
Informe final de resultados
Comparación de metrología de fuerza para laboratorios de
calibración de máquinas de ensayo uniaxiales de 50 kN y 1 000 kN
en modo compresión
LACOMET/LANAMME-LF-01-2015

Ing. Humberto Tioli Mora¹, Ing. Oلمان Ramos Alfaro², Luis Damián Rodríguez Araya²

¹LanammeUCR, ² LACOMET

Resumen:

El Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) y sus laboratorios designados, tienen como objetivo proveer herramientas a los laboratorios de calibración que se encuentran acreditados o en proceso de acreditación, para que evalúen y demuestren su competencia técnica. De esta forma se promueve una red de laboratorios de calibración con mediciones confiables, con un nivel de concordancia entre ellos, dentro de la mejor capacidad de medición declarada por cada uno.

En coordinación con el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), el cual desde el año 2011 es un Laboratorio Designado por LACOMET en la magnitud fuerza, se organizó la primera comparación nacional de metrología de fuerza para laboratorios de calibración de máquinas de ensayo uniaxiales, en los alcances correspondientes a 50 kN y 1 000 kN en modo compresión. Para ello, el LanammeUCR puso a disposición en sus instalaciones 2 máquinas de fuerza utilizadas para ensayos. Ambas máquinas fueron calibradas por los laboratorios participantes, cada uno utilizando sus propios patrones de fuerza. Los valores de referencia son aportados por el LanammeUCR. En este documento se presentan los resultados de dicha comparación, acompañados de información complementaria que puede significar oportunidades de mejora para los laboratorios participantes.

Introducción

En este documento se presentan los resultados de la primera comparación nacional en metrología de fuerza, organizada de forma conjunta entre el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR). En el año 2011 el LanammeUCR fue designado por LACOMET como el Laboratorio Nacional de Referencia para la magnitud fuerza. Es el custodio de los patrones nacionales de fuerza y participó en 2 comparaciones similares conjuntamente con otros laboratorios nacionales de metrología en el año 2010 y 2012, por lo cual es el laboratorio idóneo para colaborar en la organización de la actividad y suministrar los valores de referencia.

La comparación se desarrolló en dos alcances 50 kN y 1 000 kN, con el fin de cubrir los intervalos de medición típicos de las máquinas de fuerza para ensayos que se utilizan en nuestro medio.

Los objetivos específicos de esta comparación son:

- 1.1** Proporcionar información técnica relativa a las mediciones para las calibraciones de máquinas de fuerza para ensayos uniaxiales de 50 kN y 1 000 kN, en modo compresión, con respecto al laboratorio de referencia que este caso será el Laboratorio de Fuerza del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).
- 1.2** Brindar un medio para evaluar la competencia técnica de los laboratorios de calibración que se encuentran en proceso de acreditación y los que han sido acreditados con relación a sus actividades de calibración, para el cumplimiento de ECA-MC-P17 Política y Criterios para la Participación en pruebas de aptitud y otras comparaciones para los laboratorios.
- 1.3** Proveer a los laboratorios de calibración de una herramienta para que evalúen y demuestren su competencia técnica y una forma de aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos para las capacidades de medición reportadas ante sus clientes y demás interesados.

2. Desarrollo

La comparación fue realizada entre el 22 de enero y el 12 de febrero de 2016, de acuerdo con el cronograma y los lineamientos establecidos en el "Protocolo de comparación de metrología de fuerza para laboratorios de calibración de máquinas de ensayo uniaxiales de 50 kN y 1 000 kN en modo compresión LACOMET/LANAMME-LF-01-2015" el cual fue previamente presentado y discutido con los laboratorios participantes.

Para cada uno de los alcances de la comparación se establecieron cronogramas separados. En ambos cronogramas, el LanammeUCR realizó el primer conjunto de mediciones, posteriormente realizó mediciones a la mitad y al final del ejercicio, con el propósito de garantizar la estabilidad de las máquinas de fuerza utilizadas.

Los resultados obtenidos por cada laboratorio se enviaron al LACOMET y al LanammeUCR para ser revisados y analizados técnicamente para su evaluación.

El LanammeUCR fue el encargado de generar los valores de referencia, a partir de las calibraciones realizadas a las 2 máquinas de fuerza utilizadas en la comparación. La evaluación se resume en tablas y gráficos de error normalizado elaborados con la información generada por cada laboratorio.

Laboratorios participantes

En la siguiente tabla se muestran los nombres de laboratorios que participaron en la comparación.

Tabla 1 Lista de laboratorios participantes

LanammeUCR*
DMI Metrología
Laboratorio de Calibración de E.M.E de Bridgestone de C.R.
METROLAB S.A de C.V
Laboratorio de Calibración del Instituto Nicaragüense del Cemento y del Concreto

*Laboratorio de referencia

Máquinas de ensayo utilizadas

El LanammeUCR facilitó las instalaciones y dos máquinas de ensayos, cuyas características se presentan a continuación:

Máquina de ensayos utilizada para el alcance de 50 kN
Capacidad nominal 50 kN.
Marca Humboldt
Modelo H-1319
Número de serie 1120
Código interno EB-003



Fotografía 1. Máquina de ensayos utilizada para el alcance de 50 kN.

Máquina de ensayos utilizada para el alcance de 1 000 kN
Capacidad nominal 2 224 kN
Marca Humboldt
Modelo CM-5000-LXI
Número de serie 080309H
Código interno MF-002



Fotografía 2. Máquina de ensayos utilizada para el alcance de 1 000 kN.

Patrones de referencia utilizados

Los valores de referencia para cada una de las máquinas de ensayo fueron establecidos utilizando 2 patrones de fuerza, cuyas características se presentan a continuación:

Patrón de fuerza utilizado para el alcance de 50 kN (Patrón Nacional)

Transductor de Fuerza
Capacidad nominal 50 kN
Marca HBM
Modelo Z4A
Número de serie 123630222
Código interno CC-025
Indicador marca HBM
Modelo DMP40S2
Número de serie 133320016
Código interno LC-004



Fotografía 3. Patrón de Nacional de fuerza de 50 kN.

Patrón de fuerza utilizado para el alcance de 1 000 kN

Transductor de Fuerza
Capacidad nominal 1 000 kN
Marca HBM
Modelo U15
Número de serie 015535S
Código interno CC-051
Indicador marca HBM
Modelo DMP41
Número de serie 820892202
Código interno LC-020



Fotografía 4. Patrón de fuerza de 1 000 kN instalado en la máquina de ensayos.

Protocolo de Medición

El protocolo de medición está basado en la norma UNE-EN ISO 7500-1:2006 denominada "Materiales metálicos. Verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayos de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza". En los anexos 1 y 2 se resume de forma gráfica el procedimiento para ambos alcances.

Cada laboratorio participante envió al LACOMET y al LanammeUCR los datos de las mediciones en el formato suministrado para ese fin, tomando en cuenta la siguiente información:

- Los datos de las mediciones tales y como fueron obtenidas del proceso de medición;
- El error relativo de exactitud para cada punto de calibración realizado por el laboratorio;
- La incertidumbre expandida relativa para cada punto de la calibración, calculada de acuerdo con lo que establece la norma UNE-EN ISO 7500-1:2006.

3. Resultados

Los datos emitidos por los participantes fueron tabulados y graficados, de tal forma que se refleja el comportamiento de las mediciones de cada uno y sus incertidumbres expandidas.

El valor del Error Normalizado E_n , fue el criterio estadístico utilizado para la evaluación de los resultados reportados. Durante el desarrollo de la comparación, el laboratorio de referencia realizó mediciones al inicio, a la mitad y al final del ejercicio, con el fin de monitorear la estabilidad de las máquinas de fuerza. Lo anterior reflejó que hubo variaciones en las máquinas y para evaluar los resultados reportados por los laboratorios fue necesario incluir la deriva de los equipos en el criterio de error normalizado, para el cual se utilizó la siguiente expresión:

$$E_n = \frac{|E_L - E_{LA}|}{\sqrt{U_L^2 + U_{LA}^2 + U_d^2}}$$

Donde:

- E_L valor reportado por el laboratorio participante.
- E_{LA} valor reportado por el LanammeUCR.
- U_L incertidumbre expandida, al 95 % de confianza, asociada al cálculo del error reportado por el laboratorio participante.
- U_{LA} incertidumbre expandida, al 95 % de confianza, asociada al cálculo del error reportado por el LanammeUCR.
- U_d incertidumbre expandida, asociada a la deriva de las máquinas de fuerza utilizadas.

La metodología para la determinación de los valores de referencia (E_{LA}) aportados por el LanammeUCR y la incertidumbre por deriva (U_d) se explica en el anexo 3 de este documento.

Los valores para el análisis del error normalizado son: si $E_n \leq 1$ el resultado es comparable y si $E_n > 1$ el resultado es cuestionable.

La incertidumbre expandida asociada a la deriva de las máquinas de fuerza, U_d , es calculada por el laboratorio de referencia y se debe a la estabilidad o inestabilidad de las máquinas de durante el desarrollo de la comparación.

$$U_d = k \sqrt{\left(\frac{q_{max} - q_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

Donde:

- q_{max} valor máximo del error de exactitud reportado por el Laboratorio de Referencia.
- q_{min} valor mínimo del error de exactitud reportado por el Laboratorio de Referencia.
- k factor de cobertura, $k = (0,95(2\sqrt{3}))$, para una probabilidad de cobertura de 95 %.

Fue necesario incluir este componente en el estudio de error normalizado, para el alcance de 50 kN, debido a las variaciones presentadas por la máquina de ensayos utilizada para este ejercicio de comparación.

A pesar de que la máquina utilizada para el alcance de 1 000 kN mostró mejor estabilidad durante el ejercicio de comparación, también se incluyó el aporte de la incertidumbre asociada a la deriva.

A continuación se presentan las tablas y los gráficos con los resultados de la comparación para cada uno de los alcances.

Resultados para el alcance de 50 kN

Tabla 2. Valores de referencia reportados por el LanammeUCR (Ver anexo 3)

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	U_d $k = 0,95 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}$
kN	kN	\pm (%)	%	%
10,00	10,00	0,062	-0,02	0,24
20,01	20,00	0,032	-0,07	0,25
30,02	30,00	0,024	-0,07	0,24
40,02	40,00	0,021	-0,06	0,24
50,02	50,00	0,020	-0,03	0,23

Tabla 3. Resultados reportados por el Laboratorio E9

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	Error normalizado	Resultado estudio error normalizado
kN	kN	\pm (%)	%		
9,93	10,00	1,4	0,66	0,48	comparable
19,92	20,00	0,81	0,40	0,56	comparable
29,92	30,00	0,57	0,26	0,54	comparable
39,91	40,00	0,46	0,22	0,53	comparable
49,91	50,00	0,46	-0,21	0,34	comparable

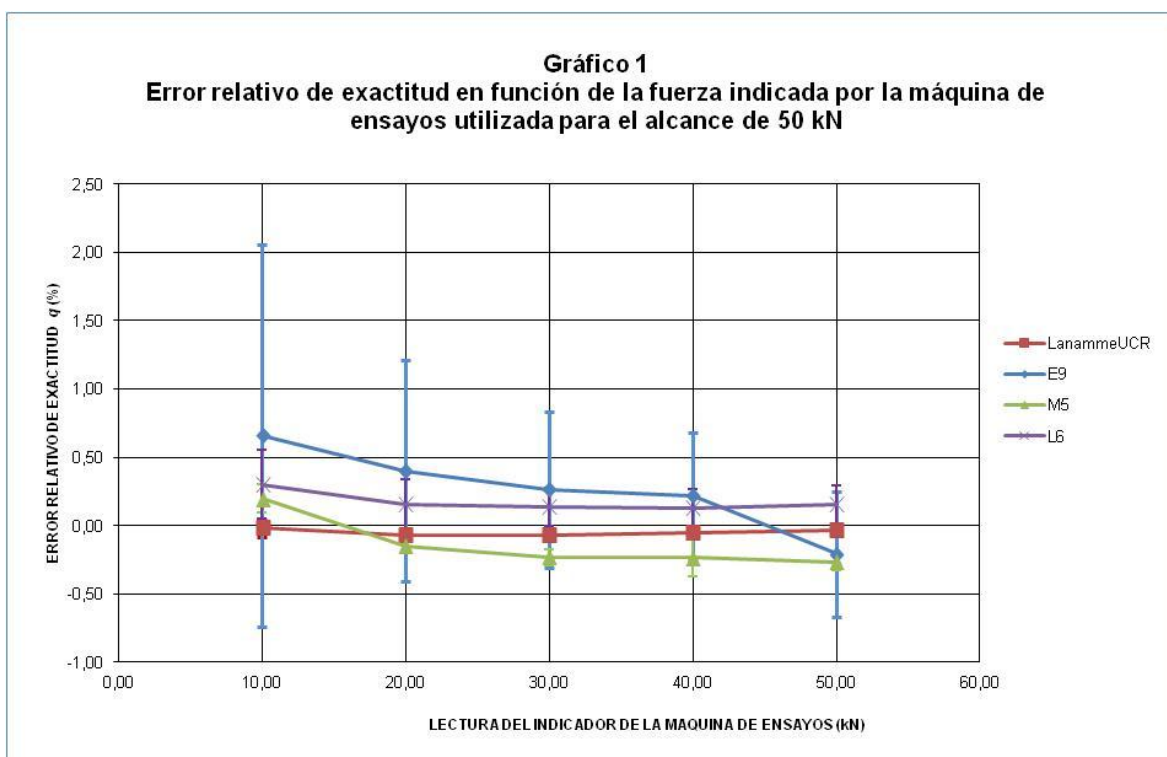
Tabla 4. Resultados reportados por el Laboratorio M5

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	Error normalizado E_n	Resultado estudio error normalizado
kN	kN	\pm (%)	%		
9,98	10,00	0,10	0,20	0,80	comparable
20,03	20,00	0,05	-0,15	0,29	comparable
30,07	30,00	0,06	-0,23	0,64	comparable
40,09	40,00	0,14	-0,24	0,67	comparable
50,14	50,00	0,05	-0,27	0,99	comparable

Tabla 5. Resultados reportados por el Laboratorio L6

Fuerza referencia promedio (\bar{F}) kN	Fuerza indicada (F_i) kN	U $k = 2$ \pm (%)	Error exactitud q %	Error normalizado E_n	Resultado estudio error normalizado
9,97	10,00	0,25	0,30	0,90	comparable
19,97	20,00	0,19	0,15	0,73	comparable
29,96	30,00	0,14	0,13	0,74	comparable
39,95	40,00	0,14	0,13	0,67	comparable
49,92	50,00	0,14	0,16	0,70	comparable

Gráfico 1
Error relativo de exactitud en función de la fuerza indicada por la máquina de ensayos utilizada para el alcance de 50 kN



Resultados para el alcance de 1 000 kN

Tabla 6. Valores de referencia reportados por el LanammeUCR

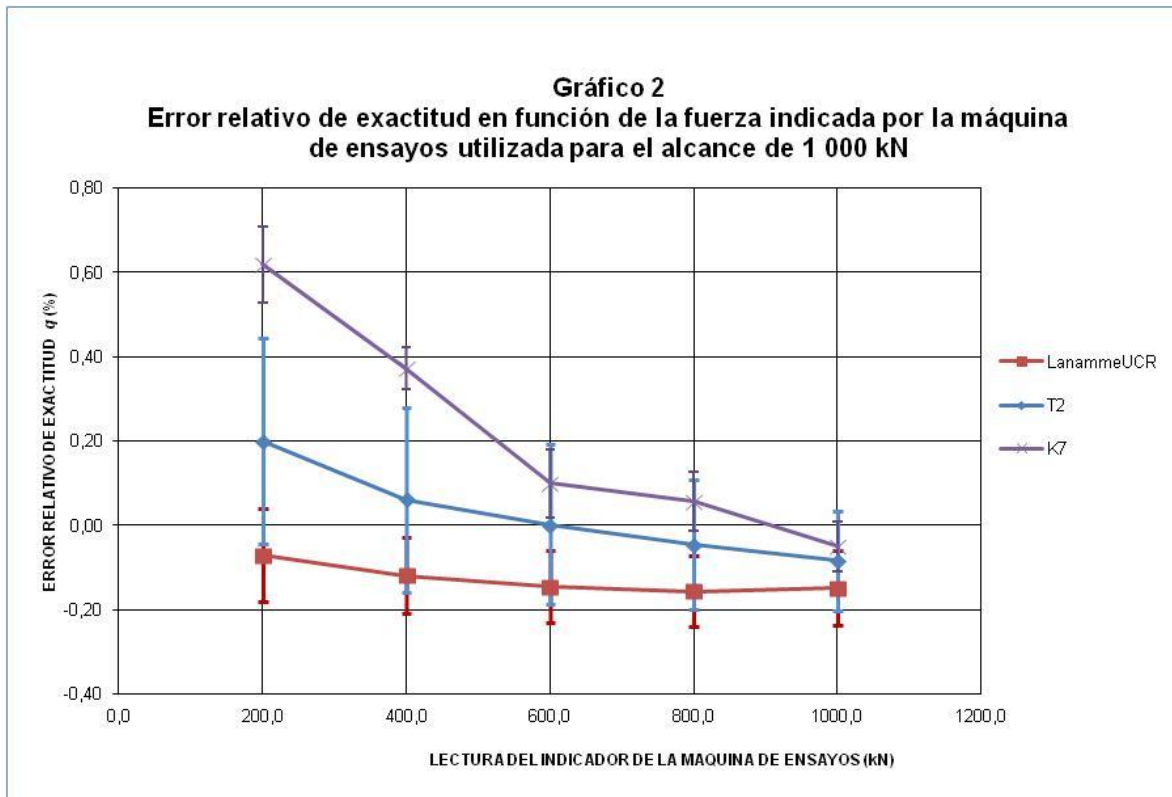
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	U_d $k = 0,95 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}$
kN	kN	\pm (%)	%	%
200,1	200,0	0,11	-0,07	0,16
400,5	400,0	0,090	-0,12	0,09
600,9	600,0	0,086	-0,15	0,07
801,3	800,0	0,085	-0,16	0,07
1001,5	1000,0	0,088	-0,15	0,07

Tabla 7. Resultados reportados por el Laboratorio T2

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	Error normalizado E_n	Resultado estudio error normalizado
kN	kN	\pm (%)	%		
199,6	200,0	0,24	0,20	0,87	comparable
399,8	400,0	0,22	0,06	0,71	comparable
600,0	600,0	0,19	0,00	0,66	comparable
800,4	800,0	0,15	-0,05	0,59	comparable
1000,8	1000,0	0,12	-0,08	0,39	comparable

Tabla 8. Resultados reportados por el Laboratorio K7

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	Error normalizado E_n	Resultado estudio error normalizado
kN	kN	\pm (%)	%		
198,8	200,0	0,090	0,62	3,26	cuestionable
398,5	400,0	0,050	0,37	3,59	cuestionable
599,4	600,0	0,080	0,099	1,76	cuestionable
799,5	800,0	0,070	0,057	1,64	cuestionable
1000,5	1000,0	0,060	-0,05	0,76	comparable



4. Conclusiones

Alcance de 50 kN

Del estudio de error normalizado realizado para este alcance, los laboratorios E9, M5 y L6 obtuvieron resultados comparables en los 5 puntos de medición establecidos.

La máquina de fuerza para ensayos utilizada para este alcance de la comparación, presentó variaciones durante el ejercicio. Por tal motivo hubo que incluir la componente de incertidumbre por deriva (U_d) en el análisis de error normalizado.

Dos de los laboratorios participantes tienen trazabilidad con el LanammeUCR y el tercero tiene trazabilidad hacia el CENAM de México. Los 3 laboratorios participantes en este alcance obtuvieron resultados consistentes, lo cual se ve reflejado en el gráfico 1.

Alcance de 1 000 kN

Del estudio de error normalizado realizado para este alcance, solo un laboratorio obtuvo resultados comparables en los 5 puntos de medición establecidos.

El segundo laboratorio obtuvo resultados comparables para un punto de medición.

A pesar de que la máquina de fuerza para ensayos utilizada para este alcance de la comparación se comportó de forma más estable durante el ejercicio, se incluyó su contribución por deriva en el análisis de error normalizado.

El gráfico 2 con los resultados para este alcance, refleja un comportamiento menos comparable en los puntos de medición más bajos.

Uno de los laboratorios reportó valores de incertidumbres expandidas relativas menores que las reportadas por el laboratorio de referencia.

Ambos laboratorios participantes en este alcance tienen trazabilidad hacia el LanammeUCR.

Comentarios finales

Mediante este primer ejercicio de comparación en metrología de fuerza organizado por LanammeUCR y LACOMET, que contó con la participación de 4 laboratorios, se ha logrado promover el desarrollo de la infraestructura metrológica nacional y de la región centroamericana. Con ello se genera la confianza de los usuarios en la veracidad de los resultados de medición y calibración amparados por dicha infraestructura.

Se logró proporcionar información técnica relativa a las mediciones para las calibraciones de máquinas de fuerza para ensayos uniaxiales de 50 kN y 1 000 kN, en modo compresión. Lo anterior constituye una herramienta para evaluar la competencia técnica de los laboratorios de calibración nacionales y de la región centroamericana que se encuentran en proceso de acreditación y alcances acreditados. Este insumo también puede ser

utilizado como forma de aseguramiento de la calidad de los resultados emitidos para las capacidades de medición reportadas ante sus clientes y demás interesados.

Cada laboratorio participante debe analizar separadamente sus resultados. Los laboratorios cuyos resultados e incertidumbres no son congruentes con los valores de referencia, pueden utilizar este análisis para determinar si requieren implementar acciones correctivas o preventivas, de acuerdo la "Política y Criterios para la Participación en pruebas de aptitud y otras comparaciones para los laboratorios" ECA-MC-P17, del Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

5. Referencias

Norma UNE-EN ISO 7500-1: 2006 Materiales metálicos. Verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza.

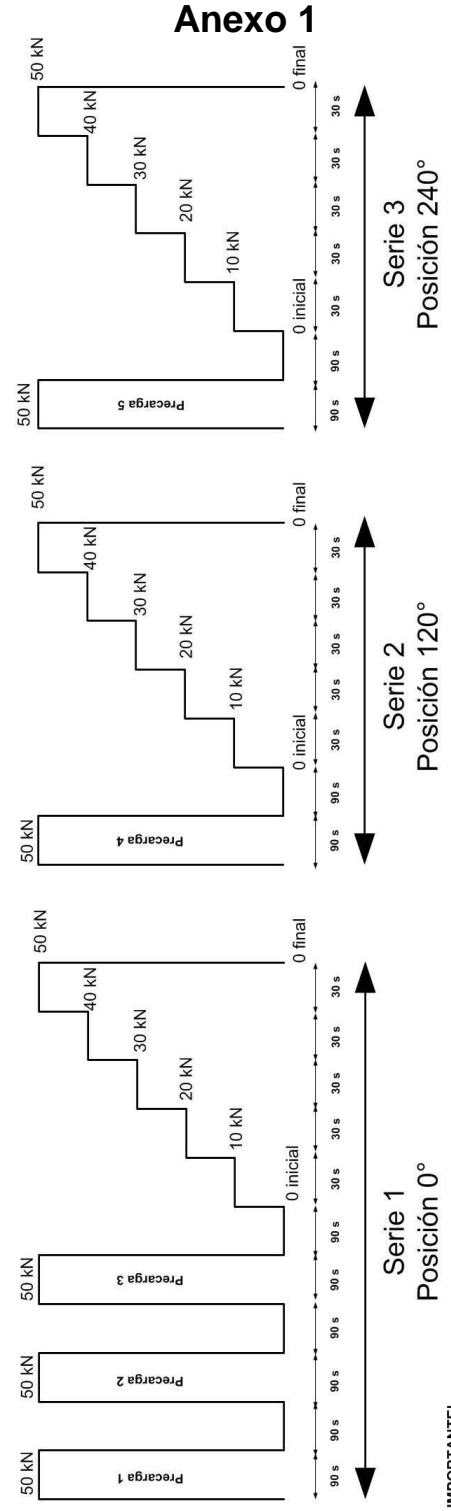
Final Report on a Workshop "Force – Exploring National and Regional Approaches for the Development of Calibration Capacities in the Andean Region" 22. March to 28. March 2010 at SIC Bogotá Colombia.

Simposio de Metrología. Interlaboratory mass comparison between laboratories belonging to SIM –Sub regions coordinated by CENAM (SIM.7.31a & SIM.7.31b). October 2006.

Informe Final de Resultados de la Prueba de Aptitud Técnica para Laboratorios de Calibración LACOMET-DMF-03-2011

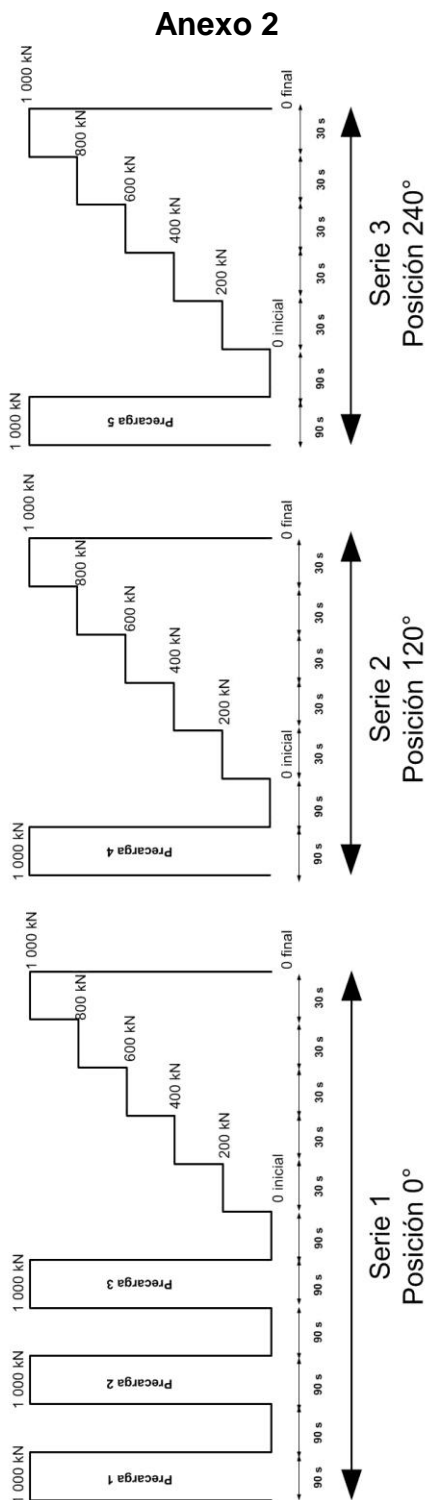
ECA (Ente Costarricense de Acreditación). "Política y Criterios para la Participación en pruebas de aptitud y otras comparaciones para los laboratorios" ECA-MC-P17.

Diagrama con procedimiento para realizar las mediciones para la comparación con la máquina de fuerza de 50 kN



¡IMPORTANTE!
 1- Se debe anotar la lectura del cero de la máquina de fuerza al inicio de la toma de datos en cada serie. Se debe anotar la lectura del cero de la máquina de fuerza al final de cada serie 30 s después de retirada la fuerza.
 2- Las precargas se deben realizar en un tiempo no menor a 90 segundos.
 3- Entre cada punto de medición se deberá transcurrir un lapso de 30 s (desde que se realiza el cambio de carga) para la toma de lectura y en la misma forma para el siguiente paso de medición.

Diagrama con procedimiento para realizar las mediciones para la comparación con la máquina de fuerza de 1 000 kN



IMPORTANTE!

- 1- Se debe anotar la lectura del cero de la máquina de fuerza al inicio de la toma de datos en cada serie. Se debe anotar la lectura del cero de la máquina de fuerza al final de cada serie 30 s después de retirada la fuerza.
- 2- Las precargas se deben realizar en un tiempo no menor a 90 segundos.
- 3- Entre cada punto de medición se deberá transcurrir un lapso de 30 s (desde que se realiza el cambio de carga) para la toma de lectura y en la misma forma para el siguiente paso de medición.

Anexo 3

Establecimiento de los valores de referencia y la incertidumbre por deriva para los alcances de 50 kN y 1 000 kN

Como parte del protocolo de comparación, el LanammeUCR realizó mediciones al inicio, a la mitad y al final del ejercicio, con el fin de monitorear la estabilidad de las máquinas de fuerza utilizadas. Lo anterior implica 3 calibraciones cuyos se utilizaron para determinar los valores de referencia y la incertidumbre por deriva. El cálculo de los valores de referencia para ambos alcances de realizó de la siguiente forma:

1. Se calculó el promedio de las 3 mediciones realizadas por el LanammeUCR en cada punto.
2. Se calculó el promedio de los 3 errores relativos de exactitud (q) en cada punto de medición.
3. De las 3 calibraciones realizadas por el LanammeUCR se reporta el valor de incertidumbre expandida relativa más alto para cada punto.

La incertidumbre expandida asociada a la deriva de las máquinas de fuerza U_d , es calculada por el laboratorio de referencia y se debe a la estabilidad o inestabilidad de las máquinas de durante el desarrollo de la comparación.

$$U_d = k \sqrt{\left(\frac{q_{max} - q_{min}}{2\sqrt{3}}\right)^2}$$

Donde:

- q_{max} valor máximo del error de exactitud reportado por el Laboratorio de Referencia.
- q_{min} valor mínimo del error de exactitud reportado por el Laboratorio de Referencia.
- k factor de cobertura, $k = (0,95(2\sqrt{3}))$, con una probabilidad de cobertura de 95 %.

A continuación se presentan los resultados de las calibraciones realizadas por el LanammeUCR durante las diferentes etapas del ejercicio de comparación, mediante las cuales se determinaron los valores de referencia y las incertidumbres por deriva. Se incluyen un cuadro resumen y un gráfico.

Alcance 50 kN

Tabla 9. Resultados LanammeUCR calibración realizada el 1 de febrero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
10,01	10,00	0,062	-0,11
20,03	20,00	0,032	-0,16
30,048	30,00	0,024	-0,16
40,06	40,00	0,021	-0,14
50,06	50,00	0,020	-0,12

Tabla 10. Resultados LanammeUCR calibración realizada el 9 de febrero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
9,99	10,00	0,058	0,14
19,98	20,00	0,030	0,09
29,97	30,00	0,020	0,09
39,96	40,00	0,016	0,11
49,94	50,00	0,013	0,13

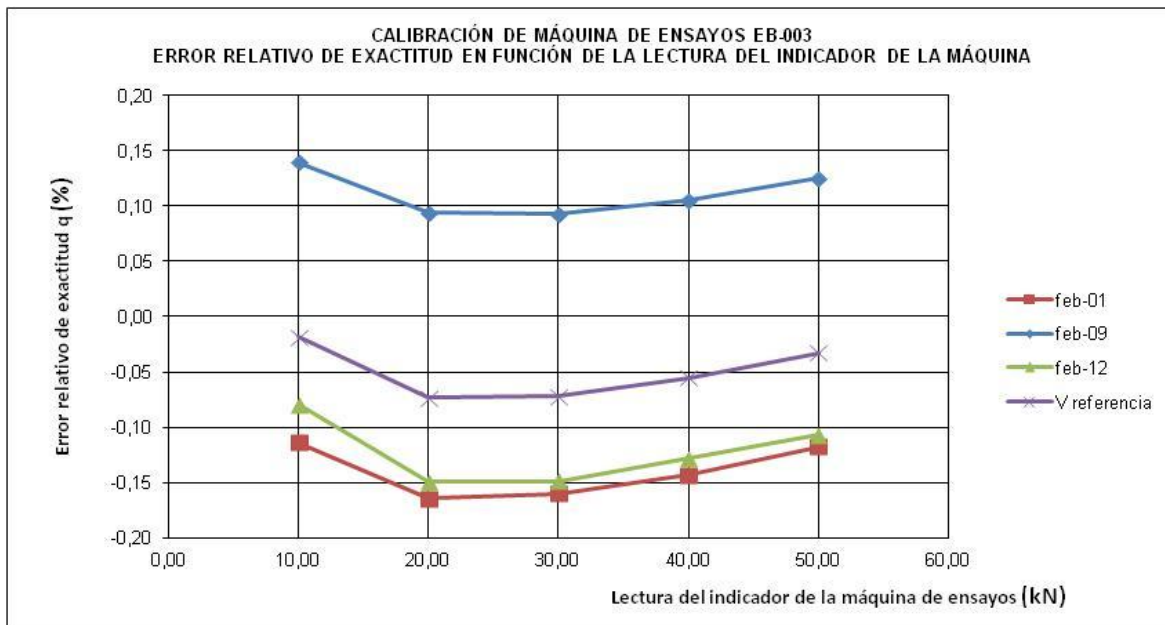
Tabla 11. Resultados LanammeUCR calibración realizada el 12 de febrero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
10,01	10,00	0,058	-0,08
20,03	20,00	0,030	-0,15
30,045	30,00	0,020	-0,15
40,05	40,00	0,016	-0,13
50,05	50,00	0,013	-0,11

Tabla 12. Valores de referencia reportados por el LanammeUCR.

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud promedio q	U_d $k = 0,95 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}$
kN	kN	\pm (%)	%	%
10,00	10,00	0,062	-0,02	0,24
20,01	20,00	0,032	-0,07	0,25
30,02	30,00	0,024	-0,07	0,24
40,02	40,00	0,021	-0,06	0,24
50,02	50,00	0,020	-0,03	0,23

En el siguiente gráfico se resumen los resultados obtenidos por el LanammeUCR, para el alcance de 50 kN, incluyendo el valor de referencia calculado.



Alcance 1 000 kN

Tabla 13. Resultados LanammeUCR calibración realizada 27 de enero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
199,9	200,0	0,097	0,03
400,2	400,0	0,059	-0,06
600,6	600,0	0,042	-0,10
800,9	800,0	0,040	-0,11
1 001,0	1000,0	0,037	-0,10

Tabla 14. Resultados LanammeUCR calibración realizada 5 de febrero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
200,3	200,0	0,11	-0,13
400,6	400,0	0,059	-0,15
601,0	600,0	0,045	-0,17
801,4	800,0	0,048	-0,18
1001,6	1000,0	0,053	-0,16

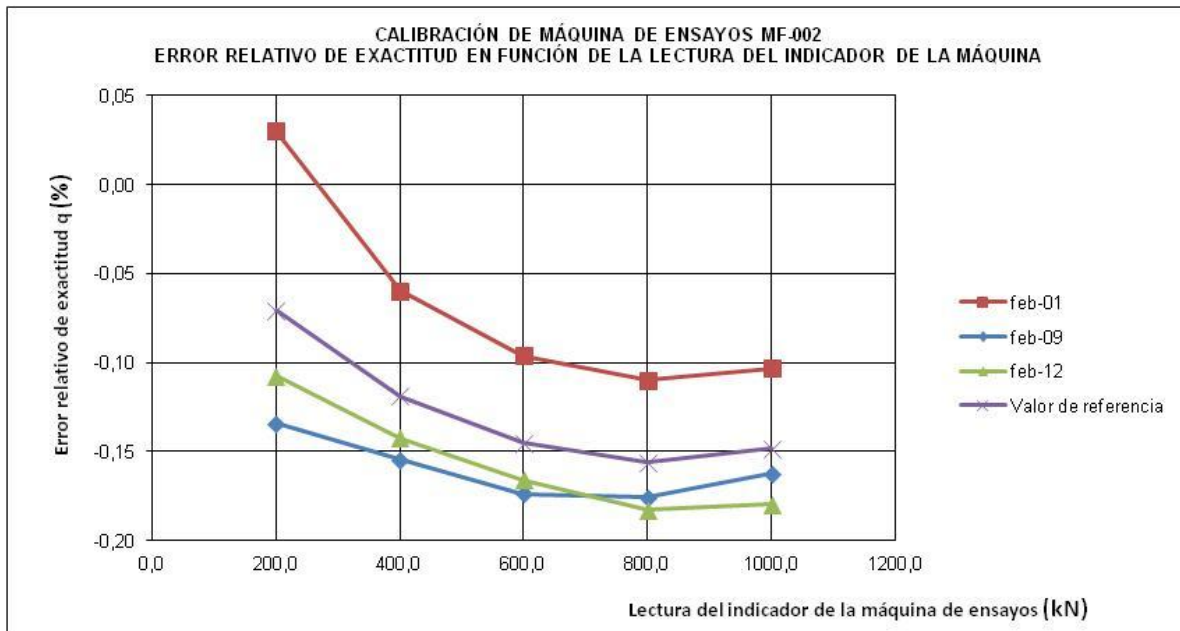
Tabla 15. Resultados LanammeUCR calibración realizada 9 de febrero de 2016.

Compresión			
Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q
kN	kN	\pm (%)	%
200,2	200,00	0,10	-0,11
400,6	400,0	0,090	-0,14
601,0	600,0	0,086	-0,17
801,5	800,0	0,085	-0,18
1001,8	1000,0	0,088	-0,18

Tabla 16. Valores de referencia reportados por el LanammeUCR.

Fuerza referencia promedio (\bar{F})	Fuerza indicada (F_i)	U $k = 2$	Error exactitud q	U_d $k = 0,95 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}$
kN	kN	\pm (%)	%	%
200,1	200,0	0,11	-0,07	0,16
400,5	400,0	0,090	-0,12	0,09
600,9	600,0	0,086	-0,15	0,07
801,3	800,0	0,085	-0,16	0,07
1001,5	1000,0	0,088	-0,15	0,07

En el siguiente gráfico se resumen los resultados obtenidos por el LanammeUCR, para el alcance de 1 000 kN, incluyendo el valor de referencia calculado.



Anexo 4

Oportunidades para la mejora de las mediciones durante las calibraciones de máquinas de fuerza

1. Se deben utilizar guantes para la manipulación de los patrones de fuerza antes, durante y después de las calibraciones, para no ocasionar variaciones de temperatura que puedan afectar las mediciones. Este aspecto también es importante por seguridad ocupacional, para proteger las manos ante un eventual accidente durante la manipulación de los patrones de fuerza.
2. Durante la calibración de máquinas de fuerza de tipo hidráulico, se debe revisar siempre el nivel del aceite hidráulico. Nunca se debe asumir que la máquina se encuentra en el nivel óptimo.
3. Siempre prestar mucha atención, al centrado de los patrones de fuerza y a los ángulos de referencia (0° , 120° , 240°). Es recomendable revisar el centrado cuidadosamente para no corregirlo una vez iniciada la calibración.
4. Utilizar los cables de los equipos y patrones de fuerza, lo más extendidos posible, evitando acercarlos a fuentes eléctricas, para prevenir interferencias.
5. No utilizar teléfonos celulares cerca de los equipos. Evitar su uso como sustituto de un cronómetro. Utilizar un cronómetro de mano. La señal de los teléfonos celulares pueden interferir con el indicador de la máquina de ensayos o con los patrones de fuerza. También distraen durante la operación de la máquina.
6. Anotar siempre todos los datos posibles del calibrando, para una mejor referencia para el cliente y su posibles auditorias.
7. En cuanto a los aspectos de seguridad, además del uso de los guantes, es recomendable utilizar zapatos con punta de acero, protección para los oídos y lentes, según el caso.
8. Fabricar calzas (almohadillas) y accesorios acordes con los patrones. La calibración de estos patrones se debe realizar con dichos accesorios.
9. Optimización de los tiempos de estabilización de los patrones utilizados, con el fin de que nos sean demasiado cortos ni tampoco excesivos. Descargar toda la carrera del pistón no ayuda a registrar el valor real de la lectura de cero.

10. Evitar la descarga súbita de la fuerza aplicada sobre el patrón. una vez finalizadas las series de mediciones.