

PROPUESTA PARA LA:

DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE PRUEBAS DE TENSIÓN Y/O COMPRESIÓN EN MÉXICO.

**DANIEL ARTURO RAMÍREZ AHEDO /
JORGE C. TORRES GUZMÁN (CENAM)
SAWLA AMRITLAL (PTB)**

dramírez@cenam.mx

jtorres@cenam.mx

INTRODUCCIÓN.

Se presenta una guía para determinar la incertidumbre en la calibración de máquinas de pruebas a tensión/compresión. La determinación de la incertidumbre puede ser realizada siguiendo la norma mexicana NMX-CH27 la cual concuerda con la norma ISO 7500-1.

Siguiendo esta guía se cubren las expectativas de los usuarios industriales de contar con información completa en la determinación de la incertidumbre de sus máquinas universales de pruebas (a tensión/compresión). Aquí se presentan el mínimo número de factores o variables que deben tomarse en cuenta, así como la forma en que estos factores pueden ser combinados para la evaluación de la incertidumbre en la calibración de máquinas de pruebas a tensión/compresión. Aún más, se incluyen criterios, aplicables para los laboratorios como para el usuario de estas máquinas, para determinar la mejor capacidad de medición de una máquina de pruebas a tensión y compresión.

Es importante considerar las siguientes observaciones:

- El usuario de la máquina deberá decidir si en su caso, es requisito indispensable que el laboratorio verifique de conformidad con alguna norma las tolerancias de error, repetibilidad, histéresis, etcétera;
- En el caso de que el laboratorio o el usuario de la máquina realicen alguna actividad que pueda cambiar la respuesta o indicación de la máquina (tal como, ajuste correctivo, mantenimiento, limpieza, etcétera), será

requisito indispensable para aplicar esta guía, llevar a cabo la calibración de la máquina.

Los resultados de la calibración deberán ser entregados al usuario mediante un informe de calibración, declarando la incertidumbre expandida del resultado de la medición e incluyendo el factor de cobertura o nivel de confianza correspondiente.

1. TIPOS DE PATRONES DE CALIBRACIÓN.

En México existe un importante número de máquinas de pruebas de tensión/compresión. El CENAM disemina su exactitud mediante la calibración de los patrones de referencia de los laboratorios secundarios. A su vez, los laboratorios secundarios (acreditados y no acreditados) diseminan esta exactitud por medio de sus servicios de calibración a otros laboratorios, industria, universidades o centros de investigación donde se utilizan las máquinas de pruebas. Esta tarea es de gran importancia, por lo que el laboratorio encargado de realizar la diseminación debe llevarla a cabo bajo su mejor capacidad de medición (MCM), para calibración o medición de la magnitud con una incertidumbre bien caracterizada. Esta MCM de los laboratorios secundarios debe ser verificada en el proceso de acreditamiento.

Para facilitar la diseminación de la exactitud en la medición de fuerza, en algunos países se utiliza la clasificación de los patrones de calibración de los laboratorios secundarios. Esta clasificación es muy útil en la calibración de ciertos tipos de clases de máquinas como los establecidos en las normas ASTM E4 y ASTM E74, o por ISO 376 e ISO 7500-1, entre otras; sin embargo, en México, al no ser el CENAM un ente normativo, la clasificación de esos patrones no se realiza y en su lugar se informa el resultado de la medición y la incertidumbre asociada a ese resultado.

La tabla 9 muestra los valores típicos de clasificación de patrones de fuerza y las tolerancias de error para la clasificación en la norma mexicana NMX-CH23.

2. CLASIFICACIÓN DE MÁQUINAS DE PRUEBAS DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA, NMX-CH27.

De acuerdo a la norma mexicana NMX-CH27, en la tabla 1 se muestra las tolerancias de los errores de “exactitud”, de repetibilidad y de reproducibilidad. La última columna no forma parte de la norma, pero incluye el valor **recomendado** de la incertidumbre máxima asociada al patrón para calibrar cierta clase de máquina. En esta columna se indica que la incertidumbre relativa recomendada para el patrón debe ser menor o igual a 1/4 del máximo error permisible de los parámetros de influencia de la máquina. En algunos casos, se justifica determinar la clase de la máquina sobre la suposición de que la incertidumbre asociada con el patrón es suficientemente pequeña para determinar tal clasificación. Sin embargo, para estimar la incertidumbre combinada de la máquina es necesario incluir, además de la incertidumbre determinada en la calibración, otras incertidumbres inherentes al proceso de calibración.

Clase	Error relativo de la Máquina de Pruebas en % L para				Incertidumbre $u_{patrón}$ en % L
	Exactitud q	Repetibilidad b	Error de Cero l_o	Reversibilidad v	
0	0,50	0,5	0,05	0,75	0,12
1	1,00	1,0	0,10	1,50	0,25
2	2,00	2,0	0,20	3,00	0,50
3	3,00	3,0	0,30	4,50	0,75

Tabla 1. Valores máximos permisibles para los errores relativos en las máquinas de pruebas de acuerdo a la norma NMX-CH27.

3. INCERTIDUMBRE EN LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE PRUEBAS.

El presente documento se basa en la Guía ISO-BIPM para la “Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones” y se asume que el criterio de clasificación de la norma mexicana NMX-CH27 ha sido empleado. Todas las contribuciones de

incertidumbre son consideradas como incertidumbres relativas.

3.1 Incertidumbre asociada al patrón.

La incertidumbre del patrón se evalúa de acuerdo a la norma seleccionada. La norma NMX-CH23 considera las fuentes que se muestran en la tabla 2.

Componente de incertidumbre	Distribución de probabilidad	Varianza relativa Estimada
Error de cero	Rectangular	$u_{cero}^2 = E^2_{cero}/12$
Repetibilidad	Normal	$u_{Rep}^2 = t^2 S^2_{Rep}/n$
Residual de la ecuación de ajuste	Normal	$u_{Ec. ajuste}^2 = S^2_{Resid.}$
Resolución	Rectangular	$u_R^2 = R^2/12$
Histéresis	Rectangular	$u_H^2 = H^2/12$
Máquina calibradora	Normal	$u^2 = U^2_E/k^2$

Tabla 2. Componentes de la incertidumbre en la calibración de un dispositivo medidor de fuerza.

La tabla 3 muestra las máximas incertidumbres estándar relativas permisibles para las diferentes clases de equipos patrón, $u(F_{patrón})$, utilizados en la calibración de máquinas de pruebas, obtenidas de acuerdo a la norma NMX-CH23. La metodología para obtener esas incertidumbres se muestra en [11].

	$u(F_{patrón})$	$Ue, k=2$
Clase 0	0,06 %	0,12 %
Clase 1	0,12 %	0,25 %
Clase 2	0,25 %	0,50 %
Clase 3	0,50 %	1,00 %

Tabla 3. Incertidumbre estándar e incertidumbre expandida del patrón para diferentes clases de exactitud de los patrones de acuerdo a la norma NMX-CH23.

3.1.1 Influencia de la variación de temperatura en el patrón.

Los patrones de fuerza son generalmente calibrados a temperaturas controladas (por ejemplo $22^\circ \pm 1^\circ\text{C}$), además existen equipos compensados por temperatura, como es el caso de la mayoría de las celdas de carga; sin embargo, la temperatura (t) durante una calibración puede variar, en condiciones operativas de campo, de 10°C a 40°C , por lo que su contribución en la incertidumbre (tipo B, distribución rectangular) debe ser evaluada en variaciones mayores a $\pm 5^\circ\text{C}$. Su consideración se puede llevar a cabo mediante la siguiente relación:

$$u^2(t) = \frac{(a \cdot \Delta_{temp})^2}{12} \quad (1)$$

donde a es el coeficiente de temperatura para el cambio en la sensibilidad del patrón de fuerza (celda de carga) de acuerdo a las especificaciones del fabricante y al intervalo de variación de temperatura Δt .

Para el caso de anillos de carga utilizados como patrones, la incertidumbre debida a la corrección por temperatura es determinada mediante la ley de propagación de incertidumbres aplicada a la expresión de corrección siguiente:

$$D_t = D_c [1 + K(t_t - t_c)] \quad (2)$$

D_c es la lectura de la deflexión corregida a la temperatura de calibración t_c (en °C).

D_t es la deflexión a la temperatura de trabajo t_t (en °C).

$K = 0,000 27$ es el coeficiente de temperatura, en 1/°C.

3.1.2 Influencia del error del patrón.

De acuerdo a la norma NMX-CH23, los equipos pueden ser considerados de interpolación o de indicación. Para los equipos clasificados como patrones de indicación, la incertidumbre asociada a la desviación relativa o error relativo debe incluirse como una incertidumbre adicional, su varianza se expresa de la siguiente manera.

$$u^2_{(error)} = S^2_{error} \quad (3)$$

3.1.3 Incertidumbre estándar combinada del patrón.

La incertidumbre estándar combinada del patrón se obtiene de la siguiente expresión:

$$u_c(F_{patrón}) = \sqrt{u^2(F_{patrón}) + u^2(t) + u^2(error)} \quad (4)$$

3.2 Incertidumbre asociada a la influencia de fuerzas entre el patrón y la máquina de pruebas.

La determinación de esta contribución de incertidumbre es en principio difícil de evaluar y

depende principalmente de los siguientes parámetros:

- Alineación de la máquina de pruebas y de accesorios de montaje.
- Generación de fuerza axial.
- Dureza, rugosidad y rectificado de las placas de carga.
- Deflexión de las placas de carga debido a la fuerza aplicada.

En la tabla 4 se presenta una propuesta de incertidumbres debido a la influencia de los parámetros descritos anteriormente. Los valores de esta tabla tienen el propósito de considerar las contribuciones de incertidumbre debidas a los parámetros mencionados en una forma práctica y evitar con esto el establecimiento de mejores valores de incertidumbre para clases de máquinas de pruebas más bajas en comparación con clases de máquina de clase mayor.

Clase de las Máquinas de Pruebas	$u_{aplicación-fuerza}$
Clase 0	0,2 %
Clase 1	0,4 %
Clase 2	0,8 %
Clase 3	1,6 %

Tabla 4. Contribución de incertidumbres relativas en la aplicación de la fuerza en la máquina de pruebas.

La varianza relativa debida a la contribución de incertidumbre por aplicación de fuerza se determina como:

$$u^2(F_{aplic-fza}) = u^2_{aplic-fza} \quad (5)$$

3.3 Incertidumbre asociada a la toma de lecturas de la máquina de pruebas.

De acuerdo a los parámetros descritos por la norma NMX-CH27 para la calibración de máquinas de pruebas, la incertidumbre del mejor valor de la indicación de la máquina puede ser determinada mediante la siguiente relación funcional f :

$$\bar{F} = f(b, v, f_0, r) \quad (6)$$

b es la repetibilidad relativa del patrón de calibración;

n es el valor de reversibilidad (histéresis) relativa;

f_0 es el error relativo de cero después de la descarga;

r es la resolución relativa del sistema de indicación.

La incertidumbre estándar combinada $u_c(\bar{F})$ asociada al mejor valor de medición del sistema puede entonces obtenerse mediante la ley de propagación de incertidumbres considerando aproximación de variables no correlacionadas:

$$u_c(\bar{F}) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} \quad (7)$$

Como todos los parámetros de influencia de la expresión (7) fueron considerados en valores relativos, el cuadrado de las derivadas parciales $\partial f / \partial x_i$ en la expresión anterior será +1, por lo que tal expresión puede re-escribirse como:

$$u_c^2(\bar{F}) = u^2(b) + u^2_c(\mathbf{n}) + u^2(f_0) + u^2(res) \quad (8)$$

Las distribuciones de probabilidad para la estimación de las varianzas relativas, se muestran en la tabla siguiente.

Componente de incertidumbre	Distribución de probabilidad	Varianza relativa Estimada
Error de cero	Rectangular	$u_{cero}^2 = f^2/12$
Repetibilidad b con o sin cambio de posición (opcional)	Normal	$u_{Rep}^2 = s_{Rep}^2/n$
Resolución	Rectangular	$u_R^2 = res^2/12$
Reversibilidad	Rectangular	$u_H^2 = r^2/12$

Tabla 5. Distribuciones de probabilidad y varianzas asociadas a las componentes de la incertidumbre en la calibración de una máquina de pruebas.

3.4 Contribución de la incertidumbre debido al error relativo “de exactitud” q .

Uno de los resultados de la calibración de acuerdo a la norma NMX-CH27 es la determinación del error q , el cual se obtiene como la diferencia entre el mejor valor de indicación de la máquina de pruebas (\bar{F}) y el valor de referencia (realizado por el patrón). Este error, en términos generales, no debe corregirse después de ser realizada la calibración de la máquina de pruebas. La contribución de la incertidumbre debido a este factor puede ser considerada como:

$$u^2(q) = S^2(q)/n \quad (9)$$

donde:

$S^2(q)$ es la varianza relativa del error en cada punto de medición;

n es el número de mediciones realizadas en cada fuerza discreta.

4. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE COMBINADA.

4.1 Incertidumbre relativa combinada de la máquina de pruebas.

La incertidumbre estándar relativa combinada de la máquina de pruebas puede ser determinada mediante la siguiente expresión:

$$u_{cal_máq} = \sqrt{u_c^2(F_{patrón}) + u^2(F_{aplic_fza}) + u_c^2(\bar{F})} \quad (10)$$

4.2 Incertidumbre expandida de la máquina de pruebas.

Para determinar e informar la incertidumbre expandida de la calibración de la máquina de pruebas se deben considerar una de las siguientes 2 opciones:

1. Tomar en cuenta la incertidumbre relativa debido al error no compensado (error de exactitud) con el factor de cobertura correspondiente como:

$$U_e = k \cdot \sqrt{u_{cal_máq}^2 + u^2(q)} \quad (11)$$

2. En el informe de calibración de la máquina informar el error resultante de la calibración y la incertidumbre expandida como:

$$U_e = k \cdot \sqrt{u_{cal_máq}^2} \quad (12)$$

5. INFORME DE LOS RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.

Los resultados, de la calibración de una máquina de pruebas, mínimos que se deben informar, son los que se presentan en la tabla 6.

Es necesario indicar claramente para todos los casos si los resultados están expresados como % de la lectura (%L), como % de escala total (%E.T.) o como una combinación de ambos. Es buena práctica expresar los resultados en unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI.

Resultados usuales.	De acuerdo con la Guía ISO
Tabla de lecturas del mensurando.	Valor medio del mensurando
Error de cero	Incertidumbre expandida de la calibración.
Histéresis	Nivel de confianza y/o factor de cobertura.
Repetibilidad	Ecuación y gráfico de la curva de ajuste, $y = f(\text{lectura del equipo a calibrar})$.
Resolución	Gráfico de la lectura del equipo contra los errores o residuales, según sea el caso.

Tabla 6. Resultados de la calibración de una máquina de pruebas.

6. EJEMPLO DE LA EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS.

Considere la calibración de una máquina de pruebas utilizando un patrón clase 0 según la norma NMX-CH23. La incertidumbre expandida relativa del patrón es de 0,15% en el intervalo del 20% al 100% del alcance de medición con un factor de cobertura $k=2$. El patrón utilizado es una celda de carga con un coeficiente de corrección por temperatura $\alpha=5E-05^{\circ}C^{-1}$ para un intervalo de temperatura de $5^{\circ}C$ a $45^{\circ}C$, según especificación del fabricante. La variación de temperatura, según los registros obtenidos de los datos de calibración, fue $\Delta t = 10^{\circ}C$. El patrón utilizado fue considerado de indicación y la desviación relativa o error respecto al patrón que lo calibró fue de 0,05% L.

La información de la máquina de pruebas es la siguiente:

- Indicación: Analógica
- Alcance de medición: 10 000 kg_f
- Valor de la división mínima: 20 kg_f
- Se estima que la aguja cabe tres veces en la división mínima

Las lecturas obtenidas del proceso de calibración se incluyen en la tabla 7. En la tabla 8, se muestra

el error relativo de “exactitud” para cada punto de medición, obtenido como la diferencia entre la lectura de la máquina de pruebas menos la fuerza aplicada por el patrón.

El factor de equivalencia entre unidades a utilizar es:

$$1 \text{ kg}_f = 9,806 65 \text{ N}$$

Fuerza real aplicada en kN	Lecturas del equipo bajo prueba		
	Serie 1 kg _f	Serie 2 kg _f	Serie 3 kg _f
0	0	0	0
20	2 040	2 045	2 040
40	4 080	4 075	4 085
60	6 125	6 110	6 115
80	8 140	8 145	8 150
100	10 215	10 195	10 220
0	5	10	5

Tabla 7. Lecturas obtenidas del proceso de calibración de la máquina de pruebas.

Fuerza kN	Error relativo en % L		
	Serie 1	Serie 2	Serie 3
20	-0,03	-0,27	-0,03
40	-0,03	0,09	-0,15
60	-0,11	0,14	0,05
80	0,22	0,16	0,09
100	-0,17	0,02	-0,22

Tabla 8. Error relativo de “exactitud” en cada punto de medición y para cada serie de medición en % de L.

Paso 1. Determinación de la incertidumbre estándar del patrón.

En la tabla 9 se presentan las tolerancias de error para las diferentes clases de patrones de acuerdo a la norma NMX-CH23. En la tabla 10 se incluyen las diferentes varianzas relativas asociadas a esas tolerancias de error. Las varianzas de la tabla 10 son asociadas a distribuciones de probabilidad basándose en el resultado de numerosos estudios realizados por institutos de metrología internacionales, quienes siguieron la Guía ISO BIPM para la “Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones”.

Clase	Error relativo del instrumento bajo calibración %				*Incertidumbre U_{mcm} de la máquina o sistema %
	de repetibilidad b	de interpolación fc'	de cero l_o	de Reversibilidad v	
0	0,10	0,05	0,05	0,15	$\pm 0,025$
1	0,20	0,10	0,10	0,30	$\pm 0,05$

2	0,40	0,20	0,20	0,50	± 0,10
3	0,60	0,30	0,30	0,80	±0,20

La incertidumbre de la calibración es de la máquina que diseña esta cantidad vectorial y es referida como la mejor capacidad de medición.

Tabla 9. Errores permisibles en la calibración de patrones de fuerza de acuerdo con la norma NMX-CH23.

Clase	Varianza relativa del instrumento bajo calibración para las diferentes componentes de error %				
	de Repetibilidad	de Residual	de Cero	de Histéresis	de Resolución
0	8,3E-04	1,0E-04	2,1E-04	1,9E-03	R ² /12
1	3,3E-03	4,2E-04	8,3E-04	7,5E-03	R ² /12
2	1,3E-02	1,7E-03	3,3E-03	2,1E-02	R ² /12
3	3,0E-02	3,8E-03	7,5E-03	5,3E-02	R ² /12

Tabla 10. Varianza relativa obtenida para clasificación de un patrón sobre la base de los errores permisibles.

La incertidumbre del patrón calibrado será, para una clase determinada, la suma de las varianzas incluyendo la mejor capacidad de medición de la máquina o sistema utilizado y la resolución del sistema de indicación del patrón. Para este ejemplo, la clase 0 en la tabla 3 tiene una incertidumbre estándar asociada de:

$$u(F_{patrón}) = \pm 0,06 \% L$$

Por lo que la varianza relativa en %L asociada a la calibración del patrón es:

$$u^2(F_{patrón}) = (0,06)^2 = 0,0036$$

Paso 2. Incertidumbre por efecto de temperatura.

Sustituyendo la variación máxima de temperatura, Δt = 10°C, en la expresión (1), la varianza relativa en %L es la siguiente:

$$u^2(t) = \frac{(a \cdot \Delta_{temp})^2}{12} = 2,08E-08$$

Paso 3. Incertidumbre por efecto del error del patrón.

De la expresión 3, con la tolerancia de error para el patrón de clase 0, obtenemos la varianza relativa en %L asociada al error del patrón:

$$u^2(error) = (0,05)^2 = 0,0025$$

Paso 4. Incertidumbre estándar combinada del patrón para diferentes condiciones de uso a las de su calibración.

De la expresión (4) se obtiene la incertidumbre estándar combinada del patrón durante su utilización.

$$u_c(F_{patrón}) = \sqrt{u^2(F_{patrón}) + u^2(t) + u^2(error)} = \pm 0,08 \% L$$

La varianza relativa en % L es:

$$u_c(F_{patrón}) = 0,0064$$

Paso 5. Incertidumbre asociada a la toma de lecturas de la máquina de pruebas.

En la tabla 1 se observa que para una clase de exactitud determinada, la incertidumbre recomendada del patrón es aproximadamente ¼ de la de la máquina. En este ejemplo las máquinas que pueden ser calibradas con el patrón descrito son las de clase 0, 1, 2 ó 3.

Con los datos de la calibración presentados en la tabla 7, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 11 en unidades relativas y en unidades del SI.

Mejor valor de medición kN	Error (de exactitud) q % L	Repetibilidad v % L	Resolución r %L	Error de cero %
20,006	0,11	0,245	0,25	-----
40,011	0,03	0,245	0,12	-----
59,984	-0,03	0,245	0,08	-----
79,875	-0,16	0,123	0,06	-----
100,126	0,13	0,245	0,05	0,05

Tabla 11. Resultados de la calibración de la máquina de pruebas, asociados a los datos de la tabla 7 de acuerdo a la norma NMX-CH27.

Las incertidumbres estándar máximas asociadas a los diferentes factores de influencia se muestran en la tabla 12, en unidades relativas.

Factor de influencia asociado a:	Repetibilidad b % L	Resolución r %L	Error de cero fo %
Incertidumbre	0,08	0,07	0,014
Varianza	0,007	0,005	0,0002

Tabla 12. Valores máximos de incertidumbre estándar y varianza asociados a los factores de influencia en la calibración de la máquina de pruebas.

La incertidumbre estándar combinada de las lecturas de la máquina se determina para este caso con la expresión (8) y los valores de la tabla 12.

$$u_c(\bar{F}) = (0,007+0,005+0,0002)^{1/2} = \pm 0,11 \%L$$

La varianza relativa en %L asociada a esta fuente de incertidumbre es:

$$u_c^2(\bar{F}) = 0,012$$

Paso 6. Incertidumbre asociada al “error de exactitud”.

La varianza y la incertidumbre debidas al error de exactitud se obtienen de la expresión (9) y se muestra en la siguiente tabla.

$u^2(q) = S^2(q)/n$	$u(q) = S(q)/n^{1/2}$
0,167	$\pm 0,41$
0,031	$\pm 0,18$
0,014	$\pm 0,12$
0,002	$\pm 0,04$
0,006	$\pm 0,07$

Tabla 13. Varianza e incertidumbre estándar asociadas al error de “exactitud”.

Paso 7. Incertidumbre debida a efectos de la aplicación de la fuerza.

Con los resultados obtenidos de la calibración, es fácil establecer de la tabla 1 que la máquina puede ser clasificada como clase 0 en el intervalo del 20% al 100% del alcance de medición. Con la tabla 4 podemos observar que la incertidumbre asociada a efectos de introducción de la fuerza para la clase de máquina 0 es:

$$u_{\text{aplicación-fuerza}} = \pm 0,20 \%L$$

La varianza relativa en %L asociada a este factor es:

$$u_{\text{aplicación-fuerza}}^2 = 0,04$$

Paso 8. Evaluación de la incertidumbre estándar combinada e incertidumbre expandida de la calibración de la máquina.

Con la expresión 10 podemos determinar la incertidumbre estándar combinada de la calibración de la máquina.

$$\begin{aligned} u_{\text{cal_máq}} &= \sqrt{u_c^2(F_{\text{patrón}}) + u^2(F_{\text{aplic. fza.}}) + u^2(\bar{F})} \\ &= \sqrt{0,00664 + 0,04 + 0,012} = \pm 0,24 \%L \end{aligned}$$

y la varianza relativa en %L es:

$$u_{\text{cal_máq}}^2 = 0,058$$

Para la incertidumbre expandida se tienen dos opciones que deben ser seleccionadas por el usuario de la máquina. Estas opciones están definidas mediante las expresiones 11 y 12. A continuación se desarrollan las dos opciones.

Propuesta 1. Con la expresión 11 obtenemos:

$$U_e = k \cdot \sqrt{u_{\text{cal_máq}}^2 + u^2(q)} = 2 * \sqrt{0,058 + 0,167}$$

$$U_e = \pm 0,95 \%L \gg \pm 1 \%L$$

Propuesta 2. De la expresión 12 se tendrá:

$$U_e = k \cdot \sqrt{u_{\text{cal_máq}}^2} = 2 * \sqrt{0,058}$$

$$U_e = \pm 0,5 \%L$$

Paso 9. Resultados en forma gráfica.

Aquí se presentan los resultados de la calibración de la máquina en forma gráfica, con el objeto de permitir una mejor visualización del error y la incertidumbre en cada punto de calibración. La gráfica incluye los resultados de la opción 2.



7. CONCLUSIONES.

La guía que aquí se presenta, permite a los laboratorios determinar la incertidumbre en la calibración de máquinas de pruebas utilizando las normas NMX-CH23 y NMX-CH27 o similares. Para el caso de normas de calibración diferentes se deberá realizar un análisis riguroso.

En el ejemplo presentado, se puede observar (como resultado del análisis de la evaluación de la incertidumbre) que uno de los factores de mayor contribución en la incertidumbre es el error relativo, cuando éste no es corregido y se integra como una componente de incertidumbre en la incertidumbre expandida. Por el contrario, si el error relativo es informado en el certificado de calibración, el usuario deberá corregirlo en las pruebas que realice.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones. ISO/IEC/OIML/BIPM, publicación 1993.
- [2] Sawla A. , Uncertainty of calibration results of tensión/compression testing machines. Draft, March 1998.
- [3] Li Qing Zhong, Force Measurements, Notas del Curso del National Institute of Metrology China. Septiembre de 1998.
- [4] Norma Mexicana NMX-CH23-1994-SCFI. Instrumentos de Medición. Calibración de Instrumentos Probadores de Fuerza Para la verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales.
- [5] Norma Mexicana NMX-CH27-1994-SCFI. Verificación de Máquinas Uniaxiales– Máquinas de Ensaye a la Tensión
- [6] Norma ISO 376-1987. Metallic Materials – Calibration of Proving Instruments Used for the Verification of Uniaxial Testing Machines.
- [7] Norma ISO 7500-1-1986 (E). Metallics Materials – Verification of Static Uniaxial Testing Machines – Part 1: Tensile Testing Machines.
- [8] Norma ASTM E4-96. Standards Practices for Force Verification of Testing Machines¹
- [9] Norma ASTM E74-199. Standards Practice for Calibration of Force Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines.
- [11] Ramírez D., Torres J., Determinación de la mejor capacidad de medición de máquinas y sistemas de calibración de fuerza y su clasificación para laboratorios acreditados.
- [12] Ramírez D., Torres J., Lineamientos para la Comparación de Patrones Nacionales de Fuerza en el Sistema Interamericano de Metrología SIM. Septiembre de 1997.
- [13] Ramírez D., Torres J., Lineamientos para caracterización de transductores de Fuerza. Procedimiento Interno de la División de Metrología de Fuerza y Presión. Junio de 1999.
- [14] Guía ISO/FDIS-376, Metallic Materials - Calibration of Force Proving Instruments used for the verification of uniaxial testing machines. Junio 1999.
- [15] Torres J., Ramírez D., Curso de Evaluación de Incertidumbres de la División de Metrología de Fuerza y Presión, CENAM. Marzo de 1999.
- [16] Ramírez D., Torres J., Cárdenas A., Curso de Metrología de fuerza. División de Metrología de Fuerza y Presión, CENAM. Abril de 1999.
- [17] Ramírez D., Torres J. Curso de Calibración de Dispositivos Elásticos. División de Metrología de Fuerza y Presión, CENAM. Julio de 1999.

Contacto: Daniel Arturo Ramírez Ahedo
Centro Nacional de Metrología
Tel. (4) 211-05-00 ext. 3752
Fáx: (4) 211-05-78
e-mail: dramirez@cenam.mx