

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: <i>CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA</i>	Revisión: 0 Fecha: Página: 1 de 1

1.- OBJETO.....	2
2.- ALCANCE.....	2
3.- DESCRIPCIÓN	2
3.1.- DEFINICIONES.....	2
3.2.- RESPONSABILIDADES.....	3
3.3.- DESARROLLO.....	4
3.3.1.- GENERALIDADES	4
3.3.2.- IDENTIFICACIÓN.....	4
3.3.3.- ENSAYO METROLÓGICO	4
3.3.3.1.- Operaciones previas.....	4
3.3.3.2.- Equipos y materiales.....	6
3.3.3.3.- Procedimiento de ensayo.	7
3.3.4.- RESULTADO.....	9
3.3.4.1.- Cálculo de errores, caracterización del instrumento de medida de fuerza.-	9
3.3.4.3.- Cálculo de incertidumbres.-	9
4.- REFERENCIAS.....	12
5.- ANEXOS	12

Elaborado;	Revisado; Responsable de Calidad	Aprobado; Director de Área
Fecha:	Fecha:	Fecha:

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 2 de 2
ÁREA DE METROLOGÍA		

1.- OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto describir un método para la calibración de dinamómetros, mecánicos o electrónicos, tanto en tracción como en compresión (en adelante: Instrumentos de medida de fuerza).

2.- ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los servicios, prestados por *el Laboratorio*, de calibración de Instrumentos de medida de fuerza de hasta 500 KN de alcance máximo en sentido de aplicación de cargas tanto a tracción como a compresión, así como al personal de los Laboratorios implicados en el desarrollo de los mismos.

3.- DESCRIPCIÓN

3.1.- DEFINICIONES

CALIBRACIÓN: A efectos del presente procedimiento, la calibración se define como el conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida de fuerza o un sistema de medida, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones transductores de fuerza también llamados transductores de referencia .

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA: Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

La incertidumbre de medida comprende, en general, varios componentes. Algunos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden caracterizarse por sus desviaciones estándar experimentales (Evaluación tipo A). Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones (Evaluación tipo B).

MAGNITUD FUERZA: La noción física de fuerza se puede expresar como toda causa capaz de modificar el estado de movimiento de un cuerpo o su forma.

Cuantitativamente viene expresada por la 2ª ley del movimiento de Newton:

"Si sobre una partícula actúa una fuerza resultante no nula, adquiere una aceleración proporcional al módulo de dicha fuerza y en la misma dirección que ella".

Desde el punto de vista de la física estática se define la fuerza como aquella acción que, ejercida sobre un cuerpo, produce sobre él una deformación.

UNIDAD DE MEDIDA DE FUERZA, NEWTON (N): El newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg, le comunica una aceleración de 1 m/s^2

INSTRUMENTO DE MEDIDA DE FUERZA: El instrumento de medida de fuerza se define como el conjunto que comprende desde el transductor de fuerza hasta el dispositivo indicador (incluido los cables de conexión eléctrica, los dispositivos de sujeción y aplicación de carga, etc).

El indicador puede estar integrado en el mismo instrumento, como en el caso de los anillos mecánicos que incorporan un comparador de reloj (dinamómetros de comparador

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 3 de 3
ÁREA DE METROLOGÍA		

mecánicos) como digitales, o separado del transductor, caso de los instrumentos eléctricos (transductores de fuerza basados en galgas extensiométricas) que suelen disponer de un puente de medida electrónico (sistema de amplificación, tratamiento e indicación de la señal) externo al propio sensor de fuerza

DISPOSITIVO DE VISUALIZACIÓN O DE INDICACIÓN: Para un instrumento de medida, conjunto de los componentes que permiten visualizar el valor de una magnitud de medida o un valor que le está asociado.

DEFORMACIÓN: Se define como la diferencia entre la lectura bajo fuerza y la lectura sin fuerza.

SISTEMAS DE GENERACIÓN DE FUERZA: Las máquinas de fuerza son sistemas utilizados para generar fuerzas que permiten calibrar instrumentos de medida de fuerza, y en general evaluar las características de dichos instrumentos.

Existen cuatro tipos básicos de máquinas de fuerza de calibración, cuyo uso depende del orden de magnitud y de la exactitud con que se desee generar la fuerza:

Máquinas de fuerza de carga directa:

Su principio de funcionamiento está basado en la acción directa de las masas en el campo gravitatorio.

Máquinas de fuerza de amplificación mecánica:

Su principio de funcionamiento está basado en la amplificación de la acción de las masas en el campo gravitatorio, a través de sistemas de palancas mecánicas.

Máquinas de fuerza de amplificación hidráulica:

Su principio de funcionamiento está basado en la amplificación de la acción de las masas en el campo gravitatorio, a través de sistemas pistón - cilindro.

Máquinas de fuerza por comparación:

Su principio consiste en comparar el instrumento de medida de fuerza a calibrar, con un instrumento de medida de fuerza de referencia, compuesto por un transductor de referencia o una columna formada por un juego de transductores de referencia (3, 6, 9), situados en paralelo y un dispositivo indicador de referencia.

CÉLULA DE CONTROL: Transductor de fuerza incorporado a la máquina de fuerza *por comparación*, utilizada por el sistema de control automático de la misma para su funcionamiento.

3.2.- RESPONSABILIDADES

El Jefe del Laboratorio es responsable de la gestión, funcionamiento, coordinación y calidad de los servicios que presta el Laboratorio. Asimismo, es responsable de la correcta aplicación de este procedimiento. El personal del laboratorio cualificado para la prestación de este servicio es responsable de la correcta ejecución de las calibraciones y de la emisión de los documentos relacionados con el servicio prestado.

El servicio se solicitará, en la medida de lo posible, entregando al laboratorio la solicitud de calibración donde se indicará entre otros datos, el nº de dinamómetros a calibrar, así como sus respectivos alcances nominales.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: <i>CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA</i>	Revisión: 0 Fecha: Página: 4 de 4
ÁREA DE METROLOGÍA		

3.3.- DESARROLLO

3.3.1.- GENERALIDADES

La calibración de los instrumentos de medida de fuerza objeto de este procedimiento, consiste fundamentalmente en aplicar al elemento de carga del instrumento a calibrar, fuerzas conocidas con exactitud y anotar las indicaciones del instrumento a calibrar.

El procedimiento de calibración a aplicar es idéntico en todos los casos, según se describe a continuación y consistirá en realizar:

- La identificación del mensurando.
- Un ensayo de calibración con el fin de determinar la indicación media del instrumento de medida cargas, así como la incertidumbre asociada a la misma.

3.3.2.- IDENTIFICACIÓN

Se realizará la identificación completa de todos los elementos del instrumento de medida de fuerza a calibrar (incluyendo los cables de conexión eléctrica cuando el instrumento a calibrar los posea), de forma individual y específica, anotando en la hoja toma de datos las características metroológicas y el nº de expediente al que corresponde.

Los datos más comunes necesarios para identificar el instrumento de medida de fuerza a calibrar se relacionan a continuación:

- Nombre y dirección del fabricante o su marca.
- Designación propia del fabricante.
- Modelo.
- Número de serie.
- Alcance máximo.
- Resolución.

En el caso que el dispositivo indicador del instrumento de medida de fuerza a calibrar se encuentre separado del transductor de fuerza se procederá igualmente a la identificación del mismo tomando los datos anteriormente mencionados.

Para los instrumentos de medida de fuerza que no dispongan de los referidos datos de identificación, se debe proceder a la identificación del mismo de la mejor forma posible con el fin de evitar duda alguna en cuanto a la correspondencia entre el instrumento calibrado y el certificado de calibración emitido.

3.3.3.- ENSAYO METROLÓGICO

3.3.3.1.- Operaciones previas.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 5 de 5
ÁREA DE METROLOGÍA		

- a) La calibración debe ser realizada en una sala metrologicamente acondicionada a temperatura estable y comprendida entre 18° C y 28° C permitiéndose una variación máxima de $\pm 1^\circ$ C, durante la realización de la misma.
- b) El instrumento de medida de fuerza objeto de la calibración debe haber sido ubicado en la sala de calibración junto con los transductores de fuerza patrones durante al menos 24 horas, tiempo suficiente para estabilizar su temperatura a la de la sala. En el caso de los instrumentos eléctricos, éstos deben estar conectados a la corriente eléctrica durante al menos 15 minutos antes del inicio de la calibración.
- c) Instalar la célula de control de la máquina de calibración de fuerza, el transductor patrón correspondiente así como el instrumento de medida a calibrar en la máquina de fuerza y antes de iniciar la calibración propiamente dicha, llevar a cabo un estudio visual de la idoneidad y buen estado de los elementos auxiliares a emplear, así como del propio instrumento de medida a calibrar.
- d) Comprobar la resolución del dispositivo indicador del instrumento de medida de fuerza, teniendo en cuenta:
- *Cuando se trate de una escala analógica:*
El grosor de los trazos de la graduación de la escala debe ser uniforme y el ancho del indicador debe ser aproximadamente igual al ancho de un trazo de la graduación.
La resolución del dispositivo indicador se debe obtener a partir de la relación entre la anchura del indicador y la distancia entre los centros de dos graduaciones adyacentes de la escala (longitud de una división); las relaciones recomendadas son 1/2, 1/5 ó 1/10. Se necesita un espacio superior o igual a 1 ,25 mm para la estimación de un décimo de división de escala.
 - *Cuando se trate de una escala digital:*
La resolución se considera como un incremento de la última cifra que puede variar sobre el indicador numérico (digital), siempre que la indicación no fluctúe más de un incremento cuando el instrumento no está cargado.
Cuando las lecturas fluctúen más del valor previamente calculado de la resolución (con el instrumento no cargado), la resolución se considera igual a la mitad del intervalo de la fluctuación.
- e) Si no se conoce el comportamiento del instrumento a calibrar o se tienen dudas al respecto del mismo, se recomienda asegurarse que dicho instrumento es apto para ser calibrado con los medios del laboratorio. Para ello, una vez montado en la máquina de calibración de fuerza el conjunto formado por, la célula de control, el transductor patrón correspondientes y el instrumento de medida de fuerza a calibrar, escogidos en consonancia al alcance máximo de este último, hay que asegurarse de que:
- El sistema de acoplamiento del conjunto permita una aplicación axial de la carga en tracción, utilizando a tal efecto rótulas de tracción así como adaptadores con gancho cuando sea necesario.
 - En el caso de calibración del instrumento en compresión, comprobar que no existe interacción entre el transductor de fuerza y su apoyo sobre la máquina de

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 6 de 6
ÁREA DE METROLOGÍA		

calibración tanto en la unión entre la célula de control de la máquina con el transductor patrón como en cualquier otra unión entre adaptadores que pudiera existir, utilizando para ello las tuercas y arandelas de compresión correspondientes, ya que dicha circunstancia podría ocasionar la rotura de alguno de los transductores por sobrecarga del mismo. A tal efecto, para evitar excentricidades, en el caso de aplicación de cargas a compresión, utilizar platos centradores.

- f) Al poseer el sistema de control de la máquina de generación de fuerzas de sistemas de alarmas y de paradas automáticas en función de diversos parámetros, se tomará la medida preventiva, de cara a evitar sobrecargas que pudieran sobrepasar el límite de rotura de alguno de los instrumentos de medida de fuerza instalados en la máquina, de no ejecutar ninguna secuencia de calibración sin incluir en la misma una alarma por carga máxima igual al valor de la carga nominal del transductor de fuerza de menor alcance que en ese momento se encuentre instalado en el sistema de generación de fuerzas.

3.3.3.2.- Equipos y materiales.

Para la calibración de los instrumentos de medida de fuerza se utilizarán los siguientes equipos y materiales auxiliares:

- Sistema de generación de fuerzas de referencia (máquinas de calibración de fuerza).
A tal efecto, la máquina de calibración de fuerza está diseñada y construida teniendo en cuenta los siguientes principios:
 - La estructura de la máquina es suficientemente rígida, no produciéndose deformaciones que pudieran desvirtuar la fuerza de calibración a aplicar al instrumento de medida de fuerza a calibrar.
 - La máquina de fuerza de calibración genera fuerzas con la estabilidad necesaria para la toma de medidas y permitir a su vez la repetición de dicha fuerza de calibración tantas veces como fuese necesario tanto en sentido de fuerzas crecientes como decrecientes.
 - El diseño de la máquina de fuerza de calibración permite la introducción de la fuerza de calibración de una forma axial, siendo mínimas las componentes parásitas (fuerzas transversales, momentos flectores, momentos torsores).
- Transductores patrones de referencia.
Se recomienda utilizar transductores de patrones del mismo alcance máximo que el alcance máximo del instrumento de medida de fuerza a calibrar. Si no fuese esto posible, utilizar aquel transductor patrón cuyo alcance nominal sea inmediatamente superior al valor del alcance del instrumento a calibrar ya que al menos se debe tener calibrado el transductor patrón para la fuerza nominal del instrumento de medida de fuerza a calibrar.
- Módulo de amplificación e indicación de la señal del transductor patrón.
- Dispositivo medidor de temperatura.

Para la determinación de las condiciones ambientales, se dispone de un termómetro con resolución de indicación de 0,1° C.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 7 de 7
ÁREA DE METROLOGÍA		

- Adaptadores, bases de apoyo y anclajes.

Necesarios para la correcta aplicación axial de la fuerza tales como platos centradores, rótulas para tracción, tuercas y arandelas de carga etc..

3.3.3.3.- Procedimiento de ensayo.

La toma de datos se podrá realizar de forma manual o automática. Cuando se realice la toma de datos de forma manual, el sistema de calibración de fuerza deberá funcionar en modo manual de adquisición de datos introduciendo la lectura del indicador del instrumento de medida de fuerza a calibrar de forma manual.

Cuando se utilice el dispositivo indicador propiedad del laboratorio para tomar las indicaciones del mensurando el programa de control podrá funcionar en modo automático de adquisición de datos, no siendo en ese caso necesario que el técnico introduzca manualmente las indicaciones del mensurando.

Se seguirá pues, básicamente el siguiente proceso, tanto para calibraciones con carga a tracción como a compresión:

- A. Seleccionar una de las células de control así como el transductor patrón, en función del alcance máximo de deseado.
- B. Configurar el canal 1 del módulo amplificador/indicador (al que debe estar conectado el transductor patrón a utilizar) prestando especial atención a la tensión de excitación que será en todos los casos de 5 V.

La calibración podrá realizarse trabajando en el sistema de calibración de fuerza en unidades de fuerza (KN) o en deformaciones (mV/V) cuando necesitemos mayor precisión.

Cuando se trabaje en unidades de fuerza (KN) se procederá configurando el canal 1 del amplificador introduciendo el valor de deformación (mV/V) correspondiente a carga nula y el valor correspondiente a carga nominal. Estos valores los obtenemos del certificado de calibración del transductor patrón correspondiente.

- C. Cuando el instrumento de medida de fuerzas a calibrar, no disponga de indicador propio, conectar dicho instrumento de medida de fuerza al módulo indicador/amplificador del laboratorio, consultando para ello el esquema de conexión proporcionado por el fabricante, configurando el canal correspondiente de la misma forma que se hizo con el transductor patrón.
- D. Registrar la indicación del instrumento de medida de fuerza a calibrar antes de ser sometido a fuerza alguna.
- E. Configurar y/o cargar los parámetros de calibración correspondientes (velocidad de aproximación, rango de aproximación, tiempo de estabilización, etc.) dentro del módulo de calibración automática del programa de gestión que gobierna el sistema de generación de fuerza. Posteriormente se configura y/o carga la secuencia de ensayo correspondiente, la cual debe estar confeccionada con la forma de trabajo que se haya escogido para la señal patrón (en unidad de fuerza o en deformación). Cuando se trabaje en deformaciones, los valores de mV/V correspondiente a los puntos de calibración, los cuales están en KN, se obtendrán del polinomio de interpolación indicado en el certificado de calibración del transductor patrón.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 8 de 8
ÁREA DE METROLOGÍA		

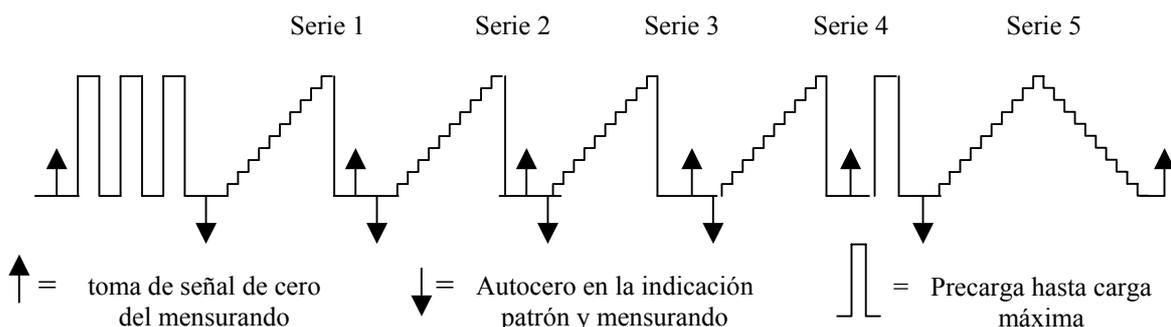
F. Iniciar la calibración; la cual se realizará de forma automática (salvo la introducción manual de las indicaciones del mensurando cuando sea necesario) las siguientes operaciones:

1. Realizar tres precargas de un minuto de duración con valores de fuerza igual o cercanos al alcance máximo del transductor a calibrar, esperando un minuto entre cada precarga. No será necesario la toma de medida en éstas precargas.
2. Tras haber transcurrido un minuto desde la descarga de la última precarga tomar el valor de temperatura en el entorno de la máquina de fuerza y poner a cero la indicación tanto del transductor patrón como la del dispositivo de indicación del instrumento de medida de fuerza a calibrar, ésta última siempre que sea posible.
3. A continuación, realizar cuatro series de cargas para fuerzas monótonamente crecientes con al menos 5 valores de fuerzas de calibración distribuidas uniformemente en el rango de medida del instrumento a calibrar.
4. Se dejará transcurrir un intervalo de tiempo de un minuto entre la ejecución de cada serie de carga, y se pondrán a cero ambas indicaciones (patrón y mensurando) antes de iniciar la nueva serie.
5. A continuación se realizará otra serie de carga para fuerzas monótonamente crecientes y decrecientes ensayando los mismos valores de fuerza de referencia que en las cuatro series anteriores primero en sentido monótonamente creciente y después en sentido monótonamente decreciente hasta carga nula.

Antes del inicio de esta serie, se efectuará una precarga de valor de fuerza igual o cercano al alcance máximo del transductor, con un minuto de duración y con un intervalo de espera antes del inicio de la serie de un minuto. Tampoco será necesaria la toma de medida en esa precarga.

Para cada serie de carga se registrarán los valores de fuerza de referencia y las indicaciones del dispositivo indicador al inicio (carga nula), en cada uno de los diferentes escalones de fuerza ensayados y al final de la serie (carga cero). La lecturas se registrarán teniendo la precaución de que la medida de fuerza no debe ser realizada nunca antes de transcurridos 30 segundos desde el comienzo de la modificación de la fuerza para conseguir el siguiente escalón de fuerza a ensayar.

El esquema de la secuencia de calibración antes descrito es:



EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 9 de 9
ÁREA DE METROLOGÍA		

3.3.4.- RESULTADO

Normalmente la calibración se efectuará trabajando en unidades de Fuerza (KN) en lo que a la señal patrón se refiere. Cuando los requerimientos de precisión sean más elevados, la unidad de trabajo durante las calibraciones será la deformación en mV/V.

En este caso, para la correcta interpretación de los resultados, se deberá trasladar dicho valor de deformación en mV/ V a unidades de Fuerza (KN), utilizando para ello el polinomio de interpolación inverso especificado en el certificado de calibración de cada transductor de fuerza patrón.

3.3.4.1.- Cálculo de errores, caracterización del instrumento de medida de fuerza.-

El cálculo de cada uno de los errores que intervienen se realizará de la siguiente forma:

- Error de cero, f_0 .

El error de cero se calcula para cada serie con ayuda de la ecuación:

$$f_0 = i_f - i_0$$

i_0 = indicación leída en el dispositivo indicador antes del comienzo de la serie.

i_f = indicación leída en el dispositivo indicador después de la aplicación de la carga, al final de la serie, para el valor de carga nula.

- Error de reversibilidad, v

El error de reversibilidad (histéresis) se determina, para cada una de las fuerzas de calibración mediante la diferencia entre los valores indicados por el instrumento de medida de fuerzas a calibrar, bajo sentido decreciente de aplicación de cargas y en el sentido creciente de la serie 5 mediante:

$$v = |i_{decreciente} - i_{creciente}|$$

x_6 = deformación para las cargas crecientes de la quinta serie.

x_5 = deformación para las cargas decrecientes de la quinta serie.

3.3.4.3.- Cálculo de incertidumbres.-

El resultado de calibración es la indicación media (\bar{i}), para cada punto de calibración, la cual se obtiene mediante la expresión:

$$\bar{i} = (S + \delta S_{rep} + \delta S_{f_0} + \delta S_v) \cdot F + \delta i_r + \delta i_{AMP}$$

donde:

- \bar{i} : indicación media del instrumento en el punto de calibración.
- S: sensibilidad local la cual se calcula mediante la división del la indicación en el punto de calibración por la fuerza patrón aplicada en ese punto.
- δS_{rep} : corrección debida a la variación de las indicaciones medidas. Ésta se estimará como cero, no así su incertidumbre asociada, que será:

EMPRESA ÁREA DE METROLOGÍA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 10 de 10

$$u_{\delta S_{rep}} = \frac{S}{F} \cdot u_{rep}$$

- δS_{f_0} : corrección debida variación asociada al error de cero. Ésta se estimará como cero, no así su incertidumbre asociada, que será:

$$u_{\delta S_{f_0}} = \frac{S}{F} \cdot u_{f_0}$$

- δS_v : corrección debida a la variación asociada a la reversibilidad. Ésta se estimará como cero, no así su incertidumbre asociada, que será:

$$u_{\delta S_v} = \frac{S}{F} \cdot u_u$$

- F: fuerza generada por el sistema de calibración de fuerzas con una incertidumbre u_{mcf} . Esta incertidumbre es obtenida de la caracterización del sistema de calibración de fuerza.
- δi_r : corrección debida a la resolución del instrumento. Ésta se estimará como cero, no así su incertidumbre asociada, que será:

$$u_{\delta i_r} = S \cdot u_r$$

- δi_{AMP} : corrección debida a la indicación proporcionada por el dispositivo amplificador / indicador propiedad del laboratorio. Ésta se estimará como cero, no así su incertidumbre asociada, que será:

$$u_{\delta i_{AMP}} = S \cdot u_{AMP}$$

Esta incertidumbre tan sólo deberá ser contemplada cuando el instrumento a calibrar no incorpore un dispositivo indicador de medida propio, y se haya tenido que usar el indicador propiedad del laboratorio.

Es decir, se considerarán las siguientes aportaciones a la incertidumbre global de cada uno de los puntos de calibración, calculadas de la siguiente forma:

- Incertidumbre asociada a la repetibilidad:

El cálculo de esta incertidumbre, en cada punto de calibración, se realizará considerando una distribución de probabilidad normal (Evaluación Tipo A), para ello se deberá calcular la desviación típica de las 6 indicaciones de carga del instrumento a calibrar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (i_i - \bar{i})^2}{n-1}}$$

La incertidumbre se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde $n = 6$.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 11 de 11
ÁREA DE METROLOGÍA		

- Incertidumbre asociada al error de cero, u_{f_0} :

Se calculará considerando una distribución de probabilidad rectangular (Evaluación tipo B):

$$u_{f_0} = \frac{f_0}{\sqrt{12}}$$

- Incertidumbre asociada al error de reversibilidad, u_v :

De la misma forma se considerará una distribución de probabilidad rectangular (Evaluación tipo B):

$$u_v = \frac{v}{\sqrt{12}}$$

- Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento, u_r :

Igualmente se considerará una distribución de probabilidad rectangular (Evaluación tipo B):

$$u_r = \frac{r}{\sqrt{12}}$$

donde:

r = resolución del instrumento.

- Incertidumbre asociada al dispositivo amplificador / indicador, u_{AMP} :

Cuando se haya utilizado el dispositivo indicador propiedad del laboratorio para la toma de la señal del instrumento mensurando se deberá incluir la incertidumbre típica del mismo. Para ello habrá que considerar la incertidumbre así como el factor de cobertura indicado en el certificado de calibración del mismo:

$$u_{AMP} = \frac{U_{AMP}}{K}$$

Cuando el valor indicado correspondiente al punto de calibración no coincida con los valores de referencia indicados en el certificado de calibración del indicador propiedad del laboratorio, se tomará la mayor incertidumbre típica de entre las correspondientes a los valores de referencia en las cuales está incluido el valor indicado.

- Incertidumbre asociada al sistema de calibración de fuerza, u_{mcf} :

La incertidumbre u_{mcf} , del sistema de calibración de fuerzas (maquina de generación de fuerza, transductor de fuerza patrón y dispositivo indicador / amplificador) es obtenida de la caracterización de dicho sistema.

Cuando el valor de fuerza de referencia correspondiente al punto de calibración no coincida con los valores de referencia indicados en el certificado de calibración del transductor patrón correspondiente, se tomará la mayor incertidumbre típica de entre las correspondientes a los valores de referencia entre los cuales está incluido el valor de fuerza de referencia.

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 12 de 12
ÁREA DE METROLOGÍA		

La incertidumbre típica combinada $u_c(\bar{i})$ en cada punto de calibración se obtendrá mediante la ecuación de propagación de las varianzas, considerando que no hay correlaciones entre las magnitudes de entrada:

$$u_c^2(\bar{X}_k) = (u_{mcf}^2 + u_{f0}^2 + u_u^2 + u_r^2 + u_{rep}^2 + u_{AMP}^2)$$

La *incertidumbre expandida* se obtiene a partir de la multiplicación de la incertidumbre relativa combinada por un factor de cobertura k.

$$U = k \cdot u_c$$

Puesto que la incertidumbre asociada a la repetibilidad, ha sido calculada mediante la evaluación tipo A con $n < 10$ medidas se deberá calcular el factor de cobertura k en base a los grados efectivos de libertad según el documento EAL-R2, factores basados en una distribución *t de Student* para una probabilidad de cobertura del 95,45 %.

4.- REFERENCIAS

1. Guía sobre Incertidumbres de Medida del CEM.
2. Documento EA-4/02 (antigua guía EAL-R2 (CEA-ENAC- LC/O2). Expression of the uncertainty of measurement in calibrations. Edición 1.EAL. 1997).
3. Documento EA-4/15 (antigua guía EAL-G22 "Uncertainty of Calibration. Results in Force Measurements") Edición 1. 1996

5.- ANEXOS

A continuación se presentan un listado de anexos de carácter orientativo:

1. Formatos de hojas de toma de datos a utilizar en la calibración.
2. Formatos de certificado de calibración a utilizar en la calibración.

EMPRESA ÁREA DE METROLOGÍA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 13 de 13

HOJA DE TOMA DE DATOS DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDIDA DE FUERZA
LABORATORIO DE "EMPRESA" Página 1 de ____

Expediente: _____ N° de Objeto de ensayo: _____

Solicitante: _____
Dirección: _____

Cliente: _____
Dirección: _____

Identificación del mensurando:

Transductor	Indicador	Cable
Marca:	Marca:	Tipo:
Modelo:	Modelo:	Longitud:
N°Serie:	N°Serie:	Sección:
Tipo:	Tipo:	
Capacidad nom.:	Resolución:	
Clase:	Unidades:	

Equipo utilizado en la calibración:

Transductor de fuerza patrón con número de control: _____

Indicador asociado con número de control: _____

Sistema de Generación de cargas con número de control: _____

Accesorios de aplicación de carga utilizados:

Método empleado en la calibración:

Los ensayos se han realizado en base al procedimiento específico: PEAM XX establecido por "EMPRESA".

Condiciones ambientales:

	inicio	Final			inicio	Final
Temperatura			° C	Hora		
Hum. Rel.			%	Fecha:		

Observaciones:

Fdo. : _____

Cargo: _____

EMPRESA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: <i>CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA</i>	Revisión: 0 Fecha: Página: 15 de 15
ÁREA DE METROLOGÍA		

Página 1 de

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: _____

Laboratorio "Empresa":

C/. _____

CP _____ Localidad: _____ Provincia: _____

Tlfno.: _____ Fax: _____

INSTRUMENTO:

MARCA:

MODELO:

Nº DE SERIE:

SOLICITANTE:

DIRECCIÓN:

CLIENTE:

DIRECCIÓN:

FECHA DE CALIBRACIÓN:

Fecha de emisión: __/__/____

Fdo. _____
Jefe de Laboratorio

Fdo. _____
Técnico de Laboratorio

Este certificado consta de páginas.

Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones, afectando única y exclusivamente a la muestra sometida a calibración.

No se permite la reproducción total o parcial de este certificado sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

EMPRESA ÁREA DE METROLOGÍA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 16 de 16

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: _____

Página 2 de __

Identificación del mensurando:

Transductor	Indicador	Cable
Marca:	Marca:	Tipo:
Modelo:	Modelo:	Longitud:
NºSerie:	NºSerie:	Sección:
Tipo:	Tipo:	
Capacidad nom.:	Resolución:	
	Unidades:	

Equipo utilizado en la calibración:

Transductor de fuerza patrón con número de control: _____

Indicador asociado con número de control: _____

Sistema de Generación de cargas con número de control: _____

Accesorios de aplicación de carga utilizados:

Trazabilidad:

Los equipos patrones utilizados tienen trazabilidad a los patrones del Laboratorio del Centro Español de Metrología (CEM) o patrones internacionales.

Procedimiento de calibración:

Los ensayos se han realizado en base al procedimiento PEAM XX: establecido por "EMPRESA".

Método:

Previamente a los ensayos, se mantuvo el instrumento en el laboratorio el tiempo necesario atemperándose.

Se ha sometido al instrumento de medida de fuerzas a calibrar a un proceso previo de eliminación de posible pereza con una serie de tres precargas.

A continuación se han efectuado 5 series de medidas, cuatro de ellas en sentido creciente y la quinta y última en sentido creciente y decreciente, esta última serie precedida de una precarga hasta el valor máximo.

Condiciones del ensayo:

Temperatura de la sala: ° C ± ° C

Humedad relativa 50 % ± %

Fecha:

Observaciones:

EMPRESA ÁREA DE METROLOGÍA	PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO	
	PEAM XX: CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE FUERZA	Revisión: 0 Fecha: Página: 17 de 17

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: _____

Página 3 de __

Resultados de la Calibración:

- Calibración a: Compresión / Tracción
- Resolución del instrumento:
- Indicación a fuerza nula:

Error de cero f_0 (unidades):

SERIE	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
f_0					

Error de reversibilidad v (unidades):

Fuerza en (KN)		v (unidades)

Incertidumbre:

Para la evaluación de la incertidumbre se han tenido en cuenta la repetibilidad de las medidas, el error de reversibilidad (v) y el error de cero (f_0), la influencia debida a la resolución del instrumento, así como la influencia del sistema de generación de fuerzas.

Punto de calibración (unidades)	Fuerza de referencia (unidades)	Indicación del instrumento (unidades)	Incertidumbre expandida (unidades)	k

La incertidumbre de medida expandida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por un factor de cobertura k tabulados que, para una distribución *t de Student*, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95,45%. La incertidumbre típica medida se ha obtenido conforme al documento EAL-R2.