

GUÍA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYO UNIAXIALES

Laboratorio: Fuerza
Elaboró: Aristides C. Dajer Espeleta

1. Introducción.

Describir los lineamientos que se deben seguir para la calibración de máquinas de ensayo de materiales Uniaxiales

2. Alcance.

Este documento es empleado para efectuar las calibraciones de máquinas de ensayo de materiales según la Norma NTC ISO 7500-1 (2007-07-25) en sitio. Ésta Guía da cumplimiento al numeral 6 de la norma NTC ISO IEC 17025

3. Terminología y símbolos.

CALIBRACIÓN: Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones. (VIM 6.11).

INCERTIDUMBRE: Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando. (VIM 3.9).

PATRÓN: Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia. (VIM 6.1)

PATRÓN PRIMARIO: Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones.

MÁQUINA DE ENSAYOS DE MATERIALES: Instrumento para medir la fuerza ya sea en tensión, compresión, flexión que debe cumplir con una inspección visual, según el Anexo A, de la Norma NTC ISO 7500-1

CADENA DE MEDICIÓN: Serie de elementos de un instrumento de medición o de un sistema de medición, que constituye la trayectoria de la señal de medición desde la entrada hasta la salida.

MÉTODO DE MEDICIÓN: Secuencia lógica de operaciones, descritas en forma genérica, que se utilizan al efectuar mediciones. Nota. Los métodos de medición se pueden clasificar en diversas formas tales como: Sustitución, diferencial, nulo y comparación.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Unidad	Significado
a	%	Resolución relativa del indicador de fuerza de la máquina de ensayo
b	%	Error relativo de repetibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensayo
f^o	%	Error relativo de cero del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensayo
F	N	Fuerza real indicada por el instrumento de medición de fuerza, para valores de fuerza ascendente
F'	N	Fuerza real indicada por el instrumento de medición de fuerza, para valores de fuerza descendente
F_c	N	Fuerza real indicada por el instrumento de medición de fuerza, para valores de fuerza ascendente, utilizada en la serie complementaria de mediciones para la escala más pequeña
F_i	N	Fuerza indicada por el indicador de fuerza de la máquina de ensayo a verificar para valores de fuerza ascendente.
F'_i	N	Fuerza indicada por el indicador de fuerza de la máquina de ensayo a verificar para valores de fuerza descendente
$\overline{F_i} \overline{F}$	N	Media aritmética de las distintas mediciones de F_i y F para la misma fuerza discreta.
$F_i \text{ máx}' F_i \text{ mín}$ $F \text{ máx}' F \text{ mín}$	N	Valores máximo y mínimo de F_i ó F para la misma fuerza discreta.
F_{ic}	N	Fuerza leída en el indicador de fuerza de la máquina de ensayo a verificar, para valores de fuerza ascendente utilizada, cuando se utiliza la serie complementaria de mediciones para la escala más pequeña utilizada
F_{io}	N	
F_N	N	Indicación residual del indicador de fuerza de la máquina de ensayo a verificar, al retirar la aplicación de la fuerza
g_n	m/s^2	Capacidad máxima de la escala de medición del indicador de fuerza de la máquina de ensayo
q	%	Aceleración de la gravedad local
r	N	Error relativo de exactitud del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensayo
v	%	Resolución del indicador de fuerza de la máquina de ensayo
δ_{air}	kg/m^3	Error relativo de reversibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensayo
δ_m	kg/m^3	Densidad del aire
		Densidad de los pesos muertos

4. Generalidades de la calibración.

La magnitud fuerza es utilizada en gran parte de los sectores industriales, entre las cuales destacan los de la construcción, automotriz, metal-mecánica, químico, cuero, textil, papel y cartón, maderas, fibrocementos y desarrollo de materiales, minería, aeronáutica y espacial, por citar los más importantes.

La magnitud fuerza es diseminada por medio de la calibración de elementos elásticos, los cuales pueden ser transductores, celdas de carga, anillos dinamométricos o anillos de carga, los que a su vez son utilizados para calibrar máquinas de ensayo o instrumentos de control en líneas de producción.

Las necesidades industriales de calibración de máquinas de ensayo de materiales, dinamómetros y/o celdas de carga, van desde un alcance de medición de 5 N hasta más de 1 MN, en compresión y desde un alcance de medición de 0,5 N hasta 1 MN en Tensión, las cuales se realizan con transductores de fuerza para alcances mayores a 500 N, y/o con masas certificadas como patrones, para alcances menores a 500 N

Equipos Patrones

Los instrumentos utilizados para la prueba de fuerza deberán cumplir los requisitos especificados en la norma NTC ISO 376. La clase del instrumento deberá ser igual o mejor que la clase de la máquina de ensayos. En el caso de pesos muertos, el error relativo de fuerza generada por estos pesos deberá ser menor o igual a $\pm 0,1\%$.

Ver tabla anexa:

Tabla 1.

CLASE DEL INSTRUMENTO PATRON (Según Norma NTC ISO 376)	CLASE DE LA MÁQUINA A CALIBRAR Según Norma NTC ISO 7500-1 (2007-07-25).
00	0,5-1-2-3
0,5	0,5-1-2-3
1	1-2-3
2	2-3

El patrón de trabajo se selecciona según el intervalo de trabajo de la máquina a calibrar.

Para hacer efectiva la calibración con un transductor es necesario también utilizar un indicador digital para así completar la cadena de medición.

Los instrumentos elásticos usados para la calibración deben tener una trazabilidad certificada al Sistema Internacional de Unidades SI. Estos equipos deben tener no menos de 26 meses de calibrados.

Control de Condiciones Ambientales

La calibración se lleva a cabo bajo las siguientes condiciones:

Temperatura ambiente entre: 10 °C y 35 °C según norma NTC ISO 7500-1, la humedad relativa ambiente no debe sobrepasar el 70%, para evitar posibles oxidaciones y daños prematuros de los equipos.

Se debe establecer un período de tiempo suficiente para permitir que el instrumento de medición de fuerza alcance un valor estable de temperatura. La temperatura del instrumento de medición de fuerza debe permanecer estable en un intervalo de ± 2 °C durante la realización de cada serie de calibración. En caso necesario, se deben aplicar correcciones de temperatura a las lecturas tomadas.

Equipos Auxiliares

La selección de los equipos auxiliares debe estar acorde con la norma NTC ISO 7500-1 numeral 5, Inspección general de la máquina de ensayos.

- Durómetro
- Pie de Rey
- Cinta Métrica
- Escuadra Biselada
- Galgas de espesores
- Regla
- Nivel
- Termo – higrómetro

MATERIALES

Estos implementos de seguridad se utilizan normalmente en las calibraciones en sitio.

- Casco
- Gafas de Seguridad
- Protectores auditivos
- Botas de Seguridad tipo Industrial
- Guantes
- Bayetilla, estopa, guaipe para limpieza.
- Blusa u overol
- Vaselina Industrial
- Documentos y formatos para toma de datos de medición

OPERACIONES PREVIAS

Es preferible contactar previamente a la empresa con el objeto de verificar y gestionar la elaboración de dispositivos necesarios para el montaje de patrones y poder efectuar la calibración, especialmente en calibraciones en Tensión.

Durante la calibración se debe tener a mano el Manual de Operación del equipo de ensayo, en idioma castellano.

Alistamiento por parte de la empresa solicitante

La empresa solicitante deberá realizar con antelación a la fecha programada de calibración las actividades de limpieza, mantenimiento preventivo y correctivo (reparaciones y ajustes de sus equipos a calibrar) para garantizar su correcto funcionamiento y que cumplan con los requisitos de la norma citada NTC ISO 7500-1.

Inspección general de la máquina de ensayo

Se procede a realizar una verificación de la máquina de ensayos ya sea a tensión, compresión o flexión. La verificación consta de:

- Una inspección (examen visual) general de la máquina de ensayo, incluyendo sus accesorios para la aplicación de la fuerza.
- Una calibración del sistema de medición de fuerza.

La verificación de la máquina de ensayo sólo debe llevarse a cabo si la máquina está funcionando correctamente. Con este objeto, se debe realizar una inspección general de la máquina antes de proceder a la calibración del sistema de medición de fuerza de la misma.

La inspección general de la máquina de ensayo debe llevarse a cabo antes de la calibración del sistema de medición de fuerza y debe contener lo siguiente.

Examen Visual

Debe verificar, que la máquina este en buen estado de funcionamiento y no está afectada negativamente por ciertos aspectos de su estado general como son: un desgaste notorio de o defectos en los elementos de guía del cabezal móvil o en las mordazas; holguras en el montaje de las columnas y del cabezal fijo.

Inspección de la estructura de la máquina

Debe realizarse una revisión para asegurar que la estructura y los sistemas de agarre permiten que la fuerza se aplique axialmente.

Inspección del mecanismo de accionamiento del cabezal

Debe verificarse que el mecanismo de accionamiento del cabezal permite una variación lenta y uniforme de la fuerza y que facilite la obtención de diferentes valores de fuerza con la suficiente exactitud.

Nota: El mecanismo de accionamiento debe permitir las velocidades de deformación de la probeta requeridas para determinar las propiedades mecánicas especificadas.

Determinación de la Resolución de la Máquina

La resolución r , debe expresarse en unidades de fuerza.

- **Indicación Análoga**

La resolución, r , del indicador debe obtenerse a partir del cociente entre el ancho del puntero y la distancia entre centros de dos trazos consecutivos de la escala, las relaciones recomendadas son 1:2, 1:5 ó 1:10, pero debe haber por lo menos 2,5 mm de distancia para la determinación de una décima de una división de escala.

- **Indicación Digital**

La resolución se considera cómo el mínimo incremento del indicador digital, siempre que, con la máquina descargada y con el sistema de controles y motores en funcionamiento, la indicación no cambie en más de un incremento.

- **Fluctuaciones en la lecturas**

Si las lecturas fluctúan en un valor mayor al calculado previamente para la resolución, debe considerarse ésta resolución r , como igual a la mitad del intervalo de fluctuaciones aumentado en un incremento.

- **Determinación previa de la resolución relativa del Indicador.**

La resolución relativa a , del indicador de fuerza se define por medio de la relación:

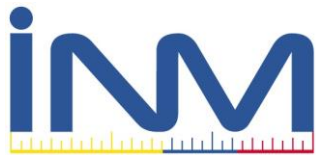
$$a = (r / F) * 100$$

En donde

r = es la resolución definida en el numeral 6.2.6

F = es la fuerza en el punto considerado

(Ver TABLA DE FORMULAS)



Instituto Nacional de Metrología
de Colombia

PROCESO DE CALIBRACIÓN

▪ **Calibración del Sistema de Medición de Fuerza de la Máquina de Ensayo**

Esta calibración debe realizarse para cada una de las escalas de fuerza utilizadas y con todos los indicadores de fuerza empleados. Cualquier dispositivo accesorio (por ejemplo agujas de máxima, registradores) que pueda afectar al sistema de medición de fuerza, cuando se utilice, debe verificarse, para comprobar el buen estado de funcionamiento y la resistencia debida a la fricción de los aparatos mecánicos, según el numeral 6.3.5 de ésta guía.

▪ **Alineación del instrumento de medición de fuerza**

Los instrumentos de prueba de fuerza de tensión son montados en la máquina de ensayos a calibrar, sobre la línea central de la máquina de tal manera que se eliminen los posibles efectos de flexión que serían perjudiciales tanto para la máquina como para el patrón. Para la alineación y montaje de un instrumento de fuerza a compresión, se monta el patrón debidamente centrado con la ayuda de un equipo auxiliar (pie de rey o regla graduada) sobre el plato fijo de la máquina ubicado en la línea central de aplicación de la carga, con un cojinete de carga con su respectivo asiento esférico, si la máquina no lo tiene ya incorporado.

• **Compensación por temperatura**

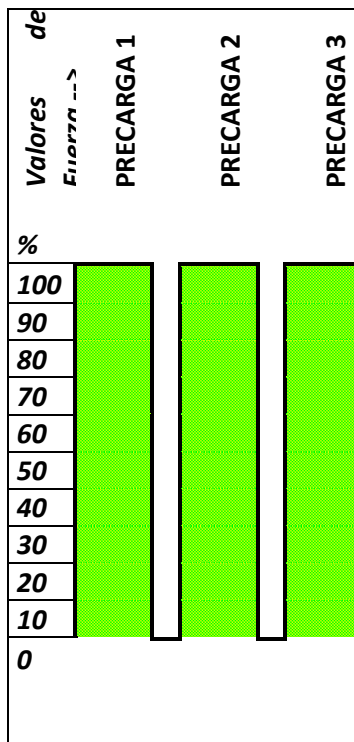
Cuando la temperatura del instrumento de medición de fuerza supere ± 2 °C durante la calibración se deben aplicar correcciones por temperatura a las lecturas tomadas. (Véase la norma NTC ISO 376)

• **Acondicionamiento de la Máquina de Ensayo**

La máquina, con el instrumento de medición de fuerza situado en posición, debe cargarse al menos tres veces entre cero y la máxima fuerza a medir. (Ver Ilustración 1)

Es importante que al realizar estas precargas se aplique una velocidad uniforme. Al lograr la máxima fuerza a medir, se puede tomar una lectura para determinar preventivamente cómo está la máquina, además por si es necesario que la empresa realice un ajuste antes de empezar las lecturas.

Ilustración 1. Acondicionamiento de la Máquina



Método

Se debe utilizar el método siguiente: una fuerza dada F_i , indicada por el indicador de fuerza de la máquina, se aplica a la misma, y se anota la fuerza real F indicada por el instrumento de medición de fuerza. Si no es posible utilizar este método, la fuerza real, F , indicada por el instrumento de medición de fuerza se aplica a la máquina de ensayo y se anota la fuerza, F_i , indicada por el indicador de fuerza de la máquina a verificar.

- **Aplicación de fuerzas discretas**

Deben aplicarse tres series de medición con valores de fuerza ascendente. En máquinas que puedan aplicar más de cinco valores discretos de fuerza, cada serie de medición debe comprender al menos, cinco valores discretos de fuerza en intervalos aproximadamente iguales entre el 20 % y el 100 % del alcance máximo de la escala.

(Ver Anexo 1)

Si se lleva a cabo la calibración con fuerzas por debajo del 20 % del intervalo, se deben realizar mediciones de fuerza suplementarias aproximadamente al 10 %, 5 %, 2 %, 1 %, 0,5 %, 0,2 % y 0,1 % de la escala hasta el límite inferior de calibración, inclusive. Ver NTC ISO 7500-1 numeral 6.4.5

NOTA 1. El límite inferior de la escala puede determinarse multiplicando la resolución, r por:

- 400 para la clase 0,5
- 200 para la clase 1
- 100 para la clase 2
- 67 para la clase 3

Para máquinas de ensayo con Indicadores auto escalables, (conmutación automática de escalas), deben aplicarse al menos dos valores de fuerza en cada parte de la escala en la que no cambie la resolución.

NOTA 2. *Antes de cada serie de medición, el instrumento de medición de fuerza puede girarse un ángulo de 120° y realizarse un ciclo de precarga.*

Para cada valor de fuerza discreta, debe calcularse la media aritmética de los valores obtenidos en cada serie de mediciones. Con estos valores medios se debe calcular el error relativo de exactitud y el error relativo de repetibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensayo (véase el numeral 6.5 de la norma NTC ISO 7500-1) (2007-07-25).

La lectura del indicador debe ponerse a cero antes de cada serie de medición. La lectura de cero se debe tomar aproximadamente 30 segundos después de que se haya eliminado completamente la fuerza. En el caso de un indicador análogo, se debe comprobar también que el puntero oscila libremente alrededor del cero y, si se usa un medidor digital, que cualquier fluctuación de cero se registra inmediatamente por ejemplo mediante un indicador de signo (+ ó -)

Para el cálculo del error relativo de cero Ver TABLA DE FORMULAS

Verificación de los accesorios

El buen estado de funcionamiento y la resistencia debida la fricción de los aparatos mecánicos accesorios (aguja de máximo, registrador) se deben verificar por uno de los siguientes métodos, atendiendo a sí la máquina se utiliza normalmente con o sin accesorios:

- a. Máquina usada normalmente con los accesorios: se deben realizar tres series de mediciones con fuerza ascendente (Ver NTC ISO 7500-1 (2007-07-25) numeral 6.4.5) con los accesorios conectados, para cada escala de medición de fuerza que se utilice y una serie complementaria de mediciones (Ver anexo 1) sin los accesorios para el menor rango utilizado.
- b. Máquina usada normalmente sin accesorios: se deben realizar tres series de mediciones con fuerza ascendente (Ver NTC ISO 7500-1 (2007-07-25) numeral 6.4.5) con los accesorios desconectados, para cada escala de mediciones de fuerza que se utilice y una serie complementada de medición (Ver anexo 1) con los accesorios conectados, para la menor escala utilizada. Ver NTC ISO 7500-1 numeral 6.4.5

Para el cálculo del error relativo por Accesorios Ver TABLA DE FORMULAS

Verificación del efecto de diferencias en las posiciones del pistón

Para máquinas hidráulicas, en las que se usa la presión hidráulica en el actuador para medir la fuerza de ensayo, la influencia de una diferencia en la posición del pistón se debe verificar para la menor escala de medición usada de la máquina, durante las tres series de mediciones (Ver NTC ISO 7500-1 (2007-07-25) numeral 6.4.5). La posición del pistón debe ser diferente en cada serie de mediciones.

NOTA: En el caso de una máquina hidráulica de doble pistón, es necesario considerar ambos pistones.

Máquinas con indicación en unidades distintas a la magnitud Fuerza

Para este tipo de máquinas se debe determinar si la lectura se hace con lectura análoga es decir un comparador de carátula que generalmente lo traen los anillos de carga o las bridas dinamométricas o un manómetro perteneciente a Prensas o gatos hidráulicos.

Se establece el intervalo de medición y se efectúa la calibración siguiendo los mismos lineamientos de la NTC ISO 7500-1 (2007-07-25). Luego se establece una regresión lineal tomando las divisiones versus indicación del patrón. Finalmente obtenemos una ecuación de primer orden que la utilizará el cliente en los cálculos pertinentes para conocer la fuerza en función de la deformación o lectura de la máquina. Las técnicas de regresión permiten hacer predicciones sobre los valores de cierta variable Y (*dependiente Divisiones*), a partir de los de otra X (*independiente Valor del Patrón*), entre las que existe una relación.

5. Método de calibración.

El método utilizado para la calibración es por comparación. En este método se comparan directa e instantáneamente los valores proporcionadas por el equipo bajo calibración, contra los valores proporcionados por un instrumento patrón.

6. Resultados de la medición.

Para la calibración de máquinas de ensayo de materiales se deben diseñar y utilizar formatos que faciliten la toma de datos considerando las posibilidades o métodos de calibración, como son:

- Fuerza Indicada Constante
- Fuerza Real Constante

Tratamiento de Datos

- **Determinación de los errores**

Para el cálculo de los errores relativos utilizar las siguientes fórmulas

TABLA DE FORMULAS

NOMBRE	FORMULA	NUMERAL DE LA NORMA NTC ISO 7500-1
RESOLUCIÓN RELATIVA	$a = \frac{r}{F} \times 100$	
DEL INDICADOR DE FUERZA ERROR RELATIVO DE CERO	$f_o = \frac{F_{i0}}{F_N} \times 100$	6.3 (4)
ACCESORIOS		6.4.5 (5)
FUERZA INDICADA CONSTANTE	$100 \left \frac{F_i - F_c}{F_c} \right \leq 1,5 q $	6.4.6 (6)
FUERZA REAL CONSTANTE	$100 \left \frac{F_{ic} - F}{F} \right \leq 1,5 q $	6.4.6 (7)
ERROR RELATIVO DE REVERSIBILIDAD		
FUERZA INDICADA CONSTANTE	$v = \frac{F' - F}{\bar{F}} \times 100$	6.4.8 (8)
FUERZA REAL CONSTANTE	$v = \frac{F'_i - F_i}{F} \times 100$	6.4.8 (9)
ERROR RELATIVO DE EXACTITUD		6.5.1 (10)
FUERZA INDICADA CONSTANTE	$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100$	
FUERZA REAL CONSTANTE	$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100$	6.5.1 (11)
ERROR RELATIVO DE REPETIBILIDAD		6.5.2 (12)
FUERZA INDICADA CONSTANTE	$b = \frac{F_{máx} - F_{mín}}{\bar{F}} \times 100$	
FUERZA REAL CONSTANTE	$b = \frac{F_{i máx} - F_{i mín}}{F} \times 100$	6.5.2 (13)

7. Estimación de la incertidumbre.

Para la estimación y cálculo de las componentes de incertidumbre se seguirán las bases de la Norma NTC ISO 7500-1 (2007-07-25). Anexo D.

Es posible calcular la incertidumbre del sistema de medida de fuerza durante la calibración, bien a partir de los límites de la especificación o bien a partir de las lecturas obtenidas. Estos cálculos se detallan en los siguientes apartados.

Como el error de exactitud, como margen de error conocido, normalmente no se corrige durante la calibración, si cumple con las especificaciones de la tabla 2, el intervalo razonable donde se encontrará el error relativo estimado, E , debería ser $E = q \pm U$, donde q es el error relativo de exactitud definido en el apartado 6.5.1 y U es la incertidumbre expandida [3].

Ilustración 2. Incertidumbre de los Resultados de Calibración del Sistema de Medida de Fuerza (Informativo)

Incertidumbre Expandida	$U = k \times u_c$ $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2}$ $U = k \times \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2}$	D.1
Incertidumbre Combinada		
Incluye términos de contribución relativos a la repetibilidad, resolución de la máquina y patrón de transferencia	$U_i^2 = (U_{rep}^2 + U_{res}^2 + U_{std}^2)$ $U_i = \sqrt{U_{rep}^2 + U_{res}^2 + U_{std}^2}$	
Repetibilidad	$U_{rep} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\frac{100}{\bar{F}} \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2} \right]$	D.2
Resolución	$U_{res} = \frac{a}{2\sqrt{3}}$	D.4
Patrón de transferencia	$U_{std} = \sqrt{U_{cal}^2 + A^2 + B^2 + C^2}$	D.5

FUERZA CRECIENTES ESTIMACIÓN DEL ERROR RELATIVO MEDIO

La mejor estimación del error relativo medio en la fuerza indicada por la máquina de ensayo es q , el error relativo de exactitud. Asociado con esta estimación del error relativo medio existe una incertidumbre expandida, U , que viene dada por;

$$U = k \times u_c = k \times \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} \quad (D.1)$$

En donde

- k = es el factor de cobertura;
- u_c = es la incertidumbre combinada;
- u_1 a u_n = son las incertidumbres típicas correspondientes.

u_1 a u_n incluyen términos relacionados con la repetibilidad, la resolución y el patrón de transferencia. Otras contribuciones a la incertidumbre que deben considerarse pueden incluir los efectos de la carga en el extremo (aplicación de la fuerza) y la influencia del operador

REPETIBILIDAD

La incertidumbre típica relacionada con la repetibilidad, u_{rep} , es la desviación típica de la estimación del error relativo medio.

$$u_{rep} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{100}{\bar{F}} \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (F_j - \bar{F})^2} \right) \quad (D.2)$$

En donde

- n = es el número de lecturas en cada escalón de fuerza nominal;
- F_j = es el escalón de fuerza medido (unidades de fuerza);
- \bar{F} = es el escalón medio de fuerza medido (unidades de fuerza).

Cuando se emplee el método alternativo de clasificación de máquinas de ensayo (véase el Anexo C), entonces:

$$u_{rep} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (D.3)$$

En donde

- n es el número de lecturas en cada escalón de fuerza nominal;
- q_i es el error medido en el escalón de fuerza nominal (%);
- \bar{q} Es la media del error medido en el escalón de fuerza nominal (%).

RESOLUCIÓN

La incertidumbre típica relacionada con la resolución relativa, U_{res} , procede de una distribución rectangular:

$$u_{res} = \frac{a}{2\sqrt{3}} \quad (D.4)$$

PATRÓN DE TRANSFERENCIA

La incertidumbre típica asociada al patrón de transferencia, U_{std} , viene dada por:

$$u_{std} = \sqrt{u_{cal}^2 + A^2 + B^2 + C^2} \quad (D.5)$$

En donde

- u_{cal} es la incertidumbre típica relativa del patrón de transferencia;
- A, B y C son, donde proceda, contribuciones debidas a la temperatura, la deriva y la aproximación lineal a la curva polinómica.

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Una vez que se hayan tenido en cuenta todas las incertidumbres típicas pertinentes (incluidas las otras contribuciones citadas anteriormente), la incertidumbre combinada, u_c , se multiplica por un factor de cobertura, k , que proporciona la incertidumbre expandida, U . Se recomienda emplear un

valor de $k = 2$, aunque k también puede calcularse a partir del número de grados efectivos de libertad. Deberían seguirse los principios establecidos en la referencia bibliográfica [3].

Puede esperarse como algo razonable que el error relativo medio estimado, E , se encuentre dentro del intervalo;

$$E = q \pm U \quad (\text{D.6})$$

Y la fuerza media generada, F , puede expresarse como:

$$F \approx F_i - \frac{F_i}{100} (q \pm U) \quad (\text{D.7})$$

FUERZAS DECRECIENTES

Para fuerzas decrecientes, la incertidumbre combinada, U'_c , se calcula a partir de las contribuciones a la incertidumbre de q y v . Se considera que la contribución a la incertidumbre de v es igual a la contribución a la incertidumbre del error de exactitud con fuerzas crecientes, q . De esta forma, la incertidumbre combinada, U'_c , se estima como:

$$u'_c = \sqrt{2} \times u_c \quad (\text{D.8})$$

La incertidumbre combinada, u'_c , se multiplica por un factor de cobertura, k , obteniendo la incertidumbre expandida, U' . Puede esperarse como algo razonable que el error relativo medio estimado, E' , se encuentre dentro del intervalo:

$$E' = (q + v) \pm U' \quad (\text{D.9})$$

En donde

- q es el error relativo de exactitud con fuerzas crecientes;
- v es el error relativo de reversibilidad.

La fuerza decreciente generada media, F' , puede expresarse como:

$$F' \approx F'_i - \frac{F'_i}{100} [(q + v) \pm U'] \quad (\text{D.10})$$

8. Presentación de los resultados.

Estos resultados se comparan con base en La Tabla 2, (Ver NTC ISO 7500-1 numeral 7, página 10).
Observación: Los errores permitidos por Accesorios es una adición de ésta Guía.

Clase de la escala de la máquina de ensayo.

La calibración final proporciona los valores permitidos para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza expresados en porcentaje.

Una escala de medición del indicador de fuerza sólo se debe considerar conforme si la inspección es satisfactoria para el rango de medición comprendido entre al menos el 20 % y el 100% del alcance nominal.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El resultado obtenido en la calibración se expresa en el certificado de calibración, en este se consigna adicional a las características de la Máquina Calibrada, los valores tomados para cada una de las series, los resultados obtenidos y la declaración para la trazabilidad al SI.

Se debe calcular también la incertidumbre de la calibración y la incertidumbre expandida con un factor $k = 2$ que da un nivel de confiabilidad del 95,45%. (Teniendo en cuenta el teorema del límite central y lo señalado en la GUM numeral 6.3 [7]).

Certificado o Informe de calibración

El proceso y el resultado de calibración se documentan en un certificado o informe de calibración, del cual debe hacer parte lo relativo a la Inspección General de la máquina de ensayos.

Intervalo entre calibraciones

El tiempo entre dos calibraciones depende del tipo de máquina de ensayo, de las normas de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores de 12 meses.

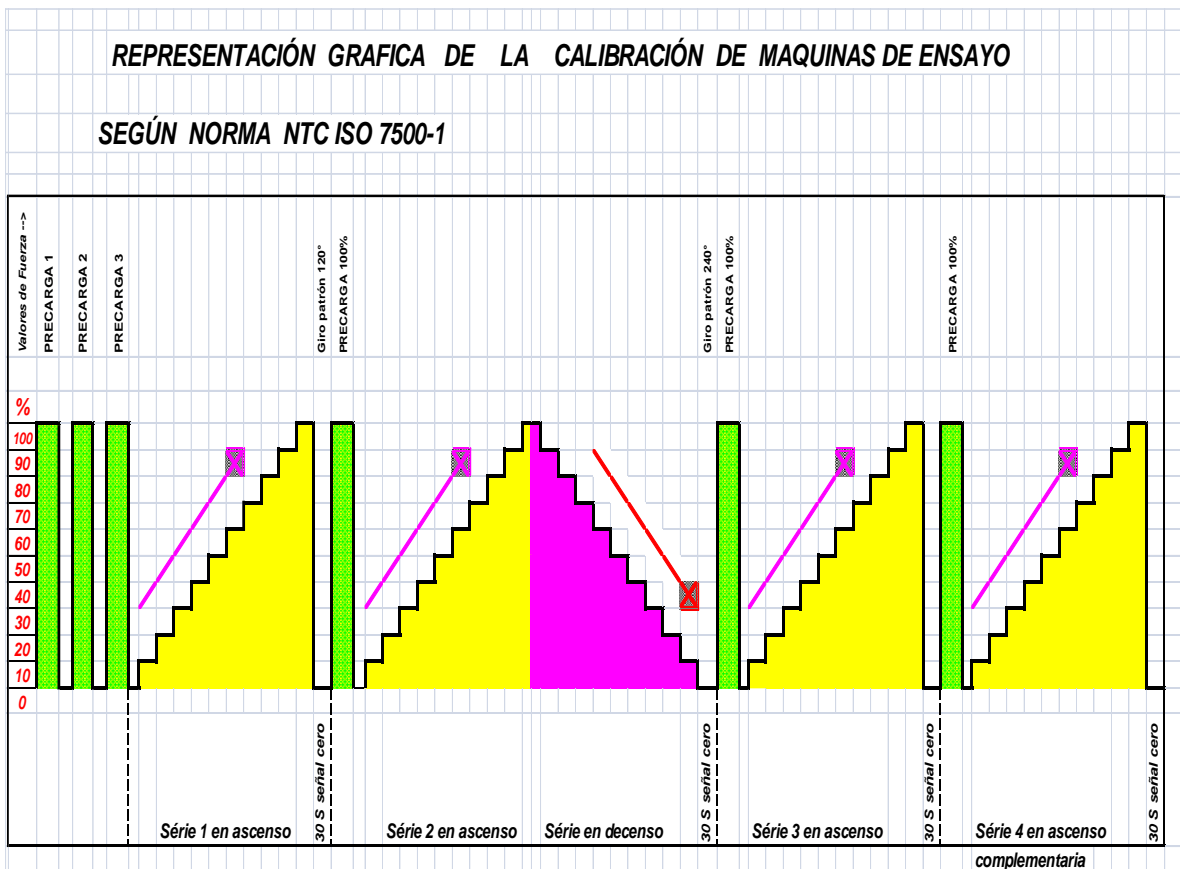
En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. Conforme a la numeral 9 de la Norma NTC ISO 7500-1 (2007-07-25).

9. Referencias.

- NORMA NTC ISO 376 “MATERIALES METÁLICOS. CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE FUERZA UTILIZADOS PARA LA VERIFICACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYO UNIAXIALES”
- Documento EURAMET/cg-04/v.01 Uncertainty of Calibration Results in Force Measurements

Anexos.

ANEXO 1. ESQUEMA DE CALIBRACIÓN PASO A PASO



ANEXO 2. EJEMPLO PARA LA CALIBRACIÓN DE UNA MAQUINA DE ENSAYOS POR MÉTODO DE FUERZA INDICADA CONSTANTE

- Descripción Secuencial
 - Se hacen tres precargas de 0% al 100% de la capacidad del instrumento, retornando a cero.
 - Serie 1 (F_1) de 0% hasta el 100% en pasos de 10%, retornando a cero. Esperamos 30 Segundos y leemos el valor residual de cero.
 - Giramos el patrón 120° , hacemos una precarga de 0% hasta el 100% retornando a cero.
 - Serie 2 (F_2) de 0% hasta el 100% en pasos de 10%, para (F'_2) hacemos descenso (*) retornando a cero, en pasos de 10%, esperamos 30 Segundos tomamos el valor de cero.
 - Giramos el patrón 120° , hacemos una precarga de 0% hasta el 100% retornando a cero.
 - Serie 3 (F_3) de 0% hasta el 100% en pasos de 10%, retornando a cero. Esperamos 30 Segundos y leemos el valor residual de cero.
 - Giramos el patrón 120° , hacemos una precarga de 0% hasta el 100% retornando a cero.
 - Para la cuarta serie es opcional girar el patrón, si se gira, se hará una precarga de 0% hasta el 100% retornando a cero.
 - Serie 4 (F_4) de 0% hasta el 100% en pasos de 10%, retornando a cero. Esperamos 30 Segundos y leemos el valor residual de cero.
- (*) Aplica en descenso, las lecturas se hacen también cada 10%

