,40	0,80
0,1	0,028	0,012	0,023
0,2	0,022	0,012	0,023

Gráfico Nº 4 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 50 g

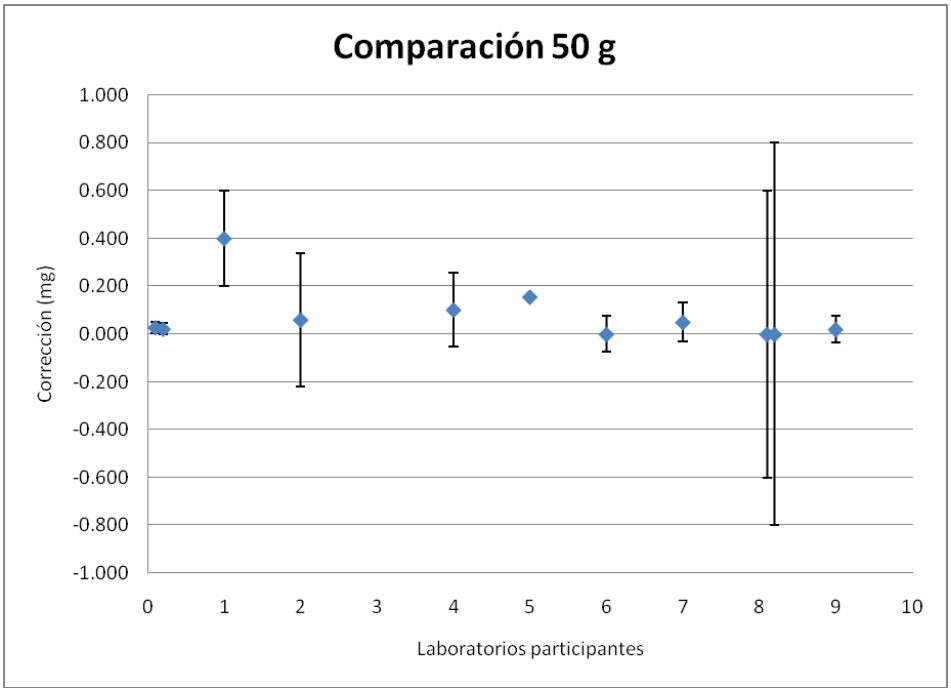


Tabla Nº 8 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 1 g

1 g			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	0,000	0,029	0,058
9	0,005	0,0065	0,013
7	0,04	0,050	0,10
4	0,01	0,064	0,13
2	-0,01	0,080	0,16
1	0,02	0,10	0,20
5	0,00	0,10	0,20
8,1	0,00	0,30	0,60
8,2	0,00	0,40	0,80
0,1	0,0125	0,0011	0,0022
0,2	0,0140	0,0011	0,0022

Gráfico Nº 5 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 1 g

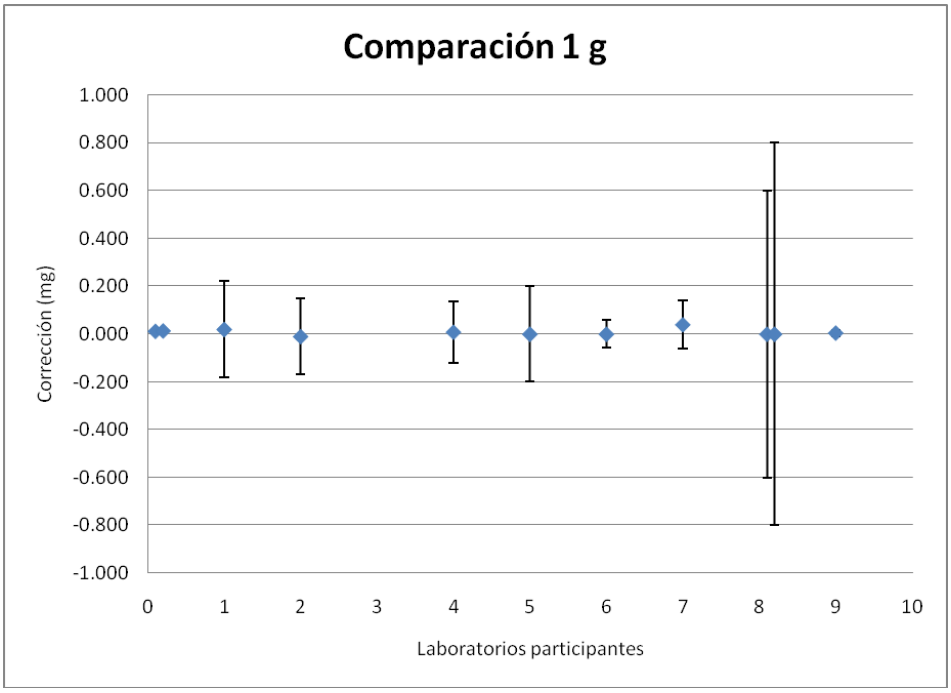
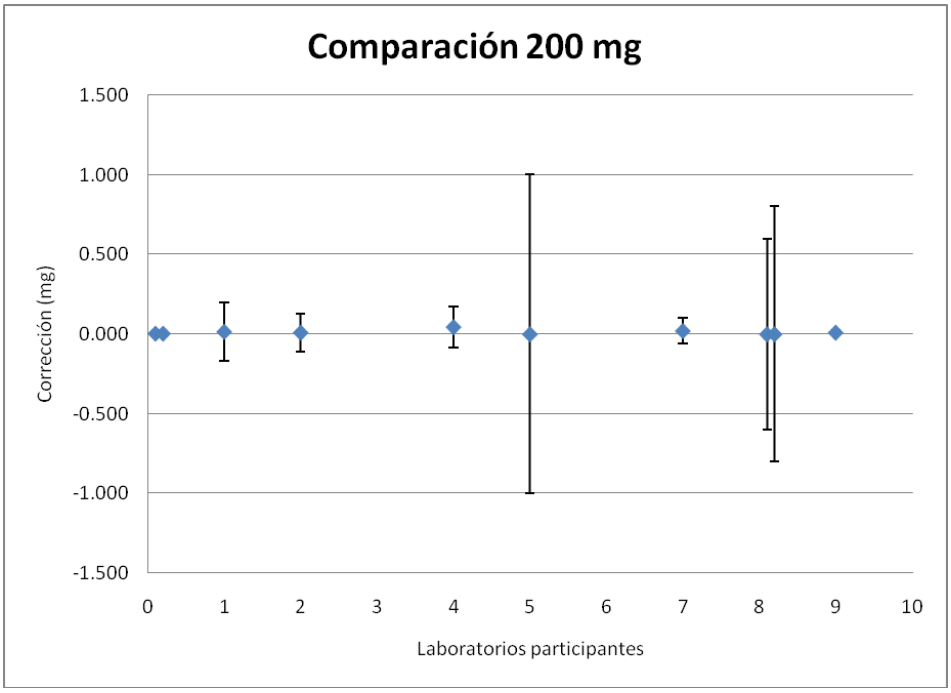


Tabla Nº 9 Tabla de los resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 200 mg

200 mg			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k=1):	Incertidumbre: (k=2):
	(mg)	(mg)	(mg)
6	---	---	---
9	0,010	0,0070	0,014
7	0,020	0,040	0,080
4	0,044	0,063	0,13
2	0,01	0,060	0,12
1	0,02	0,091	0,18
5	0,0	0,5	1,0
8,1	0,00	0,30	0,60
8,2	0,00	0,40	0,80
0,1	0,00400	0,00037	0,00074
0,2	0,00402	0,00036	0,00071

Gráfico Nº 6 Gráfico de resultados suministrados por cada laboratorio para la pesa de 200 mg



7. Estabilidad de los patrones viajeros

En el Laboratorio de Masas de Lacomet se realizó la calibración de los patrones viajeros al inicio y al final de la circulación de los mismos para el proceso de comparación, el resultado de estas mediciones se analizó comparando el error normalizado entre los valores al inicio y al final del proceso de comparación.
El valor del Error Normalizado, E_n usado para la evaluación de los resultados reportados, se obtuvo de la siguiente expresión:

$$E_n = \frac{m_{Lacomet,2} - m_{Lacomet,1}}{\sqrt{U^2_{Lacomet,2} + U^2_{Lacomet,1} + U^2_d}} \qquad (1)$$

Donde:

$m_{LP,2}$ valor de masa convencional reportada por el Lacomet al final de la comparación
$m_{LP,1}$ valor de masa convencional reportada por el Lacomet al inicio de la comparación
$U_{LP,2}$ incertidumbre expandida asociada valor de masa convencional reportada por el Lacomet al inicio de la comparación
$U_{LP,1}$ incertidumbre expandida asociada al valor de masa convencional reportada por el Lacomet al final de la comparación
U_d incertidumbre expandida asociada a la deriva de las pesas viajeras

Los parámetros de análisis para el error normalizados son los siguientes:

$E_n \leq 1$, habrá consistencia
$E_n > 1$, no habrá consistencia

La incertidumbre asociada a la deriva de las pesas viajeras, U_d, es calculada por el Lacomet y se debe a la estabilidad o inestabilidad de las pesas viajeras antes y después del desarrollo de la comparación, asociada a las incertidumbres estimadas y se determina de la siguiente manera:

$$U_{rep,Lacomet} = k\sqrt{\left(\frac{m_{Lacomet,2} - m_{Lacomet,1}}{2\sqrt{3}}\right)^2} \qquad (2)$$

Donde:

$m_{LP,1}$ valor de masa convencional reportado por el Lacomet al inicio de la comparación
$m_{LP,2}$ valor de masa convencional reportado por el Lacomet al final de la comparación
k factor de cobertura, $k = (0{,}95(2\sqrt{3}))$, con un nivel de confianza de 95 %

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla Nº 10 Tabla de los resultados de estabilidad de los patrones viajeros

Análisis de Resultados Comparación Nacional de Masas 2009-2010

Valor nominal	Corrección mg	Incert. (k=2) mg	Corrección mg	Incert. (k=2) mg	Corrección mg	Incert. (k=2) mg	Incert.(k=1) u_d (mg):	**Error normalizado:**	
	Junio-julio 2009		**Junio-Julio 2010**		Diferencias		**Rept - Deriva:**	**E_n:**	Resultado
2 kg	0,48	0,67	0,56	0,67	0,08	0,00	0,023	0,084	**OK**
1 kg	0,03	0,16	-0,04	0,15	-0,07	-0,010	0,020	0,31	**OK**
200 g	0,037	0,032	0,021	0,031	-0,016	-0,0010	0,0046	0,34	**OK**
50 g	0,028	0,023	0,022	0,023	-0,006	0,000	0,0017	0,18	**OK**
1 g	0,0125	0,0022	0,014	0,00	0,0015	0,0000	0,00043	0,44	**OK**
200 mg	0,004	0,00074	0,00402	0,00	0,000020	-0,000030	0,0000058	0,019	**OK**

Como conclusión para este punto, es posible notar que los patrones se mantuvieron estables después del proceso de comparación.

8. Diferencia y Error Normalizado entre los participantes y Lacomet

8.1 Diferencia entre los participantes y Lacomet

La diferencia entre los datos reportados por el Lacomet y los demás laboratorios participantes se calcula de la siguiente forma:

$$d_i = m_{X_i} - m_{Lacomet,prom} \tag{3}$$

Donde:

d_i diferencia entre los datos reportados por el Lacomet y los laboratorios participantes

m_{Xi} corrección reportada por el laboratorio participante "i"

$m_{Lacomet,prom}$ promedio de la corrección reportada por el Lacomet

Ya que el Laboratorio Piloto realizó una medición de los valores de masa de las pesas antes de iniciar la circulación de las pesas y otra al final de todo el recorrido, el valor reportado por el Laboratorio Piloto será el promedio de estos dos valores, este valor se calcula de la siguiente forma:

$$m_{Lacomet,prom} = \left(\frac{m_{Lacomet,2} + m_{Lacomet,1}}{2} \right) \tag{4}$$

Donde:

$m_{Lacomet,1}$ valor de masa convencional reportado por Lacomet al inicio de la comparación

$m_{Lacomet,2}$ valor de masa convencional reportado por Lacomet Piloto al final de la comparación

La incertidumbre estándar de la diferencia d_i se estima de la siguiente forma:

$$u_{d_i} = \sqrt{\left(u_{X_i}\right)^2 + \left(u_{rep,Lacomet}\right)^2} \quad (5)$$

Donde:

u_{Xi} incertidumbre estándar reportada por el laboratorio participante

$u_{rep,Lacomet}$ incertidumbre estándar por la reproducibilidad de las mediciones reportada por el Lacomet

La incertidumbre estándar por la reproducibilidad de las mediciones reportada por el Lacomet se calcula de la misma forma que en (2).

Los valores de la incertidumbre estándar por la reproducibilidad de las mediciones reportada por el Lacomet son similares a los valores obtenidos por la estimación de la incertidumbre por deriva de las pesas.

8.2 Error Normalizado entre los participantes y Lacomet

El valor del Error Normalizado, E_n usado para la evaluación de los resultados reportados por los participantes, se obtuvo de la siguiente expresión:

$$E_n = \frac{m_{X_i} - m_{Lacomet,prom}}{\sqrt{U_{x_i}^2 + U_{Lacomet,prom}^2}} \quad (6)$$

Donde:

m_{Xi} valor de masa convencional reportado por el laboratorio participante

m_{ref} valor de masa convencional conocido.

U_{prueba} incertidumbre expandida asociada al cálculo de la masa convencional reportada por cada operario.

U_{ref} incertidumbre expandida asociada al cálculo de la masa convencional conocida.

Por otro lado $m_{Lacomet,prom}$ ya fue definido en (4).

Los parámetros de análisis para el error normalizados son los siguientes:

$E_n \leq 1$, habrá consistencia.

$E_n > 1$, no habrá consistencia.

Los valores de las diferencias y los errores normalizados entre el Lacomet y los laboratorios participantes y su incertidumbre asociada se presentan a continuación:

Tabla Nº 11 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 2 kg

2 kg			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	-0,5	3,0	0,09
9	0,36	0,40	0,34
7	0,2	0,37	0,20
4	-88	59	0,74
2	5	58	0,04
1	35	78	0,23
5	-1832,660	0,038	2684
8,1	-0,5	1,0	0,25
8,2	-0,3	1,1	0,14
0	0,00	0,68	0,00

Tabla Nº 12 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 1 kg

1 kg			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	0,01	0,25	0,00
9	-0,51	0,25	0,96
7	0,18	0,40	0,21
4	56	59	0,47
2	0	58	0,00
1	0	72	0,00
5	-907,135	0,045	5201
8,1	0,11	0,55	0,09
8,2	0,11	0,65	0,08
0	0,000	0,080	0,00

Tabla Nº 13 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 200 g

200 g			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	-0,029	0,049	0,28
9	0,001	0,044	0,01
7	0,101	0,090	0,55
4	-0,04	0,10	0,23
2	0,014	0,32	0,02
1	0	72	0,00
5	0,14	0,00	4,4
8,1	0,17	0,35	0,24
8,2	0,17	0,45	0,19
0	0,000	0,016	0,00

Tabla Nº 14 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 50 g

50 g			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	-0,025	0,038	0,31
9	-0,005	0,028	0,08
7	0,025	0,040	0,30
4	0,077	0,078	0,49
2	0,04	0,14	0,12
1	0,38	0,10	1,9
5	0,1310	0,0026	5,6
8,1	-0,03	0,30	0,04
8,2	-0,03	0,40	0,03
0	0,000	0,012	0,00

Tabla Nº 15 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 1 g

1 g			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	-0,013	0,029	0,23
9	-0,0083	0,0065	0,63
7	0,027	0,050	0,27
4	-0,005	0,064	0,04
2	-0,023	0,080	0,15
1	0,01	0,10	0,03
5	-0,01	0,10	0,07
8,1	-0,01	0,30	0,02
8,2	-0,01	0,40	0,02
0	0,0000	0,0012	0,00

Tabla Nº 16 Diferencias y error normalizado entre Lacomet y los laboratorios participantes para la pesa de 200 mg

200 mg			
Nº de código:	Diferencia: (mg)	Incertidumbre: (k = 1): (mg)	E_n:
6	---	---	---
9	0,0060	0,0070	0,43
7	0,016	0,040	0,20
4	0,040	0,063	0,32
2	0,006	0,060	0,05
1	0,011	0,091	0,06
5	0,00	0,50	0,00
8,1	0,00	0,30	0,01
8,2	0,00	0,40	0,01
0	0,00000	0,00036	0,00

Es evidente, al observar los valores presentados en las tablas Nº 11 a Nº 16, que algunos laboratorios no cumplen con el parámetro del error normalizado, esto quiere decir que no se pueden considerar consistentes. Por otro lado, al revisar las incertidumbres reportadas por los participantes y las diferencias entre las incertidumbres reportadas por Lacomet y las reportadas por los participantes, es notable que muchas de estas incertidumbres sobrepasan los parámetros del Máximo Error Permitido (MEP) para la clase F_1, para la mayoría de los valores nominales de

masa reportados, esta situación favorece a estos laboratorios al disminuir el valor del $\mathbf{E_n}$ calculado, sin embargo, esto se aleja del objetivo de demostrar competencia técnica en un nivel de exactitud aceptable. En otros casos, para algunos valores nominales, un laboratorio reporta incertidumbres menores a las reportadas por Lacomet, lo cual cuestiona la forma en la cual se está estimando la incertidumbre en este laboratorio.
Con base en lo anterior la forma de análisis con base en el $\mathbf{E_n}$ no es adecuada o no es suficientemente significativa para tomar decisiones sobre el comportamiento de los laboratorios, de tal forma, se recurrirá a otra forma de análisis de los resultados por medio de la determinación de un valor de referencia.

9. Valor de Referencia

La determinación del **Valor de Referencia**, para cada valor nominal de masa, se obtuvo como resultado del análisis de los resultados reportados por los laboratorios participantes con base en el **Método A**, el de la **media ponderada**, y el **Método B**, el de la **comparación de la mediana** de los datos, de acuerdo a lo expresado por Cox, M. G., “The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset”.

9.1 Método A: Uso de la media ponderada

El uso de la media ponderada como medio de determinar un valor de referencia puede ser aplicado sólo cuando los valores reportados por los participantes son consistentes.
El valor de referencia se determina para cada uno de los valores nominales de la siguiente forma:

$$VR_{media} = \frac{\sum d_{ji} / u^2\left(d_{ji}\right)}{\sum 1 / u^2\left(d_{ji}\right)} \tag{7}$$

$$\frac{1}{u^2\left(VR_{media}\right)} = \sum \frac{1}{u^2\left(d_{ji}\right)} \tag{8}$$

La consistencia de los valores reportados por los participantes se evalúa aplicando la prueba estadística de **Chi-cuadrado** con base en el siguiente criterio de aceptación:

$$Pr\left\{\chi^2\left(\upsilon\right) > \chi^2_{obs}\right\} < 0.05 \tag{9}$$

$$\upsilon = N - 1 \tag{10}$$

Donde:

$Pr\{\} < 0{,}005$	probabilidad de que la hipótesis nula sea cierta con un nivel de confianza del 95%
N	número de laboratorios participantes
$\chi^2(\upsilon)$	prueba chi-cuadrada, correspondiente a υ grados de libertad
χ^2_{obs}	prueba chi-cuadrada, para los valores observados

La prueba Chi-cuadrado nos permite definir si los datos se comportan de forma estable a nivel grupal. Cuando la hipótesis nula se confirma los datos son consistentes y por ende no es necesario hacer otro análisis y la **media ponderada** se puede considerar como el valor de

referencia, sin embargo, cuando no se confirma la hipótesis nula se demuestra que los datos reportados son inconsistentes y entonces se debe aplicar el **Método B**.
Como resultado del análisis realizado a los resultados reportados por los laboratorios participantes, con base en los resultados de Lacomet, se encontraron inconsistencias entre los laboratorios participantes en cuatro de los valores nominales, 2 kg, 1 kg, 200 g y 1 g. Algunos de los valores reportados por los participantes se consideraron inconsistentes de acuerdo con la prueba estadística de Chi-cuadrado con un nivel de confianza del 95%. Para definir cuáles de los datos reportados por los laboratorios participantes son los inconsistentes se aplicó una prueba estadística t.
Los resultados reportados por los laboratorios participantes considerados como inconsistentes se presentan a continuación:

Tabla Nº 17 Resultados reportados por los laboratorios participantes considerados como inconsistentes para la pesa de 2 kg con el Método A

2 kg			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k = 1)	Incertidumbre: (k = 2)
	(mg)	(mg)	(mg)
4	-87	59	118
2	5,7	58	116
1	36	78	156
5	-1832,140	0,030	0,060

Tabla Nº 18 Resultados reportados por los laboratorios participantes considerados como inconsistentes para la pesa de 1 kg con el Método A

1 kg			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k = 1)	Incertidumbre: (k = 2)
	(mg)	(mg)	(mg)
4	56	59	118
2	0,4	58	115
1	0,0	72	144
5	-907,14	0,040	0,08

Tabla Nº 19 Resultados reportados por los laboratorios participantes considerados como inconsistentes para la pesa de 200 g con el Método A

200 g			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k = 1)	Incertidumbre: (k = 2)
	(mg)	(mg)	(mg)
1	0	72	144
5	0,1690	0,0010	0,0020

Tabla Nº 20 Resultados reportados por los laboratorios participantes considerados como inconsistentes para la pesa de 50 g con el Método A

50 g			
Nº de código:	Corrección:	Incertidumbre: (k = 1)	Incertidumbre: (k = 2)
	(mg)	(mg)	(mg)
1	0,40	0,10	0,20
5	0,156	0,002	0,004

Los valores nominales de 1 g y 200 mg no presentaron inconsistencias como resultado de la aplicación de la prueba Chi-cuadrado.
De acuerdo con Cox, M. G., “The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset”, Metrología 39, 2002, sección 5, páginas: 591 y 592, los valores considerados como inconsistentes, de acuerdo a la prueba de Chi-cuadrado, se separan del resto, los valores estimados como consistentes se consideran ahora para calcular el valor de referencia apropiado que será aplicado al final a toda la población, aun cuando cada valor reportado aporte, o no, a la determinación del valor de referencia.
Con base en lo anterior se aplicó el **Método B** para la determinación del valor de referencia para el análisis de los resultados reportados por los laboratorios participantes.

9.2 Método B: Uso de la mediana de los resultados reportados

La **mediana** es un valor único de un conjunto de datos que mide al elemento central de ese conjunto de datos. Este único elemento es el más cercano a la mitad o el más central de todo el conjunto de números que no se ve afectado en gran manera por valores dispersos.
Ya que varios de los resultados reportados por los laboratorios participantes presentan variaciones importantes con respecto a los valores reportados por el Lacomet es recomendable utilizar un método de análisis que permita determinar un **Valor de Referencia** apropiado de acuerdo con el comportamiento de la población en estudio, y que no necesariamente se parezca al resultado reportado por Lacomet.
La obtención del **Valor de Referencia** se realizó por medio del método de cálculo de la **mediana estadística** de la población por medio de **simulación numérica** con base en las diferencias entre los valores reportados por el Lacomet y los laboratorios participantes por medio de **Monte Carlo**, cada uno de los **Valores de Referencia** se calculó por medio de la generación de 25000 números aleatorios.

Para el proceso de simulación numérica se tomaron los valores de las diferencias entre los valores reportados por Lacomet y los laboratorios participantes, todas estas diferencias, junto con sus incertidumbres, son la base con la que se generan los números aleatorios necesarios. Para cada laboratorio, en cada uno de los valores nominales de masa en estudio, se genera un juego de números aleatorios, a estos juegos de números se les aplicó la mediana estadística, el promedio y la desviación estándar de esas medianas nos permite obtener los **Valores de Referencia** buscados.
Los **Valores de Referencia** obtenidos son los siguientes:

Tabla Nº 21 Tabla de los valores de referencia para cada valor nominal

Valor Nominal de masa:	Valor de Referencia	u (k = 1)
	(mg)	(mg)
2 kg	0,01	0,32
1 kg	-0,02	0,30
200 g	0,028	0,043
50 g	0,007	0,026
1 g	-0,004	0,023
200 mg	0,008	0,026

10. Grados de Equivalencia

Los **Grados de Equivalencia** son aquellos valores numéricos que indican la dispersión que existe entre los resultados reportados por los laboratorios participantes y Lacomet, contra los **Valores de Referencia** asignados a cada valor nominal de masa.
Los **Grados de Equivalencia** entre los resultados reportados por los laboratorios participantes, los resultados reportados por Lacomet y los Valores de Referencia asignados a cada valor nominal se calculan de la siguiente forma:

$$GE_{di-VR} = d_i - VR_{mediana} \tag{11}$$

Donde:
$GE_{di\text{-}VR}$ grados de equivalencia entre la diferencia y el Valor de Referencia
d_i diferencia entre los datos reportados por Lacomet y los laboratorios participantes
$VR_{mediana}$ Valor de Referencia obtenido con la mediana de las diferencias

La incertidumbre asociada a los Grados de Equivalencia para los laboratorios participantes se obtiene de la siguiente forma:

$$U_{GE_{di-VR}} = 2\sqrt{\left(u_{d_i}\right)^2 - \left(u_{VR_{mediana}}\right)^2} \tag{12}$$

Donde:
$U_{GEdi\text{-}VR}$ incertidumbre asociada a los grados de equivalencia entre la diferencia y el valor de referencia
u_{di} incertidumbre asociada a la diferencia entre los datos reportados por Lacomet y los laboratorios participantes
$u_{VRmediana}$ incertidumbre asociada al Valor de Referencia obtenido con la mediana de las diferencias

El valor del Error Normalizado, E_n usado para la evaluación de los resultados reportados y los Grados de Equivalencia, se obtuvo de la siguiente expresión:

$$E_n = \frac{d_i - VR_{mediana}}{2\sqrt{\left(u_{d_i}\right)^2 + \left(u_{VR_{mediana}}\right)^2}} \qquad (13)$$

Donde:

d_i diferencia entre los datos reportados por el Lacomet y los laboratorios participantes

$VR_{mediana}$ Valor de Referencia obtenido con la mediana de las diferencias

u_{di} incertidumbre asociada a la diferencia entre los datos reportados por el Lacomet y los laboratorios participantes

$u_{VRmediana}$ incertidumbre asociada al Valor de Referencia obtenido con la mediana de las diferencias

Los parámetros de análisis para el error normalizados son los siguientes:

$E_n \leq 1$, habrá consistencia

$E_n > 1$, no habrá consistencia

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla N° 22 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 2 kg

Nº de código:	GE	U (k = 2)	U (k = 1)	E_n:
	(mg)	(mg)	(mg)	
6	-0,5	5,9	3,0	0,089
9	0,35	0,49	0,24	0,44
7	0,19	0,38	0,19	0,26
4	-88	118	59	0,74
2	5,2	116	58	0,045
1	35	156	78	0,23
5	-1833	0,63	0,32	2041
8,1	-0,53	1,90	0,95	0,26
8,2	-0,33	2,00	1,00	0,16
0	-0,008	0,21	0,11	0,011

Gráfico Nº 7 Gráfico de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 2 kg

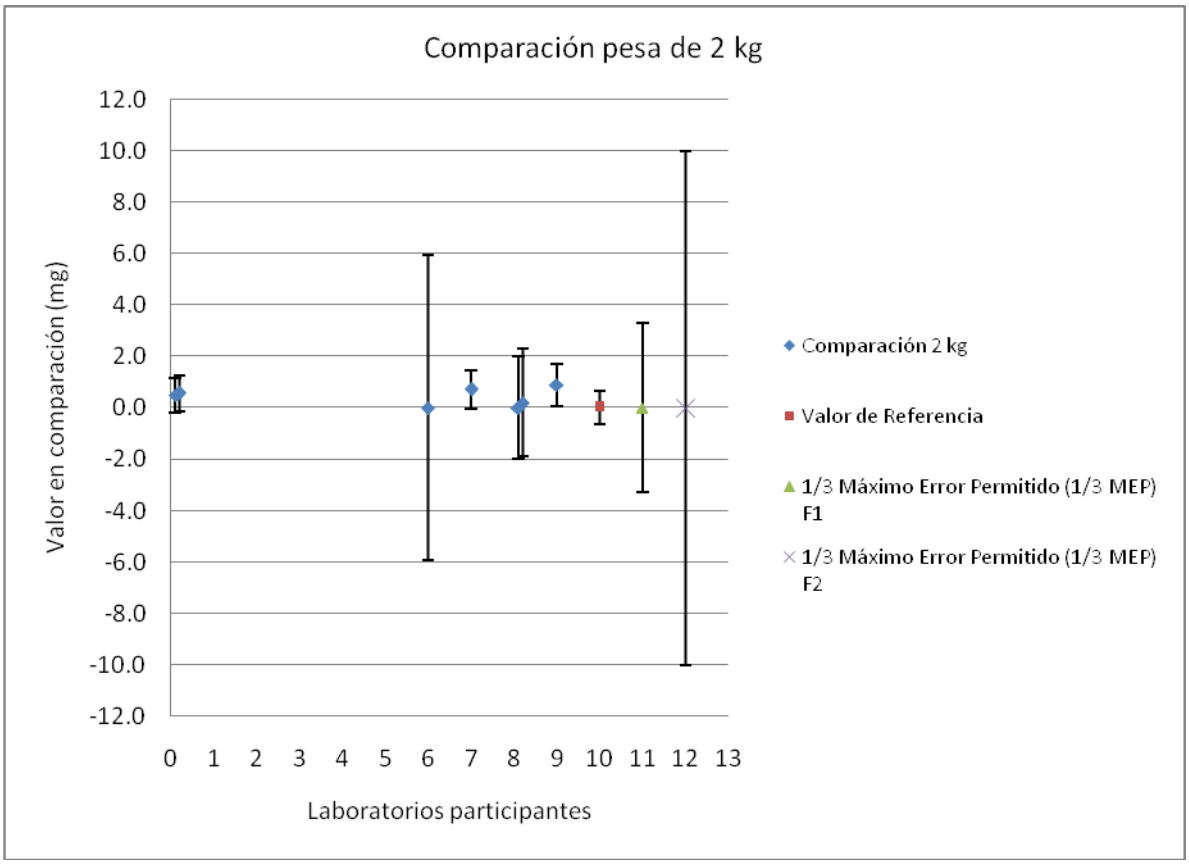


Tabla N° 23 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 1 kg

Nº de código:	GE (mg)	U (k = 2) (mg)	U (k = 1) (mg)	E_n:
6	0,024	5,7	2,9	0,004
9	-0,49	0,32	0,16	0,72
7	0,19	0,54	0,27	0,24
4	56	118	59	0,47
2	0,42	115	58	0,004
1	0,024	144	72	0,000
5	-907	0,59	0,29	1089
8,1	0,12	0,93	0,46	0,11
8,2	0,12	1,16	0,58	0,095
0	0,019	0,57	0,28	0,023

Gráfico Nº 8 Gráfico de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 1 kg

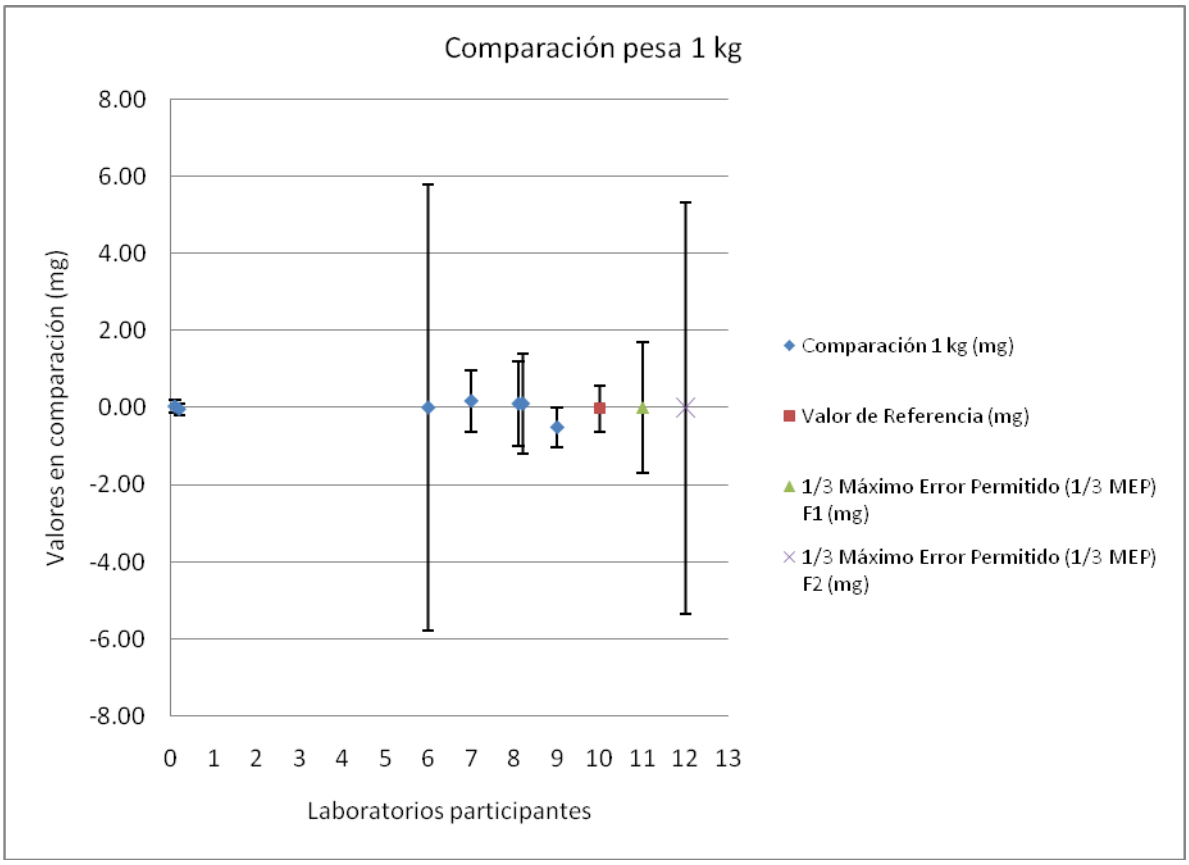


Tabla N° 24 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 200 g

Nº de código:	GE	U (k = 2)	U (k = 1)	E_n:
	(mg)	(mg)	(mg)	
6	-0,057	0,048	0,024	0,57
9	-0,027	0,022	0,011	0,30
7	0,073	0,16	0,079	0,41
4	-0,072	0,17	0,085	0,38
2	0,37	0,63	0,32	0,58
1	-0,057	144	72	0,00
5	0,112	0,085	0,043	0,93
8,1	0,14	0,69	0,35	0,20
8,2	0,14	0,90	0,45	0,16
0	-0,028	0,079	0,039	0,24

Gráfico Nº 9 Gráfico de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 200 g

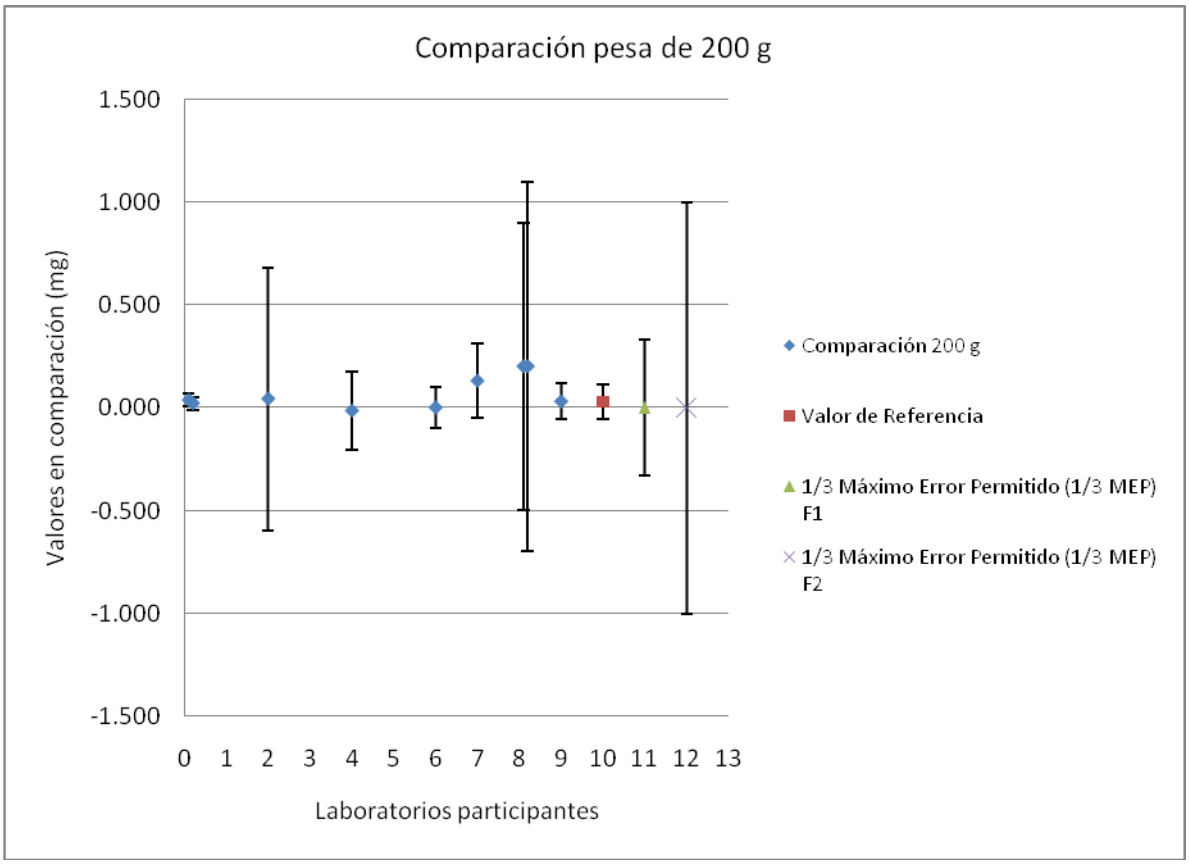


Tabla N° 25 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 50 g

Nº de código:	GE (mg)	U (k = 2) (mg)	U (k = 1) (mg)	E_n:
6	-0,032	0,055	0,027	0,42
9	-0,012	0,019	0,009	0,22
7	0,018	0,060	0,030	0,22
4	0,070	0,15	0,073	0,45
2	0,028	0,27	0,14	0,099
1	0,368	0,19	0,096	1,8
5	0,124	0,053	0,026	1,7
8,1	-0,03	0,60	0,30	0,054
8,2	-0,03	0,80	0,40	0,040
0	-0,007	0,047	0,024	0,10

Gráfico Nº 10 Gráfico de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 50 g

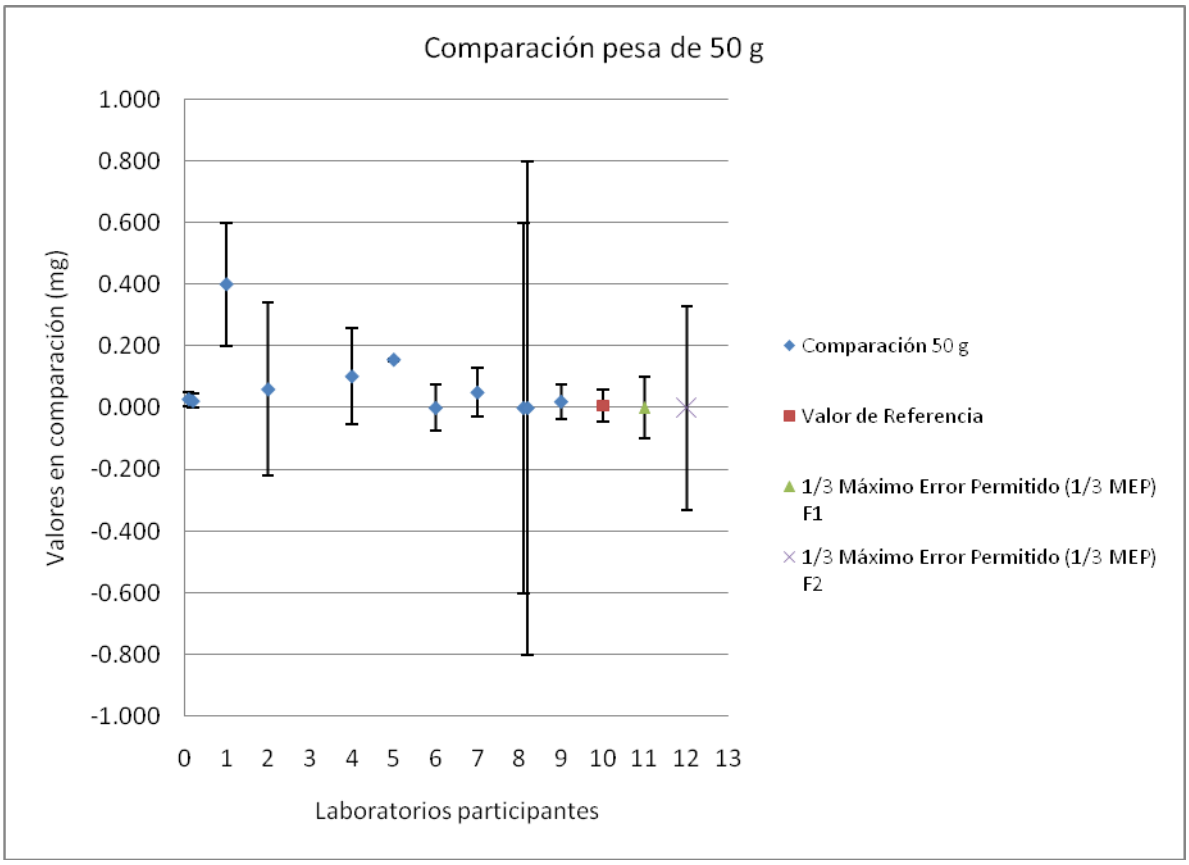
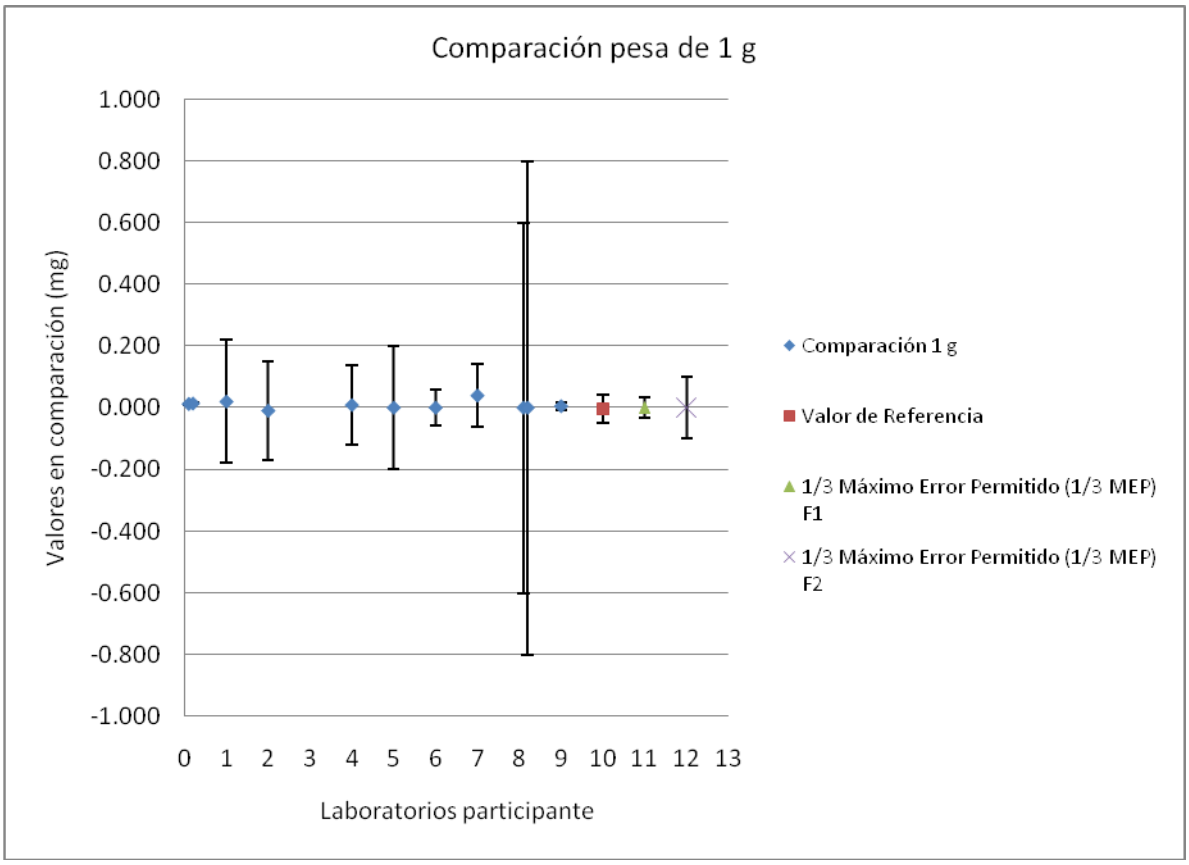


Tabla N° 26 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 1 g

Nº de código:	GE (mg)	U (k = 2) (mg)	U (k = 1) (mg)	E_n:
6	-0,009	0,035	0,017	0,16
9	-0,004	0,045	0,022	0,069
7	0,031	0,089	0,044	0,31
4	0,00	0,12	0,060	0,006
2	-0,02	0,15	0,077	0,12
1	0,01	0,19	0,10	0,053
5	-0,01	0,19	0,10	0,047
8,1	-0,01	0,60	0,30	0,016
8,2	-0,01	0,80	0,40	0,012
0	0,004	0,046	0,023	0,058

Gráfico Nº 11 Gráfico de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 1 g



Al considerar la incertidumbre para el Máximo Error Permitido (MEP) para la pesa de 1g, tanto para la clase de exactitud F_1, como para F_2, como referencia del nivel de exactitud adecuado para laboratorios de calibración, es necesario ajustar el gráfico anterior con el fin de acercar más a los laboratorios a esta realidad, lo cual se presenta a continuación.

Gráfico Nº 12 Gráfico ajustado de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 1 g

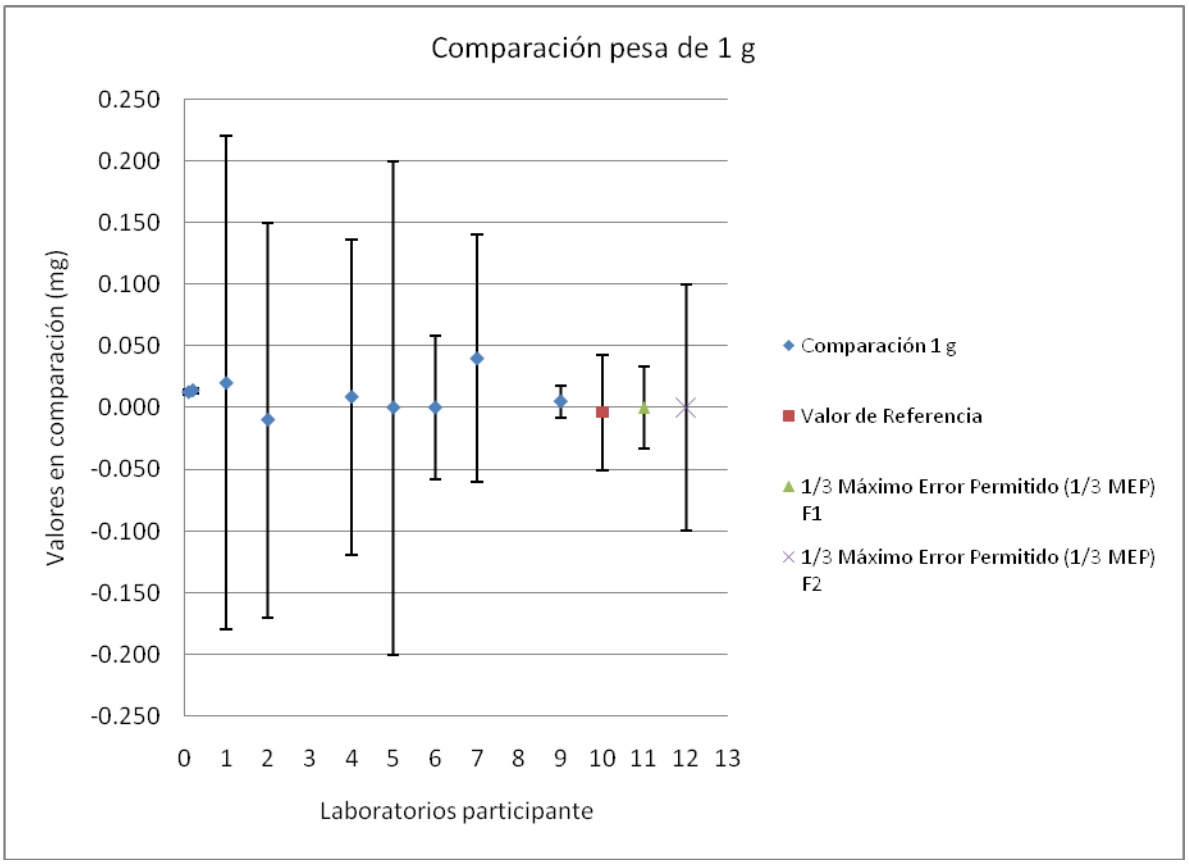
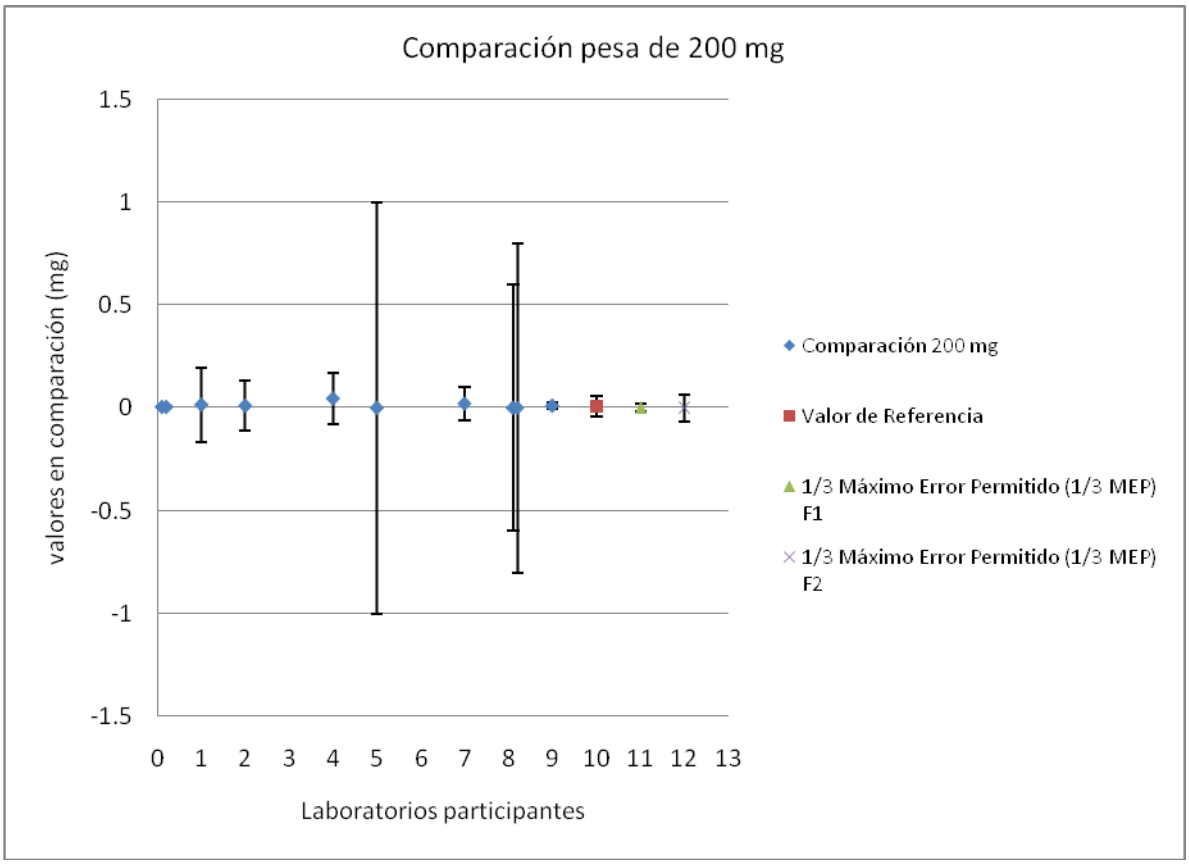


Tabla N° 27 Grados de Equivalencia, incertidumbre y Error Normalizado para la pesa de 200 mg

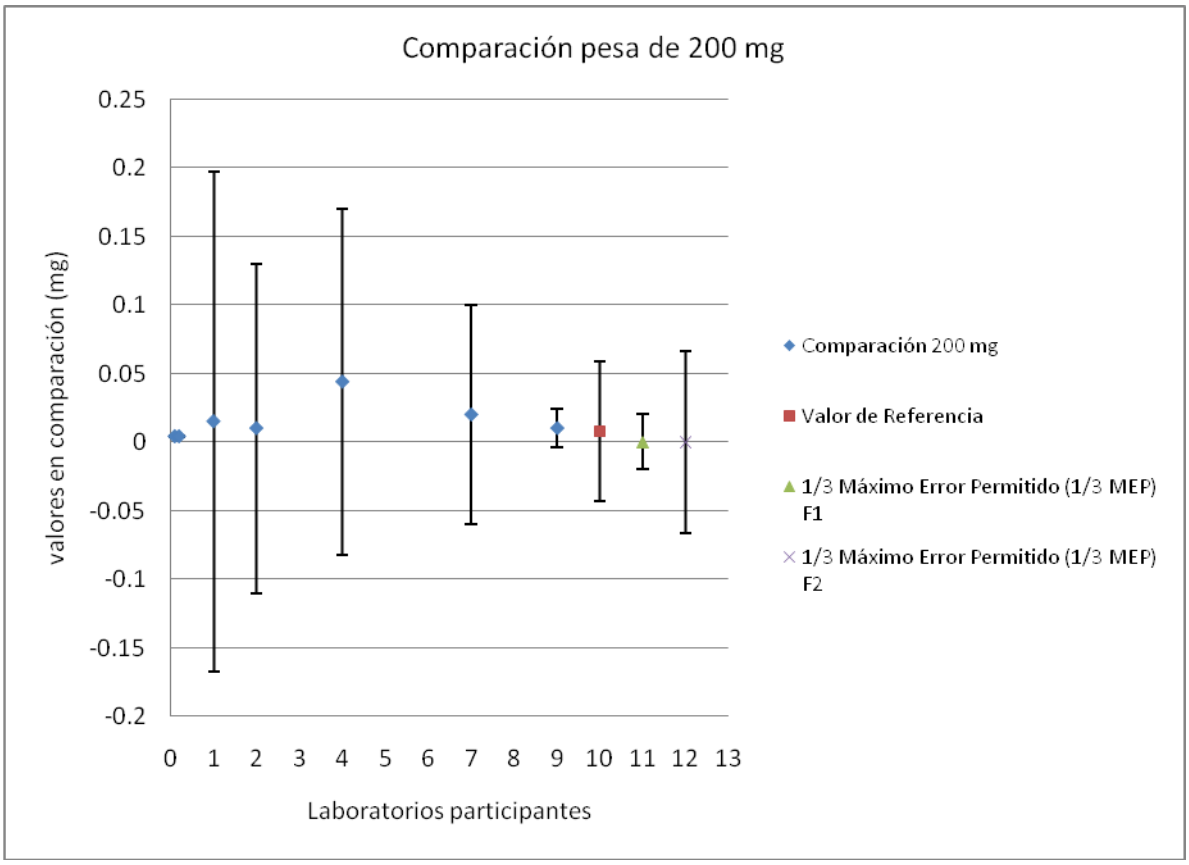
Nº de código:	GE (mg)	U (k = 2) (mg)	U (k = 1) (mg)	E_n:
9	-0,002	0,049	0,025	0,024
7	0,008	0,061	0,031	0,10
4	0,032	0,12	0,058	0,26
2	-0,002	0,11	0,054	0,014
1	0,003	0,17	0,087	0,018
5	-0,012	1,0	0,50	0,012
8,1	-0,01	0,60	0,30	0,020
8,2	-0,01	0,80	0,40	0,015
0	-0,008	0,051	0,026	0,11

Gráfico Nº 13 Gráfico de de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 1 g



Del mismo modo, al considerar la incertidumbre para el Máximo Error Permitido (MEP) para la pesa de 200 mg, tanto para la clase de exactitud F_1, como para F_2, como referencia del nivel de exactitud adecuado para laboratorios de calibración, es necesario ajustar el gráfico anterior con el fin de acercar más a los laboratorios a esta realidad, lo que se presenta a continuación.

Gráfico Nº 14 Gráfico ajustado de comparación de los laboratorios que aportan a la determinación del Valor de Referencia, contra la clase de exactitud, para la pesa de 200 mg



11. Grados de equivalencia entre participantes

Los **Grados de Equivalencia entre cada participante** corresponden a la diferencia entre los valores reportados por cada participante. Con base en lo anterior se consideró el valor reportado por el Lacomet como Valor de Referencia.
Los Grados de Equivalencia entre cada participante se obtuvieron de la siguiente forma:

$$GE_{A-B} = m_A - m_B \tag{14}$$

Donde:
GE_{A-B} grados de equivalencia entre el laboratorio A y B
m_A corrección reportada por el laboratorio A
m_B corrección reportada por el laboratorio B
La incertidumbre asociada a los Grados de Equivalencia se obtuvo de la siguiente forma:

$$U_{GE_{A-B}} = 2\sqrt{(u_A)^2 + (u_B)^2 - (u_{rep,Lacomet})^2} \tag{15}$$

Donde:

$U_{GE\ A\text{-}B}$ incertidumbre asociada a los grados de equivalencia entre el laboratorio A y el B
u_A incertidumbre asociada a la corrección reportada por el laboratorio A
u_B incertidumbre asociada a la corrección reportada por el laboratorio B
$u_{rep,Lacomet}$ Incertidumbre asociada a la reproducibilidad del Laboratorio Piloto

La incertidumbre por repetibilidad de Lacomet se obtuvo de la siguiente forma:

$$u_{rep,Lacomet} = \sqrt{\left(\frac{m_{Lacomet,2} - m_{Lacomet,1}}{2\sqrt{3}}\right)^2} \qquad (16)$$

Donde:

$m_{Lacomet,1}$ valor de masa convencional reportado por el Lacomet al inicio de la comparación
$m_{Lacomet,2}$ valor de masa convencional reportado por el Lacomet al final de la comparación

Los valores de la incertidumbre estándar por la reproducibilidad de las mediciones reportada por el Lacomet son similares a los valores obtenidos por la estimación de la incertidumbre por deriva de las pesas.

Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla N° 28 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 2 kg

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 2 kg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		-0,88	-0,72	87	-5,7	-36	1832	0,00	-0,20	-0,52
9	0,88		0,16	88	-4,8	-35	1833	0,88	0,68	0,36
7	0,72	-0,16		88	-5,0	-35	1833	0,72	0,52	0,20
4	-87	-88	-88		-93	-123	1745	-87	-87	-88
2	5,7	4,8	5,0	93		-30	1838	5,7	5,5	5,2
1	36	35	35	123	30		1868	36	36	35
5	-1832	-1833	-1833	-1745	-1838	-1868		-1832	-1832	-1833
8,1	0,00	-0,88	-0,72	87	-5,7	-36	1832		-0,20	-0,52
8,2	0,20	-0,68	-0,52	87	-5,5	-36	1832	0,20		-0,32
0	0,52	-0,36	-0,20	88	-5,2	-35	1833	0,52	0,32	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 2 kg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		3,0	3,0	59	58	78	3,0	3,1	3,2	3,05
9	3,0		0,54	59	58	78	0,40	1,1	1,1	0,80
7	3,0	0,54		59	58	78	0,37	1,1	1,1	0,79
4	59	59	59		83	98	59	59	59	59
2	58	58	58	83		97	58	58	58	58
1	78	78	78	98	97		78	78	78	78
5	3,0	0,40	0,37	59	58	78		1,0	1,1	0,69
8,1	3,1	1,1	1,1	59	58	78	1,0		1,4	1,22
8,2	3,2	1,1	1,1	59	58	78	1,1	1,4		1,26
0	3,0	0,80	0,79	59	58	78	0,69	1,2	1,3	

Tabla N° 29 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 1 kg

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 1 kg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		0,51	-0,17	-56	-0,40	0,00	907	-0,10	-0,10	0,005
9	-0,51		-0,68	-57	-0,91	-0,51	907	-0,61	-0,61	-0,51
7	0,17	0,68		-56	-0,23	0,17	907	0,070	0,070	0,18
4	56	57	56		56	56	963	56	56	56
2	0,40	0,91	0,23	-56		0,40	908	0,30	0,30	0,41
1	0,00	0,51	-0,17	-56	-0,40		907	-0,10	-0,10	0,005
5	-907	-907	-907	-963	-908	-907		-907	-907	-907
8,1	0,10	0,61	-0,070	-56	-0,30	0,10	907		0,00	0,11
8,2	0,10	0,61	-0,070	-56	-0,30	0,10	907	0,00		0,11
0	-0,005	0,51	-0,18	-56	-0,41	-0,005	907	-0,11	-0,11	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 1 kg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		2,9	2,9	59	58	72	2,9	2,9	3,0	2,9
9	2,9		0,47	59	58	72	0,25	0,60	0,70	0,41
7	2,9	0,47		59	58	72	0,40	0,68	0,76	0,52
4	59	59	59		83	93	59	59	59	59
2	58	58	58	83		92	58	58	58	58
1	72	72	72	93	92		72	72	72	72
5	2,9	0,25	0,40	59	58	72		0,55	0,65	0,33
8,1	2,9	0,6	0,7	59	58	72	0,55		0,85	0,64
8,2	3,0	0,7	0,8	59	58	72	0,65	0,85		0,73
0	2,9	0,41	0,52	59	58	72	0,33	0,64	0,73	

Tabla N° 30 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 200 g

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 200 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		-0,030	-0,13	0,015	-0,43	0,00	-0,17	-0,20	-0,20	-0,029
9	0,030		-0,10	0,045	-0,40	0,030	-0,14	-0,17	-0,17	0,0010
7	0,13	0,10		0,15	-0,30	0,13	-0,039	-0,070	-0,070	0,10
4	-0,015	-0,045	-0,15		-0,45	-0,015	-0,18	-0,22	-0,22	-0,044
2	0,43	0,40	0,30	0,45		0,43	0,26	0,23	0,23	0,40
1	0,00	-0,030	-0,13	0,015	-0,43		-0,17	-0,20	-0,20	-0,029
5	0,17	0,14	0,04	0,18	-0,26	0,17		-0,031	-0,031	0,14
8,1	0,20	0,17	0,070	0,22	-0,23	0,20	0,031		0,00	0,17
8,2	0,20	0,17	0,070	0,22	-0,23	0,20	0,031	0,00		0,17
0	0,029	-0,0010	-0,10	0,044	-0,40	0,029	-0,14	-0,17	-0,17	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 200 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		0,062	0,10	0,10	0,32	72	0,04	0,35	0,45	0,16
9	0,062		0,10	0,10	0,32	72	0,04	0,35	0,45	0,15
7	0,10	0,10		0,13	0,33	72	0,09	0,36	0,46	0,17
4	0,10	0,10	0,13		0,33	72	0,09	0,36	0,46	0,18
2	0,32	0,32	0,33	0,33		72	0,32	0,47	0,55	0,35
1	72	72	72	72	72		72	72	72	72
5	0,043	0,037	0,087	0,092	0,32	72		0,35	0,45	0,15
8,1	0,35	0,35	0,36	0,36	0,47	72	0,35		0,57	0,38
8,2	0,45	0,45	0,46	0,46	0,55	72	0,45	0,57		0,47
0	0,16	0,15	0,17	0,18	0,35	72	0,15	0,38	0,47	

Tabla N° 31 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 50 g

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 50 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		-0,020	-0,050	-0,102	-0,060	-0,40	-0,16	0,00	0,00	-0,025
9	0,020		-0,030	-0,082	-0,040	-0,380	-0,14	0,020	0,020	-0,0050
7	0,050	0,030		-0,052	-0,010	-0,35	-0,106	0,050	0,050	0,025
4	0,10	0,082	0,052		0,042	-0,298	-0,054	0,10	0,10	0,077
2	0,060	0,040	0,010	-0,042		-0,34	-0,10	0,060	0,06	0,035
1	0,40	0,38	0,35	0,30	0,34		0,24	0,40	0,40	0,38
5	0,16	0,14	0,11	0,054	0,10	-0,24		0,16	0,156	0,13
8,1	0,00	-0,020	-0,050	-0,10	-0,060	-0,40	-0,16		0,00	-0,025
8,2	0,00	-0,020	-0,050	-0,10	-0,060	-0,40	-0,16	0,00		-0,025
0	0,025	0,0050	-0,025	-0,077	-0,035	-0,38	-0,13	0,025	0,025	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 50 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		0,041	0,050	0,084	0,14	0,10	0,030	0,30	0,40	0,13
9	0,041		0,043	0,080	0,14	0,10	0,016	0,30	0,40	0,13
7	0,050	0,043		0,085	0,14	0,11	0,033	0,30	0,40	0,13
4	0,084	0,080	0,085		0,16	0,12	0,075	0,31	0,41	0,15
2	0,14	0,14	0,14	0,16		0,17	0,14	0,33	0,42	0,19
1	0,10	0,10	0,11	0,12	0,17		0,10	0,32	0,41	0,16
5	0,030	0,016	0,033	0,075	0,14	0,10		0,30	0,40	0,13
8,1	0,30	0,30	0,30	0,31	0,33	0,32	0,30		0,50	0,33
8,2	0,40	0,40	0,40	0,41	0,42	0,41	0,40	0,50		0,42
0	0,13	0,13	0,13	0,15	0,19	0,16	0,13	0,33	0,42	

Tabla N° 32 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 1 g

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 1 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		-0,0050	-0,040	-0,0087	0,010	-0,020	0,000	0,0000	0,0000	-0,013
9	0,0050		-0,035	-0,004	0,015	-0,015	0,0050	0,0050	0,0050	-0,0083
7	0,040	0,035		0,031	0,050	0,020	0,040	0,040	0,040	0,027
4	0,0087	0,0037	-0,031		0,019	-0,011	0,0087	0,0087	0,0087	-0,0046
2	-0,010	-0,015	-0,050	-0,019		-0,030	-0,010	-0,010	-0,010	-0,023
1	0,020	0,015	-0,020	0,011	0,030		0,020	0,020	0,020	0,0068
5	0,000	-0,0050	-0,040	-0,0087	0,010	-0,020		0,000	0,000	-0,013
8,1	0,000	-0,0050	-0,040	-0,0087	0,010	-0,020	0,000		0,000	-0,013
8,2	0,000	-0,0050	-0,040	-0,0087	0,010	-0,020	0,000	0,00		-0,013
0	0,013	0,0083	-0,027	0,0046	0,023	-0,0068	0,013	0,013	0,013	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 1 g	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		0,019	0,053	0,066	0,082	0,10	0,10	0,30	0,40	0,043
9	0,019		0,045	0,060	0,077	0,10	0,098	0,30	0,40	0,033
7	0,053	0,045		0,078	0,091	0,11	0,11	0,30	0,40	0,059
4	0,066	0,060	0,078		0,10	0,12	0,12	0,31	0,40	0,072
2	0,082	0,077	0,091	0,10		0,13	0,13	0,31	0,41	0,086
1	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13		0,14	0,32	0,41	0,10
5	0,10	0,098	0,11	0,12	0,13	0,14		0,32	0,41	0,10
8,1	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32		0,50	0,30
8,2	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,50		0,40
0	0,043	0,033	0,059	0,072	0,086	0,10	0,10	0,30	0,40	

Tabla N° 33 Diferencias entre los participantes e incertidumbre expandida para la pesa de 1 g

Diferencias entre participantes (mg)										
Pesa de 200 mg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	---		-0,010	-0,034	0,000	-0,0050	0,010	0,010	0,010	0,0060
7	---	0,010		-0,024	0,010	0,0050	0,020	0,020	0,020	0,016
4	---	0,034	0,024		0,034	0,029	0,044	0,044	0,044	0,040
2	---	0,000	-0,010	-0,034		-0,0050	0,010	0,010	0,010	0,0060
1	---	0,0050	-0,0050	-0,029	0,0050		0,015	0,015	0,015	0,011
5	---	-0,010	-0,020	-0,044	-0,010	-0,015		0,000	0,000	-0,0040
8,1	---	-0,010	-0,020	-0,044	-0,010	-0,015	0,000		0,000	-0,0040
8,2	---	-0,010	-0,020	-0,044	-0,010	-0,015	0,000	0,00		-0,0040
0	---	-0,0060	-0,016	-0,040	-0,0060	-0,011	0,0040	0,0040	0,0040	

Incertidumbre Expandida (mg), k = 2										
Pesa de 200 mg	6	9	7	4	2	1	5	8,1	8,2	0
6		---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	---		0,033	0,059	0,056	0,088	0,50	0,30	0,40	0,0053
7	---	0,033		0,071	0,068	0,10	0,50	0,30	0,40	0,040
4	---	0,059	0,071		0,084	0,11	0,50	0,31	0,40	0,063
2	---	0,056	0,068	0,084		0,11	0,50	0,31	0,40	0,060
1	---	0,088	0,10	0,11	0,11		0,51	0,31	0,41	0,09
5	---	0,500	0,50	0,50	0,50	0,51		0,58	0,64	0,50
8,1	---	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,58		0,50	0,30
8,2	---	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,64	0,50		0,40
0	---	0,0053	0,040	0,063	0,060	0,091	0,50	0,30	0,40	

12. Conclusiones

1.1 La circulación de los patrones viajeros resultó exitosa, se confirmó la estabilidad metrológica de los patrones viajeros al regreso a Lacomet.

1.2 De los laboratorios inscritos para este proceso dos laboratorios participantes no reportaron resultados finales.

1.3 Cada laboratorio participante utilizó sus métodos de calibración de masa y sus métodos de estimación de la incertidumbre, con el uso de los mismos cada laboratorio reportó los resultados reportados.

1.4 Los resultados finales reportados por los laboratorios participantes fueron analizados con base en los resultados reportados por el Laboratorio de Masas de Lacomet, y con este análisis se obtuvo la diferencia de masas correspondiente.

1.5 Los resultados finales reportados, y las diferencias calculadas, por los laboratorios participantes fueron analizados con base en el **Método A**, el de la **media ponderada**, y el **Método B**, el de la **comparación de la mediana** de los datos, de acuerdo a lo expresado por Cox, M. G., “The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset”.

1.6 La aplicación del **Método A**, el de la **media ponderada**, demostró la existencia de inconsistencias en varios de los resultados reportados por los laboratorios participantes y en varias de las magnitudes reportadas, esto al revisar los resultados reportados con base en la prueba Chi-cuadrado, como resultado se aplica el **Método B**.

1.7 Con base en el **Método B**, el de la **comparación de la mediana**, se generaron valores de referencia por medio de simulación numérica, estos valores de referencia se compararon

contra las diferencias calculadas por medio de la prueba estadística del Error Normalizado (E_n), además se determinaron los **Grados de Equivalencia** (GE), con base en lo anterior se encontró inconsistencia del **laboratorio 5** en los valores nominales de 2 kg, 1 kg y 50 g, además se encontró inconsistencia del **laboratorio 1** en el valor nominal de 50 g.

1.8 Como conclusión final el proceso de comparación no resultó exitoso para todos los participantes.

12. Bibliografía

- OIML, Recommendation R 111-1, Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, and M3, Part 1: Metrological and technical requirements, 2004.
- Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medida (*BIPM-IEC-IFCC-ISO-IUPAC-IUPAP-OIML*), 1993.
- Interlaboratory Mass Comparison between laboratories belonging to SIM – Sub-Region coordinate by CENAM, Mexico. Final Report SIM.7.31a-SIM.7.31b, CENAM-2006.
- ISO 13528:2005, Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. First Edition, 2005-09-01. Sec 7.5, pág 28.
- ISO/IEC Guide 43-1 and 2:1997, Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons. SCC,Nov 2001. Anexo A, A.2.1.4, pág 16; A.3.1.1, pág 17 y 18.
- Cox, M. G., The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset, Metrología 39, 2002, pág 589-595.
- Cox, M. G., The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset, Metrología 44, 2007, pág 187-200.
- Becerra, Luis O., Incertidumbre en la Calibración de pesas por el método ABBA, CENAM, 2004